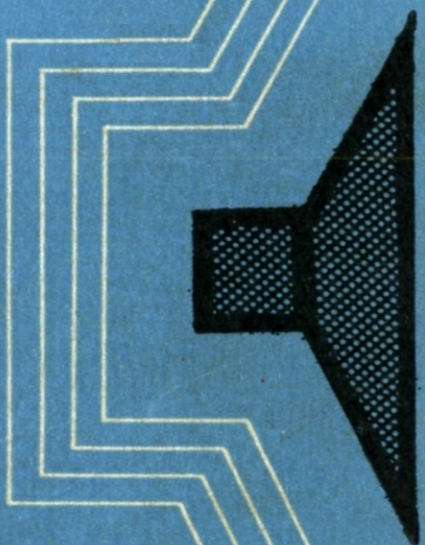


**МАЛО-
ГАБАРИТНАЯ
РАДИО-
АППАРАТУРА**



**справочник
радиолюбителя**



МАЛО- ГАБАРИТНАЯ РАДИО- АППАРАТУРА

СПРАВОЧНИК радиолюбителя

ИЗДАНИЕ ВТОРОЕ,
ПЕРЕРАБОТАННОЕ
И ДОПОЛНЕННОЕ

„НАУКОВА ДУМКА“ • КИЕВ — 1971

scanned by densen2002

6Ф2.1 (083)
М19
УДК 621.396(3)

В справочнике содержатся основные сведения, необходимые радиолюбителям, занимающимся разработкой и изготовлением малогабаритной радиоаппаратуры. Приводится множество схем радиопередающих и радиоприемных устройств (в том числе и радиолюбительских конструкций), а также их отдельных узлов. В многочисленных таблицах заключены основные данные электро- и радиоматериалов, полупроводниковых приборов, малогабаритных элементов радиоаппаратуры, в том числе и микромодульных, микрофонов, громкоговорителей, аккумуляторов, гальванических элементов и батарей, магнитофонов.

Может быть полезен радиолюбителям, инженерам и техникам, работающим в области радиоэлектроники.

Авторы: *Р. М. Терещук, К. М. Терещук,
А. Б. Чаплинский, Л. Б. Фукс, С. А. Седов.*

Редакция справочной литературы
Зав. редакцией Ю. Г. А б а н и н а

ПРЕДИСЛОВИЕ

Настоящий справочник является вторым переработанным и дополненным изданием. Полностью переработаны IV, VII, VIII главы. Остальные главы переработаны частично и дополнены новыми сведениями, в частности по радиодеталям, усилителям, магнитофонам, источникам питания, а также описаниями новых конструкций промышленной и радиолюбительской малогабаритной аппаратуры. Написана XIII глава — «Микроминиатюризация радиоэлектронной аппаратуры».

При подготовке настоящего издания авторы учли критические замечания и пожелания читателей, высказанные ими в письмах.

Цель справочника — дать радиолюбителю основные сведения, необходимые для разработки и изготовления малогабаритной радиоэлектронной аппаратуры. Принцип действия тех или иных устройств и физические процессы, происходящие в них, как правило, не описаны. Расчетные формулы приведены в виде, удобном для практического использования.

В конце справочника приведена библиография. Ссылки на литературу, встречающиеся в тексте, заключены в квадратные скобки.

С 1 января 1963 г. в СССР введена Международная система единиц СИ (ГОСТ 9867—61). В справочнике встречаются некоторые единицы, выраженные в системе СГС. Ниже приведена таблица пересчета некоторых единиц из системы СГС в систему СИ.

Единицы системы СГС	Единицы системы СИ
Градус (°)	$\frac{\pi}{180}$ радиан (<i>рад</i>)
1° С	1° К
1 кгГ (кгс)	9,80665 ньютона (<i>н</i>)
1 а · ч	3600 кулонов (<i>к</i>)
1 гс	10^{-4} тесла (<i>тл</i>)
1 э	$\frac{10^3}{4\pi}$ а/м

Главы I, II, III, V, VI, VII, X, XI и § 3, 4, 5 главы XII составлены Р. М. Терещуком, IV и XIII — К. М. Терещуком, VIII — А. Б. Чаплинским, IX — Л. Б. Фуксом, § 1, 2 главы XII — С. А. Седовым.

Критические замечания и пожелания просим направлять по адресу: Киев, 4, Репина, 3, издательство «Наукова думка».

Глава I

ЭЛЕКТРО- И РАДИОМАТЕРИАЛЫ

§ 1. Проводники

Основные свойства некоторых проводников низкого сопротивления приведены в табл. I.1, а некоторых сплавов высокого сопротивления — в табл. I.2.

Таблица I.1

Основные свойства некоторых проводников
низкого сопротивления

Материал	Удельное сопротивление при температуре 20° С, ом · мм ² /м	ТКС, %/град	Температура плавления, ° С	Плотность, г/см ³
Алюминий	0,028	0,49	660	2,7
Бронза фосфористая	0,115	0,4	900	8,8
Золото	0,024	0,37	1060	19,3
Латунь	0,03—0,06	0,2	900	8,5
Медь электротехническая	0,0175	0,4	1080	8,9
Никель	0,07	0,6	1450	8,8
Олово	0,115	0,42	230	7,3
Платина	0,1	0,3	1770	21,4
Свинец	0,21	0,4	330	11,4
Серебро	0,016	0,38	960	10,5
Сталь	0,098	0,62	1520	7,8
Уголь	0,33—1,85	0,05	—	—
Хром	0,027	—	—	6,6
Цинк	0,059	0,35	420	7,0

Для изготовления эталонных сопротивлений, магазинов сопротивлений, шунтов и добавочных сопротивлений к вольтметрам применяют константан и манганин, обладающие малым температурным коэффициентом сопротивления ТКС*. Манганин в контакте с медью, кроме того, характеризуется малой термо-э. д. с.

Для изготовления реостатов и балластных сопротивлений используют константан, нейзильбер, никелин и реотан, а в нагревательных приборах — нихром, фехраль и хромаль.

* ТКС — коэффициент, равный относительному изменению сопротивления при изменении температуры на 1° С.

Таблица 1.2

Основные свойства сплавов высокого сопротивления

Сплав	Удельное сопротивление при температуре 20° С, ом·мм ² /м	ТКС (в пределах 0—100° С), %/град	Максимальная рабочая температура, °С	Температура плавления, °С	Плотность, г/см ³
Константан	0,44—0,52	0,0005	500	1270	8,9
Манганин	0,4—0,5	0,005	100	1200	8,4
Нейзильбер	0,28—0,35	0,03	150	1000	8,4
Никелин	0,39—0,45	0,002	150	—	—
Нихром	1,0—1,1	0,015	900	1400	8,2
Реотан	0,45—0,52	0,04	150	—	—
Фехраль	1,1—1,3	0,01	900	1460	7,2
Хромаль	1,45	0,005	1000	1500	7,1

§ 2. Медные обмоточные провода

Медные обмоточные провода предназначены для изготовления обмоток трансформаторов, дросселей, реле, катушек резонансных контуров и т. п. Эти провода могут иметь эмалевое покрытие, покрытие из волокнистых материалов и комбинированное покрытие из эмали и волокнистых материалов.

Марки медных обмоточных проводов, выпускаемых с малыми диаметрами, и характеристика их изоляции приведены в табл. 1.3, а основные данные — в табл. 1.4 и 1.5.

Эмаль обладает лучшими электроизоляционными свойствами, чем волокно, поэтому провода с волокнистой изоляцией имеют значительно больший диаметр, чем эмалированные.

Если при изготовлении обмотки или в процессе работы катушки провод испытывает повышенные механические воздействия, следует применять провода, покрытые высокопрочной эмалью (марки ПЭВ).

Таблица 1.3

Характеристика изоляции некоторых медных обмоточных проводов

Марка провода	Характеристика изоляции	Диаметр медной жилы, мм
ПЭВ-1	Высокопрочная эмаль в один слой	0,02—2,44
ПЭВ-2	» » » два слоя	0,06—2,44
ПЭВТЛ-1	Высокопрочная термостойкая эмаль в один слой } » » » в два слоя }	0,06—2,26
ПЭВТЛ-2		
ПЭВШО	Высокопрочная эмаль и обмотка из искусственного шелка	0,07—0,51
ПЭЛ	Лакостойкая эмаль	0,03—2,44
ПЭЛР-1	Высокопрочная полиамидная эмаль в один слой } » » » в два слоя }	0,1—2,44
ПЭЛР-2		
ПЭЛУ	Лакостойкая эмаль (утолщенный слой) » » и один слой обмотки из натурального шелка	0,05—2,44
ПЭЛУШО		
		0,05—1,56

Марка провода	Характеристика изоляции	Диаметр медной жилы, мм
ПЭМ-1	Высокопрочная эмаль (металвин) в один слой » » » в два слоя » » » в три слоя теплостойкая эмаль	0,1—2,44
ПЭМ-2		
ПЭМ-3		
ПЭТВ		
ПЭТК	Теплостойкая эмаль	0,06—2,44 0,05—0,51

Таблица 1.4

Основные данные медных обмоточных проводов малых диаметров

Диаметр медной жилы, мм	Сечение меди, мм ²	Сопротивление 1 м провода при 20° С, Ом	Допустимая нагрузка при плотности тока 2 а/мм ² , а	ПЭЛ		ПЭВ-1		ПЭЛШО	
				Диаметр, мм	Вес 100 м, г	Диаметр, мм	Вес 100 м, г	Диаметр, мм	Вес 100 м, г
0,02	0,0003	—	—	—	—	0,035	0,3	—	—
0,025	0,0005	—	—	—	—	0,035	0,5	—	—
0,03	0,0007	24,704	0,0014	0,045	0,8	0,045	0,8	—	—
0,04	0,0013	13,92	0,0026	0,055	1,3	0,055	1,3	—	—
0,05	0,0020	9,29	0,004	0,065	1,9	0,07	1,9	0,12	3,3
0,06	0,0028	6,44	0,0057	0,075	2,7	0,085	2,8	0,13	4,2
0,07	0,0039	4,73	0,0077	0,085	3,6	0,095	3,8	0,14	5,3
0,08	0,0050	3,63	0,0101	0,095	4,7	0,105	4,9	0,15	6,5
0,09	0,0064	2,86	0,0127	0,105	5,9	0,115	6,2	0,16	7,9
0,10	0,0079	2,23	0,0157	0,12	7,3	0,125	7,5	0,18	9,3
0,11	0,0095	1,85	0,019	0,13	8,8	0,135	9,1	0,19	11,0
0,12	0,0113	1,55	0,0226	0,14	10,4	0,145	10,7	0,20	12,7
0,13	0,0133	1,32	0,0266	0,15	12,2	0,155	12,4	0,21	14,7
0,14	0,0154	1,14	0,0308	0,16	14,1	0,165	14,4	0,22	16,7
0,15	0,0177	0,99	0,0354	0,17	16,2	0,180	16,6	0,23	18,9
0,16	0,0201	0,873	0,0402	0,18	18,4	0,19	18,8	0,24	21,2
0,17	0,0227	0,773	0,0454	0,19	20,8	0,20	21,2	0,25	23,7
0,18	0,0255	0,688	0,0510	0,20	23,3	0,21	23,6	0,26	26,3
0,19	0,0284	0,618	0,0568	0,21	25,9	0,22	26,3	0,27	29,0
0,20	0,0314	0,558	0,0628	0,225	28,7	0,23	29,0	0,29	32,2
0,21	0,0346	0,507	0,0692	0,235	31,6	0,24	32,0	0,30	35,2
0,23	0,0416	0,423	0,0832	0,255	37,8	0,27	38,3	0,32	41,7
0,25	0,0491	0,357	0,0982	0,275	44,6	0,29	45,2	0,34	48,8
0,27	0,0573	0,306	0,1150	0,31	52,2	0,31	52,6	0,37	56,9
0,29	0,0661	0,266	0,132	0,33	60,1	0,33	60,5	0,39	65,1
0,31	0,0755	0,233	0,151	0,35	68,9	0,35	68,0	0,42	74,2
0,33	0,0855	0,205	0,171	0,37	78,0	0,37	78,0	0,44	83,6
0,35	0,0962	0,182	0,192	0,39	87,6	0,39	87,0	0,46	93,5
0,38	0,1134	0,155	0,226	0,42	103	0,42	103	0,49	109
0,41	0,1320	0,133	0,264	0,45	120	0,45	120	0,52	127
0,44	0,1521	0,115	0,304	0,49	138	0,48	138	0,55	145
0,47	0,1735	0,101	0,346	0,52	157	0,51	157	0,58	165
0,49	0,1885	0,0931	0,378	0,54	171	0,53	171	0,60	179
0,51	0,2043	0,0859	0,408	0,56	185	0,56	186	0,63	194
0,53	0,2206	0,0795	0,441	0,58	200	0,58	201	0,65	209
0,55	0,2376	0,0737	0,476	0,60	216	0,60	216	0,67	225
0,57	0,2552	0,0687	0,510	0,62	230	0,62	230	—	—
0,59	0,2734	0,0641	0,547	0,64	248	0,64	248	0,71	257
0,62	0,3019	0,0580	0,604	0,67	273	0,67	274	0,75	283

Диаметр медной жилы, мм	Сечение меди, мм ²	Сопротивление 1 м провода при 20° С, ом	Допустимая нагрузка при плотности тока 2 а/мм ² , а	ПЭЛ		ПЭВ-1		ПЭЛШО	
				Диаметр, мм	Вес 100 м, г	Диаметр, мм	Вес 100 м, г	Диаметр, мм	Вес 100 м, г
0,64	0,3217	0,0545	0,644	0,69	291	0,69	292	0,76	301
0,67	0,3526	0,0497	0,705	0,72	319	0,72	319	0,79	330
0,69	0,3739	0,0469	0,748	0,74	333	0,74	338	0,81	349
0,72	0,4072	0,0430	0,814	0,78	367	0,77	367	0,85	378
0,74	0,4301	0,0407	0,860	0,80	390	0,80	390	0,87	402
0,77	0,4657	0,0376	0,930	0,83	421	0,83	422	0,90	434
0,80	0,5027	0,0348	1,005	0,86	455	0,86	455	0,93	468

Таблица 1.5

Пробивное напряжение изоляции обмоточных проводов

Диаметр медной жилы, мм	Пробивное напряжение, в						
	ПЭЛ	ПЭЛУ	ПЭЗ-1	ПЭЗ-2	ПЭЛР-1	ПЭЛР-2	ПЭТК
0,02—0,025	—	—	200	—	—	—	—
0,03—0,04	300	—	300	—	—	—	—
0,06—0,07	350	450	350	450	—	—	300
0,08—0,09	400	500	400	550	—	—	500
0,10—0,14	550	650	500	700	500	700	650
0,15—0,20			600	800	600	800	
0,21—0,41	800	1000	800	1200	800	1000	1000
0,44—0,53			850		850	1200	
0,55—0,83	960	1100	1000	1500	1000	1500	—

ПЭЛР, ПЭВТЛ), или с дополнительной обмоткой из хлопчатобумажной или шелковой пряжи.

Провода марок ПЭВТЛ-1 и ПЭВТЛ-2 характеризуются сравнительно высокой термостойкостью (до 130° С, а при кратковременном нагреве — до 180° С), большим сопротивлением, изоляции и сравнительно малым tgδ. Эти провода можно залуживать путем погружения в расплавленное олово или припой, а также при помощи паяльника без предварительной зачистки и без применения флюсов.

Высокочастотные обмоточные провода (литцендраты) предназначены для изготовления катушек индуктивности резонансных контуров. Они состоят из пучка эмалированных проволок диаметром 0,05; 0,07; 0,1 или 0,2 мм каждая, обмотанного одним (марки ЛЭШО) или двумя (марки ЛЭШД) слоями натурального шелка, одним слоем полнамидного шелка (марки ЛЭП) или одним слоем полнамидного шелка и одним слоем капрона (ЛЭПКО).

Благодаря определенному расположению проволок в пучке ослабляется поверхностный эффект и, следовательно, уменьшается сопротивление провода токам высокой частоты.

Провода марок ЛЭП и ЛЭПКО перед лужением можно не зачищать; не обязательно также применение вспомогательных травильных составов.

Данные высокочастотных обмоточных проводов приведены в табл. 1.6.

Таблица 1.6

Данные высокочастотных обмоточных проводов

Диаметр проволоки, мм	Число проволок	Сечение провода, мм ²	Диаметр провода, мм				Сопротивление 1 км провода, ом
			ЛЭШО	ЛЭШД	ЛЭП	ЛЭПКО	
0,05	10	0,0196	0,33	0,39	—	—	1095
	15	0,0294	0,37	0,43	—	—	697
	21	0,0412	0,42	0,48	—	—	525
0,07	7	0,0269	0,34	0,40	0,32	0,34	760
	10	0,0385	0,41	0,47	0,39	0,41	532
	12	0,0462	0,44	0,50	0,42	0,44	445
	16	0,0615	0,47	0,54	0,45	0,47	333
	21	0,0818	0,52	0,59	0,50	0,52	254
0,1	9	0,071	0,52	0,59	0,5	0,52	275
	12	0,094	0,57	0,64	0,55	0,57	208
	14	0,110	0,60	0,67	0,58	0,60	177
	16	0,126	0,64	0,71	0,62	0,64	155
	19	0,149	0,67	0,74	—	—	131
	21	0,165	0,71	0,78	0,69	0,71	118

§ 3. Обмоточные провода высокого сопротивления

Обмоточные провода высокого сопротивления используются для изготовления проволочных сопротивлений и шунтов. Термостойкость этих проводов так же, как и медных, определяется материалом изоляции.

Основные данные обмоточных проводов высокого сопротивления приведены в табл. 1.7, 1.8 и 1.9.

Таблица 1.7

Обмоточные провода высокого сопротивления

Марка* провода	Характеристика изоляции	Диаметр жилы, мм
Константановые провода		
ПШДК ПЭБОК	Два слоя обмотки из шелка	0,05—1,0
	Эмаль и один слой обмотки из хлопчатобумажной пряжи	
ПЭВКМ-1 ПЭВКМ-2	Один слой высокопрочной эмали	0,1—0,8
	Два слоя	
ПЭВКТ-1 ПЭВКТ-2	Один слой	0,03—0,8
	Два слоя	
ПЭК ПЭШОК	Лакостойкая эмаль	0,03—1,0
	Эмаль и один слой обмотки из шелка	0,05—1,0

* Последняя буква марки провода означает: М — мягкий провод; Т — твердый провод; С — стабилизированный провод.

Марка провода	Характеристика изоляции	Диаметр жилы, мм
Манганиновые провода		
ПШДММ	Два слоя обмотки из шелка	0,05—1,0
ПШДМТ	» » » »	
ПЭВММ-1	Один слой высокопрочной эмали	0,05—0,8
ПЭВММ-2	Два слоя » » » »	
ПЭВМТ-1	Один слой » » » »	0,02—0,8
ПЭВМТ-2	Два слоя » » » »	
ПЭММ	Лакостойкая эмаль	0,05—1,0
ПЭМТ	» » » »	0,03—1,0
ПЭМС	Высокопрочная эмаль	0,05—0,8
ПЭШОММ	Эмаль и один слой обмотки из шелка	0,05—1,0
ПЭШОМТ	» » » » » »	
Нихромовые провода		
ПЭВНХ-1	Один слой высокопрочной эмали	0,02—0,4
ПЭВНХ-2	Два слоя » » » »	
ПЭНХ	Лакостойкая эмаль	0,03—0,4

Таблица 1.8

Сопротивление 1 м провода высокого сопротивления, ом

Диаметр провода, мм	Материал провода					
	Манганин		Константан		Нихром	
	мягкий	твердый	мягкий	твердый	X15H60	X20H80
0,02	—	1370	—	—	—	3374
0,025	—	876	—	—	—	2160
0,03	606	655	655	693	1528	1500
0,04	342	369	369	390	857	844
0,05	220	237	237	250	550	535
0,06	152	164	164	173	386	379
0,07	112	121	121	127	281	278
0,08	85,4	92,5	92,5	97,5	216	213
0,09	67,6	73,1	73,1	77	170	168
0,10	54,8	59,2	59,2	62,4	138	136
0,12	38,1	41,1	41,1	43,6	95,7	94,7
0,15	24,3	26,3	26,3	27,7	61,1	60,5
0,18	16,9	18,0	18,0	19,0	43,0	42,1
0,20	13,7	14,8	14,8	15,6	35,3	34,1
0,22	11,3	—	12,1	12,9	29,2	28,2
0,25	8,76	9,5	9,5	9,98	22,6	21,8
0,28	—	—	7,55	7,96	18,0	17,4
0,30	6,06	6,6	6,6	6,93	15,3	15,2
0,32	—	—	—	—	13,8	13,3
0,35	4,47	4,83	4,83	5,09	11,3	11,1
0,38	3,81	—	4,10	4,32	—	—
0,40	3,42	3,70	3,70	3,90	8,59	8,52
0,45	2,71	2,92	2,92	3,09	6,98	6,73
0,5	2,20	2,37	2,37	2,50	5,66	5,45
0,55	1,82	1,96	1,96	2,06	—	—
0,6	1,52	1,65	1,65	1,73	4,07	3,82
0,65	1,36	1,40	1,40	1,49	—	—
0,7	1,12	1,21	1,21	1,27	2,91	2,84
0,75	0,975	—	1,05	1,12	—	—
0,8	0,854	0,925	0,925	0,975	2,23	2,17
0,85	—	—	0,820	0,864	—	—
0,9	0,675	0,731	0,731	0,770	1,76	1,72
1,0	0,548	0,592	0,592	0,624	1,42	1,39

Выпускается два класса марганцевого провода. Температурный коэффициент сопротивления проводов класса А находится в пределах от $+3 \cdot 10^{-5}$ до $-4 \cdot 10^{-5}$, класса Б — от $+6 \cdot 10^{-5}$ до $-6 \cdot 10^{-5}$.

Для малогабаритных высокоомных сопротивлений повышенной стабильности выпускают провода диаметром 6—10 мк в сплошной стеклянной изоляции. Стеклянная изоляция обладает высокими электроизоляционными свойствами, но она очень хрупкая. Эти провода сортируют по их сопротивлению на единицу длины.

Т а б л и ц а 1.9
Микропровода марки ПССМ
из марганца

Сопротивление 1 м провода, ом	Диаметр провода, мк
15000 ± 2500	14
11000 ± 1500	16
8000 ± 1500	17
5500 ± 1000	18
4000 ± 500	20

§ 4. Монтажные провода

Монтажные провода выпускаются в полихлорвиниловой, резиновой и волокнистой изоляции.

Провода с волокнистой изоляцией применяются в аппаратуре, работающей в нормальных условиях, когда исключена возможность конденсации воды в аппарате и отсутствуют резкие климатические изменения.

Провода в полиэтиленовой, полихлорвиниловой и резиновой изоляции применяются в условиях повышенной влажности, при резких колебаниях температуры.

Монтажные провода с изоляцией из кремнийорганической резины изготавливаются сечением 0,75—95 мм² и предназначены для работы при напряжениях до 380 в и температуре до 180° С.

По конструкции токопроводящей жилы различают однопроволочные негибкие и многопроволочные гибкие монтажные провода. У последних токопроводящие жилы свиты из тонких медных проволок.

Основные данные монтажных проводов некоторых марок приведены в табл. 1.10.

§ 5. Припой и флюсы

Припой выбирают в зависимости от вида соединяемых металлов или сплавов, размера деталей, требуемой механической прочности и устойчивости против коррозии. Для пайки толстых проводов используют припой с температурой плавления более высокой, чем для пайки тонких проводов. В некоторых случаях необходимо учитывать и электропроводность припоя.

К мягким припоям относятся сплавы на оловянной, свинцовой, висмутовой, кадмиевой и цинковой основах. Основные данные оловянно-свинцовых припоев приведены в табл. 1.11.

К твердым припоям относятся медно-цинковые (ПМЦ) и серебряные (ПСр).

Для пайки алюминия и его сплавов применяют специальные припой.

Флюсы предназначены для растворения и удаления окислов с поверхности спаиваемых деталей. Флюсы должны надежно защищать поверхность металла и припоя от окисления.

Выбор флюса зависит от соединяемых пайкой металлов или сплавов и применяемого припоя, а также от вида монтажно-сборочных работ. Температура плавления флюса должна быть ниже температуры плавления припоя.

Таблица 1.10

Основные данные монтажных проводов некоторых марок

Марка провода	Характеристика	Номинальное сечение жилы, мм ²	Максимальный наружный диаметр, мм	Максимальное рабочее напряжение, в	Пределы рабочих температур, °С
МГВ	Многопроволочный, изолированный полихлорвинилом	0,1	1,4	220	От -60 до +70
		0,2	1,5		
0,35	1,7				
0,5	1,9				
0,75	2,1				
1,0	2,5				
МГВЭ*	То же, экранированный	0,1	1,8	220	От -60 до +70
		0,2	1,8		
		0,35	2,1		
		0,5	2,3		
		0,75	2,5		
		1,0	2,9		
МГШ	Многопроволочный, изолированный оплеткой из искусственного шелка	0,05	0,6	24	От -60 до +90
		0,07	0,7		
		0,1	0,8		
МГШД	Многопроволочный, изолированный двойной обмоткой из искусственного шелка	0,05	0,7	60	От -60 до +90
		0,07	0,8		
		0,1	0,9		
		0,2	1,0		
		0,35	1,2		
		0,5	1,3		
МГШДЛ	То же, лакированный	0,05	0,8	250	От -60 до +100
		0,1	1,0		
		0,2	1,3		
		0,35	1,4		
		0,5	1,5		
		0,75	1,8		
МГШДО	Многопроволочный, изолированный двойной обмоткой и оплеткой из искусственного шелка	0,05	1,0	100	От -60 до +90
		0,07	1,1		
		0,1	1,2		
		0,2	1,3		
		0,35	1,5		
		0,5	1,6		
		0,75	1,8		
		1,0	1,9		
		1,5	2,3		
		2,5	2,7		
МГМ	Многопроволочный, изолированный полиэтиленом	0,12	1,0	250	От -50 до +100
		0,2	1,1		
		0,35	1,3		
		0,5	1,45		
		0,75	1,9		
		1,0	2,1		
		1,5	2,4		
		2,5	2,4		

* Указан максимальный диаметр с экраном.

Продолжение табл. 1.10

Марка провода	Характеристика	Номинальное сечение жилы, мм ²	Максимальный наружный диаметр, мм	Максимальное рабочее напряжение, в	Пределы рабочих температур, °С
МШЗ	Многопроволочный, изолированный двойной обмоткой из искусственного или пропитанного натурального шелка и полихлорвинилом	0,07	1,0	380	
		0,2	1,6	1000	
0,5	2,0				
0,75	2,3				
1,5	2,7				
МШП	Однопроволочный, изолированный обмоткой из шелка и полиэтиленом	0,07	1,0	380	
		0,2	1,6	1000	
		0,5	2,0		
		0,75	2,3		
		1,5	2,7		
ПМВ	Однопроволочный, изолированный полихлорвинилом	0,2	1,3	380	От -60 до +70
		0,5	1,8		
		0,75	2,2		
ПМВГ	Многопроволочный, изолированный обмоткой из хлопчатобумажной пряжи или стекловолокну и полихлорвинилом	0,2	2,0		
		0,35	2,2		
		0,5	2,4		
		0,75	2,6		
ПМОВ	Однопроволочный, изолированный обмоткой из хлопчатобумажной пряжи или стекловолокну и полихлорвинилом	0,2	1,9		
		0,35	2,0		
		0,5	2,1		
		0,75	2,3		
ПМП	Однопроволочный, изолированный полиэтиленом	0,2	1,4		
		0,5	1,7		

Таблица 1.11

Основные данные оловянно-свинцовых припоев

Марка припоя*	Химический состав, %	Температура плавления, °С	Прочность при растяжении, кг/мм ²	Применение
ПОС-90	Олово — 89—90; сурьма — 0,15; свинец — остальное	222	4,3	Для пайки деталей и узлов, подвергающихся в дальнейшем серебрению или золочению

* Цифра соответствует процентному содержанию олова.

Марка припоя	Химический состав, %	Температура плавления, °С	Прочность при растяжении, кг/мм ²	Применение
ПОС-60	Олово — 59—61; сурьма — 0,8; свинец — остальное	190	4,1	Для пайки ответственных деталей, когда недопустим или нежелателен высокий нагрев в зоне пайки, а также когда требуется повышенная механическая прочность
ПОС-50	Олово — 49—50; сурьма — 0,8; свинец — остальное	222	3,6	Для пайки ответственных деталей, когда допускается более высокая температура нагрева
ПОС-40	Олово — 39—41; сурьма — 1,5—2,0; свинец — остальное	235	3,2	Для пайки менее ответственных токопроводящих деталей, когда допустим более высокий нагрев
ПОС-30	Олово — 29—30; сурьма — 1,5—2,0; свинец — остальное	256	3,3	Для лужения и пайки менее ответственных и механических деталей из меди, ее сплавов, стали
ПОС-18	Олово — 17—18; сурьма — 2,0—2,5; свинец — остальное	277	2,8	Для пайки при пониженных требованиях к прочности шва, для лужения перед пайкой
ПОС-4-6	Олово — 3—4; сурьма — 5—6; свинец — остальное	265	5,8	Для пайки с погружением в ванну с расплавленным припоем

Флюсы разделяют на активные (кислотные), бескислотные, активированные, антикоррозийные и защитные.

Активные флюсы интенсивно растворяют оксидные пленки на поверхности металла, что обеспечивает высокую механическую прочность соединения. Такие флюсы используют в тех случаях, когда можно полностью удалить их остатки с поверхности соединения и основного металла. При монтаже электро- и радиоаппаратуры активные флюсы применять нельзя.

Бескислотные флюсы изготавливают на основе канифоли, которая при пайке очищает поверхность от окислов и защищает ее от окисления. Эти флюсы широко используют при монтаже радиоаппаратуры.

Активированные флюсы изготавливают на основе канифоли с добавкой активизаторов. Эти флюсы пригодны для соединения металлов и сплавов, плохо поддающихся пайке.

Антикоррозийные флюсы не вызывают коррозии после пайки.

Защитные флюсы не оказывают химического воздействия на металл и предохраняют ранее очищенную поверхность металла от окисления.

Таблица 1.12

Состав и области применения некоторых флюсов

Состав, %	Применение	Очистка мест пайки для удаления остатков
Активные флюсы		
Хлористый цинк — 25—30; соляная кислота — 0,6—0,7; вода — остальное	При пайке деталей из черных и цветных металлов	Тщательная, водой
Флюс-паста: хлористый цинк (насыщенный раствор) — 3,7; вазелин (УН-1 или УН-2, ГОСТ 782—59) — 85; дистиллированная вода — остальное	То же	То же
Флюс КЭЦ: канифоль — 24; хлористый цинк — 1; спирт этиловый — остальное	При пайке цветных и драгоценных металлов, а также ответственных деталей из черных металлов	Ацетоном
Флюс-паста: канифоль — 16; хлористый цинк — 1; вазелин технический — остальное	То же. Обеспечивает получение соединений повышенной прочности	То же
Бескислотные флюсы		
Канифоль (светлая) ГОСТ 797—55	При пайке меди, латуни, бронзы, во время электромонтажных работ мягкими и легкоплавкими припоями	Спиртом или ацетоном
Флюс КЭ: канифоль — 15—28; спирт этиловый — остальное	То же. Удобен для переноса в труднодоступные места	То же
Глицерино-канифольный флюс: канифоль — 6; глицерин — 14; спирт этиловый (или денатурат) — остальное	То же. Рекомендуется для случаев, когда требуется герметичность соединений	То же
Активированные флюсы		
Флюс ЛТИ-1: спирт этиловый (ГОСТ 5962—51) — 67—73; канифоль — 20—25; солянокислый анилин (ГОСТ 5243—50) 3—7; триэтаноламин (ВТУ МХП 1931—49) — 1—2	При пайке большинства металлов и сплавов (сталь, нержавеющая сталь, медь, бронза, цинк, вихром, никель, серебро и др.), в том числе оксидированных деталей из медных сплавов без предварительной зачистки	Не обязательно
Флюс ЛТИ-120: спирт этиловый — 63—74; канифоль — 20—25; диэтиламин солянокислый (ВТУ 326—52) — 3—5; триэтаноламин — 1—2	То же. Составляется при необходимости замены солянокислого анилина	То же

Состав, %	Применение	Очистка мест пайки для удаления остатков
Антикоррозионные флюсы		
Флюс ВТС: вазелин технический — 63; триэтанолламин — 6,3; салциловая кислота — 6,3; спирт этиловый — остальное	При пайке меди и медных сплавов. Рекомендуется при пайке константана, серебра, платины и ее сплавов	Спиртом или ацетоном
Флюс ФИМ: ортофосфорная кислота (удельный вес 1,7) — 16; спирт этиловый — 3,7; вода дистиллированная — остальное	То же; кроме того, применяется при пайке черных металлов (грубых деталей, допускающих промывку)	Водой
Флюс с анилином: солянокислый анилин — 1,75; глицерин — 1,5; канифоль — остальное. Для получения флюса различной вязкости добавляют (до 25%) уайт-спирит (ГОСТ 3134—52)	То же. В большинстве случаев может заменить флюсы ВТС и ФИМ. Остаток флюса коррозии не вызывает и защищает соединение от внешних окислителей	Не обязательно

К защитным флюсам относятся неактивные материалы: воск, вазелин, оливковое масло, сахарная пудра и др.

Состав и области применения некоторых флюсов приведены в табл. 1.12.

При высокотемпературной пайке в качестве флюсов используют главным образом буру ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$) и смеси ее с борной кислотой (H_3BO_3), борным ангидридом (B_2O_3) и некоторыми другими солями.

§ 6. Электроизоляционные материалы

Основные данные некоторых электроизоляционных материалов приведены в табл. 1.13.

Электроизоляционные смолы (полистирол, капрон, полиэтилен и др.) применяются в чистом виде или служат основой для приготовления лаков и эмалей (шеллак, канифоль, синтетические смолы).

Пластмассы, или пластические прессованные материалы, представляют собой смесь синтетических смол с тем или иным наполнителем (ткань, бумага, древесина, слюда, асбест и др.). Наиболее широко используются такие пластмассы, как фенопласты и аминопласты. Фенопласты теплостойки, влагостойки, хорошо противостоят органическим растворителям и слабым растворам щелочей, но недостаточно дугостойки. Фенопласты бывают черного, коричневого и темно-вишневого цветов. Аминопласты менее влагостойки и термостойки, характеризуются более низкими диэлектрическими свойствами. Они устойчивы к воздействию слабых кислот, керосина, нефтяных масел, ацетона, спирта, бензина, достаточно дугостойки, но разрушаются щелочами и крепкими кислотами.

Листовые электроизоляционные материалы. *Гетинакс*— листовой материал из прессованной бумаги, пропитанной бакелитовым лаком. Марки А, Б, В, Г используют при работе на низких частотах, марки

A_B, B_B, B_B, Γ_B — на высоких частотах. Марки А и Б отличаются повышенной электрической прочностью и маслостойкостью, марка Б — повышенной электрической прочностью вдоль слоев, марка В — повышенной механической прочностью, марка Г — повышенной влагостойкостью. Марки A_B, B_B, B_B, Γ_B характеризуются малыми диэлектрическими потерями, марка A_B — повышенным удельным объемным сопротивлением, марка B_B — повышенной нагревостойкостью, марка B_B — повышенным объемным сопротивлением, марка Γ_B — высоким объемным сопротивлением.

Толщина выпускаемых листов: для марок А, Б — от 5 до 16 мм, для марки В — от 0,5 до 50 мм и для марок A_B, B_B, B_B, Γ_B — от 0,4 до 6 мм.

Текстолит изготавливается из прессованной хлопчатобумажной ткани, пропитанной бакелитовым лаком. Выпускаются следующие марки: А, В, Вч, ПТ, ПТК. Текстолит марки А характеризуется повышенными маслостойкостью и диэлектрическими свойствами, марки В — повышенной механической прочностью, марки Вч — пониженными диэлектрическими потерями и повышенным удельным объемным сопротивлением, марки ПТК — повышенной механической прочностью и пониженным удельным объемным сопротивлением, марки ПТ — пониженной механической прочностью по сравнению с маркой ПТК.

Текстолит выпускается в виде листов толщиной от 0,5 до 50 мм и стержней диаметром от 8 до 60 мм.

Стеклотекстолит (стекловолокнит) изготавливается на основе стекляной ткани (волокна) и обладает повышенной механической прочностью, особенно на изгиб. Толщина листов 0,5—2,5 мм.

Лакоткань изготавливается путем пропитки хлопчатобумажной или шелковой ткани маслостойкими синтетическими смолами. Толщина хлопчатобумажной лакоткани — 0,15—0,30 мм, шелковой — 0,04—0,15 мм.

Лаки. *Пропиточные лаки* используются для пропитки волокнистой изоляции (бумаги, картона, пряжи, ткани), обмоток трансформаторов и др. с целью повышения электрической прочности, улучшения теплообмена и уменьшения гигроскопичности изоляции.

Масляно-битумный лак № 447 применяется для пропитки обмоток. Время высыхания его при температуре 110—150° С не превышает 6 ч.

Кремнийорганический лак ЭФ-3 используется для пропитки обмоток. Время высыхания его при температуре 200° С — не более 2 ч.

Покровные лаки применяются для образования механически прочной, гладкой, влагостойкой электроизоляционной пленки на поверхности лакируемых узлов. Этими лаками покрывается предварительно пропитанная твердая изоляция для дополнительного повышения электроизолирующих свойств и улучшения внешнего вида.

Клеящие лаки применяются для склеивания различных материалов.

Полистирольный лак представляет собой раствор полистирола в толуоле, ксилоле и других растворителях; при высыхании образует пленку, обладающую высокими диэлектрическими свойствами и малой гигроскопичностью. Пленка не выдерживает нагрева выше температуры 80° С.

Шеллачный лак — раствор шеллака в этиловом спирте. Используется для склеивания и пропитки. Обладает высокой электрической прочностью.

Эмали ПКЭ-14 и ПКЭ-15 предназначены для покрытия обмоток, предварительно пропитанных лаком ЭФ-3. Время высыхания эмалей при температуре 200° С не превышает 3 ч.

Основные данные электроизоляционных материалов

Материал *	Диэлектрическая проницаемость	Тангенс угла диэлектрических потерь		Электрическая прочность, кВ/мм	Темпостой- кость, °С	Плотность, г/см ³
		при $f=50$ гц	при $f=1$ Мгц			
Асбест (ВЛ)	—	0,7	—	2	600	2,0—2,6
Бакелит (СС)	4,0—4,6	0,05—0,12	—	10—40	—	1,2
Бумага конденсаторная	3,5	0,01	—	20	100	1,0—1,2
Воск пчелиный (В)	2,8—2,9	0,02—0,03	—	25—30	61—64	0,96—0,97
Гетинакс А, Б, В, Г	6,0—8,0	0,07—0,10	—	17—30	115—125	1,25—1,40
Гетинакс АВ, ВВ, ВВ, ГВ	6,0—7,0	—	0,04—0,06	25—33	125—150	1,3—1,4
Канифоль (СН)	3,5	0,01	—	10—15	60—70	1,1
Капрон, нейлон (ПСС)	3,8—4,2	0,025—0,030	—	15—20	60	1,13
Карболит (П)	—	0,03—0,0001	—	10—15	—	1,2—1,3
Лакоткань хлопчатобумажная	4,0—4,6	0,03—0,20	—	5—30	105	1,5
Лакоткань шелковая	3,8—4,5	0,04—0,08	—	8—60	—	—
Озокерит (В)	2,3	0,01	—	25	58—98	0,9—1,0
Органческое стекло (ПСС)	3,5—3,6	0,02—0,06	0,003—0,004	25—40	52—58	1,18
Парафин	—	0,9—2,2	—	20—30	49—55	0,85—0,90
Полиэтирол	2,45—2,65	0,0002—0,0004	0,0002—0,0008	25—40	65—96	1,05—1,07
Полихлорвинил (ПСС)	3,0—5,0	0,03—0,08	0,03—0,05	14—20	60—70	1,40—1,75
Полиэтилен (СС)	2,2—2,3	0,0002—0,0005	0,0002	20—35	100	0,92—0,94
Полипропилен (ПСС)	2,0—2,1	—	0,0002—0,0003	20—30	140—150	0,90—0,91
Прессшпан	3—4	0,02	0,02—0,03	9—12	100	0,9—1,1
Резина	3,0	0,15	—	20	55	1,6

Сегнетокерамика	4500—1700	0,02—0,03	0,004—0,009	—	—	4,0
Слюда мусковит	6,8—7,2	0,0004—0,007	0,0002	85—95	600	2,8
Слюда флогопит	8,0	0,006—0,015	0,005	50	180—200	1,6—1,7
Смолы кремнийорганические (СС)	3,0—5,0	0,001—0,030	0,003—0,050	18—20	140	1,1—1,2
Смолы эпоксидные	3,7—3,9	0,013	0,019	16	160	2,7—3,0
Стеатит (К)	6,0—6,5	0,0007	0,002—0,0008	20—25	500—1700	2,2—4,0
Стекло	4—10	0,0005—0,001	0,001	20—30	130	1,6—1,8
Стеклокстолит (ССН)	7,5—8,0	0,01—0,10	—	10—12	150—180	1,30—1,45
Стекловолокнит (ПН)	8,0	0,5	—	4—10	125—135	3,9
Текстолит А, В (ССН)	7,5—8,5	0,10—0,15	—	2—8	160	3,3—3,4
Текстолит Вч (ССН)	7,5—8,0	—	0,07	5—8	70	2,10—2,15
Тиконд (К)	70—150	0,0004	0,0004—0,0008	10—12	180—200	2,10—2,30
Ультрафарфор (К)	8,0—8,5	0,0004—0,0008	0,0003—0,0012	20—25	100	1,1—1,2
Фторопласт-3 (ПСС)	2,5—2,7	—	0,005—0,01	13—15	100—250	1,3—1,9
Фторопласт-4 (ПСС)	1,9—2,2	—	0,0002—0,0003	25—27	40	1,25
Фибра	3,5	0,05	—	3—7	55—80	0,95
Фенопласты (П)	7,5—10	0,03—0,30	—	13—16	50—60	1,2—1,4
Целлулоид (ПЭ)	5,5	—	0,02	30	100	0,95—1,25
Целлофан (ПЭ)	3—4	0,2	—	40	80	1,3
Церезин (В)	2,1—2,3	0,0002	0,0002	15	1,25	1,25
Шеллак (СН)	3,5	0,01	—	20—30	0,95	0,95
Эбонит (КП)	2,7—3,0	—	0,010—0,015	25	50—90	1,2—1,4
Электрокартон	3,5	0,05	—	8—13	100	0,95—1,25

* Буквы в скобках обозначают: ВЛ — волокнистый, В — воскообразный, К — керамический, КП — каучуковая пластмасса, П — пластмасса, ПН — пластмасса с наполнителем, ПЭ — пластик эфирцеллюлозный, ПСС — продукт синтетической смолы, СН — смола натуральная, СС — смола синтетическая, ССН — смола синтетическая с наполнителем.

Компаунды представляют собой смесь смол, воскообразных веществ, битумов и различных добавок. Это большей частью термопластичные материалы, которые перед употреблением расплавляют. Расплавленные компаунды применяются для создания толстого покровного слоя, пропитки обмоток трансформаторов и пр.

Компаунд № 309 (битум № 5—81%, олифа натуральная — 3%, озокерит — 16%) предназначен для заливки и обволакивания трансформаторов, дросселей, катушек низкой частоты.

Компаунды К-168, К-115Н (на основе эпоксидных смол) обладают хорошей морозостойкостью (до температуры -6°C).

Клеи. Клей БФ-2 целесообразно применять для склеивания металлов, для электроизоляции деталей, а также в случае, когда необходим клеевой шов с повышенной теплостойкостью. Клей БФ-4 используют в тех случаях, когда клеевое соединение должно быть эластичным и стойким к вибрации. Клеи БФ-2 и БФ-4 применяются также для склеивания цветных металлов, сталей разных марок, пластмасс терморезистивного типа, органического стекла, дерева, фибры, фарфора, керамики, кожи, тканей, бумаги, эбонита в любом сочетании. Клей БФ-6 рекомендуется для склеивания тканей, фетра, целлофана, войлока, резины.

Полистирольный клей состоит из бензола (96% по весу) и полистирольной стружки (4%). Применяется для склеивания полистироловых деталей. Клей, содержащий 10% полистирола, используется для закрепления концов обмоток высокочастотных катушек.

Акриловый клей применяется для склеивания органического стекла. Состав клея: 2—3% органического стекла и 97—98% дихлорэтана.

Клей № 88 — раствор резиновой смеси № 31 и бутилфенолформальдегидной смолы в смеси этилацетата и бензина в отношении 2 : 1. Предназначен для приклеивания холодным способом резины к металлам. Клеем № 88 можно приклеивать резину к стеклу, дереву, коже и другим материалам, а также склеивать резину с резиной. Клей наносится тонким слоем на склеиваемые поверхности, которые соединяют после подсыхания клея (до отлипа).

Эпоксидные клеи, затвердевающие при комнатной температуре, характеризуются высокой стойкостью по отношению к воздействию воды и различных растворителей. При склеивании не требуется больших давлений.

В качестве клеев применяются эпоксидные смолы ЭД-5, ЭД-6 и Э-37. Для отверждения при комнатной температуре на 100 г смолы вводят 6,5—10 г отвердителя (гексаметилендиамина или полиэтилениполиамина). Таким клеем можно пользоваться в течение 1,5 ч после смешения компонентов.

§ 7. Ферромагнитные материалы

Материалы, магнитная проницаемость которых во много раз больше единицы, называются ферромагнитными. К ним относятся: железо, никель, кобальт и их сплавы, а также ферриты. Из этих материалов изготовляют сердечники трансформаторов, дросселей, контурных катушек, постоянных магнитов, экраны и т. п.

Основные характеристики ферромагнитных материалов определяются по кривым зависимости магнитной индукции B в материале от напряженности магнитного поля H . На рис. 1.1 показано семейство симметричных гистерезисных петель, полученных при различных

максимальных значениях напряженности поля H_m . Кривая, проходящая через вершины петель, называется *основной кривой намагничивания* и является вполне определенной для данного материала.

Индукция насыщения B_m — значение индукции, соответствующее состоянию насыщения, т. е. такому состоянию ферромагнитного материала, при котором магнитная индукция не изменяется при изменении напряженности поля.

Остаточная индукция B_r — значение индукции, получаемое при уменьшении напряженности поля до нуля.

Козрцитивная сила H_c — значение напряженности магнитного поля, при котором индукция принимает нулевое значение.

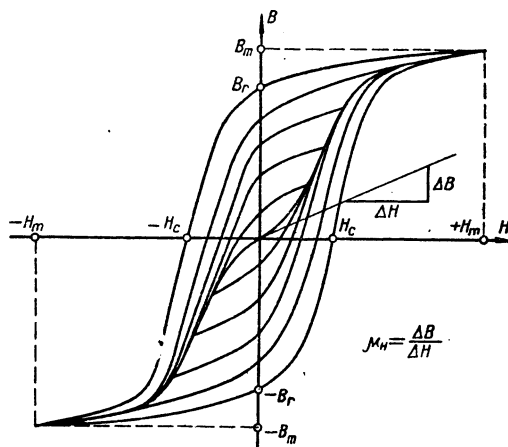


Рис. I.1. Семейство симметричных гистерезисных петель.

Магнитная проницаемость (при данном значении напряженности магнитного поля) — коэффициент, показывающий, во сколько раз магнитная индукция в ферромагнитном материале больше, чем в воздухе. Магнитная проницаемость ферромагнитного материала зависит от напряженности поля, температуры и других факторов.

Начальная магнитная проницаемость μ_n определяется из начального участка основной кривой намагничивания по наклону касательной (см. рис. I.1) и соответствует работе материала в слабых полях.

Динамическая магнитная проницаемость μ_d определяется по наклону гистерезисной петли, соответствующей данному значению амплитуды переменного магнитного поля.

Обратимая магнитная проницаемость μ_r (при наличии постоянной составляющей магнитного поля) определяется по наклону частной петли гистерезиса (рис. I.2), по которой происходит перемагничивание материала.

Температурный коэффициент магнитной проницаемости ТК μ равен относительному изменению магнитной проницаемости при изменении температуры на 1° С.

Потери в ферромагнитных материалах тем больше, чем больше объем материала, площадь гистерезисной петли и частота перемагни-

чиваний, а также чем меньше удельное объемное сопротивление (электрическое) материала. Удельные потери — мощность, теряемая в единице объема материала.

Магнитнотвердые материалы характеризуются высокой коэрцитивной силой и применяются для изготовления постоянных магнитов. К магнитнотвердым материалам относятся некоторые углеродистые стали, вольфрамовая, хромистая и кобальтовая стали, сплавы альни, альниси, альнико и магнико, а также ферриты кобальта и бария.

Магнитномягкие материалы отличаются высокой магнитной проницаемостью, небольшой коэрцитивной силой и малыми потерями на гистерезис. Их можно разделить на три группы.

1. *Металлические магнитные материалы* (железо и его сплавы) в большинстве случаев применяются в диапазоне низких (звуковых) частот. На более высоких частотах потери в металлических материалах резко возрастают, а магнитная проницаемость снижается. Наиболее

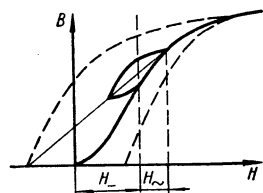


Рис. 1.2. Частная петля гистерезиса.

высокочастотный магнитный материал — пермаллой в виде лент толщиной до 0,01 мм. Пермаллой применяется на частотах до десятков килогерц. Преимущество лучших сортов металлических ферромагнитных материалов состоит в высокой магнитной проницаемости (до 50000) на низких частотах.

Сталь электротехническая представляет собой сплавы железа и кремния (0,8—4,8% кремния) и изготавливается в виде листов и лент толщиной от 0,05 до 1 мм. Буквы и цифры марок стали означают: Э — электротехническая; первая цифра — степень легирования стали кремнием (1 — слаболегированная, 2 — среднелегированная, 3 — повышенолегированная, 4 — высоколегированная); вторая цифра — гарантированные электромагнитные свойства стали (1 — нормальные удельные потери при частоте 50 гц, 2 — пониженные удельные потери при частоте 50 гц, 3 — низкие удельные потери при частоте 50 гц, 4 — нормальные удельные потери при частоте 400 гц и магнитная индукция в средних полях, 5 — нормальная магнитная проницаемость в слабых полях 0,002—0,088 а/см, 6 — повышенная магнитная проницаемость в слабых полях, 7 — нормальная магнитная проницаемость в средних полях 0,03—10 а/см, 8 — повышенная магнитная проницаемость в средних полях); третья цифра 0 указывает на то, что сталь холоднокатанная текстурованная; буква А в конце указывает на особо низкие удельные потери.

Основные свойства электротехнических сталей некоторых марок приведены в табл. 1.14. График зависимости обратной магнитной проницаемости от напряженности подмагничивающего поля для некоторых ферромагнитных материалов приведен на рис. 1.3. Напряженность поля в эрстедах можно определить по формуле

$$H_{\text{э}} = \frac{1,25I_0\omega}{l_{\text{ср}}},$$

где I_0 — величина постоянного тока подмагничивания, а; ω — число витков обмотки подмагничивания; $l_{\text{ср}}$ — средняя длина силовой линии магнитопровода, см.

Стали марок Э31, Э41, Э42 широко применяются для изготовления магнитопроводов дросселей и трансформаторов низкой частоты. На

Таблица 1.14

Основные свойства электротехнических сталей некоторых марок

Марка	Начальная магнитная проницаемость, гс/э	Максимальная магнитная проницаемость, -с/э	Коэффициентная сила, э	Индукция (при $H = 25$ э), гс	Удельное электрическое сопротивление, ом·мм ² /м
Э31	250	5500	0,55	15200	0,52
Э41	300	6000	0,45	14900	0,6
Э42	400	7500	0,4		
Э45	600	10000	0,25	14600	0,62
Э320	800	33000	0,12	17300	—
Э310	500	16000	0,2	18100	0,5

более высоких частотах применяют сталь Э44, изготавливаемую в виде листов толщиной 0,1—0,35 мм и отличающуюся меньшими потерями. Для работы в слабых полях предназначены стали марок Э45, Э46, имеющие более высокую начальную магнитную проницаемость. Наиболее

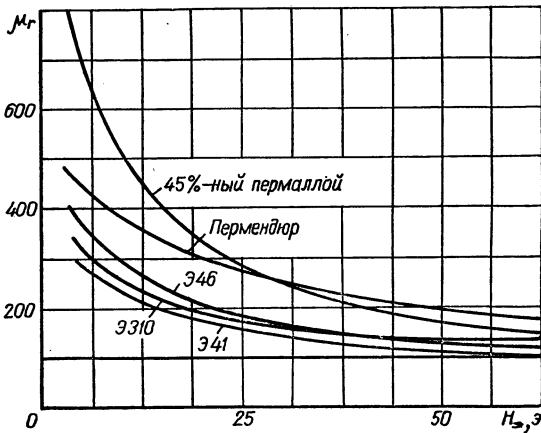


Рис. 1.3. Зависимость обратимой магнитной проницаемости от напряженности подмагничивающего поля для некоторых ферромагнитных сплавов.

высокими магнитными свойствами обладают холоднокатанные стали марок Э310, Э320, Э330, которые, кроме того, характеризуются повышенными магнитными свойствами вдоль проката. Эти стали выпускаются в виде листов и лент.

Электротехническая сталь очень чувствительна к деформациям. Поэтому после резки, штамповки и т. п. ее подвергают отжигу.

Пермаллои представляют собой железо-никелевые сплавы и характеризуются высокой магнитной проницаемостью. С увеличением процентного содержания никеля магнитная проницаемость пермаллоя увеличивается, но растут потери и уменьшается значение индукции насыщения.

При повышении частоты и при наличии подмагничивающего поля магнитная проницаемость пермаллоев резко уменьшается. На рис. 1.3 представлена зависимость обратимой магнитной проницаемости μ_r от напряженности H подмагничивающего поля для наиболее широко применяемого пермаллоя.

Пермаллои весьма чувствительны к механическим воздействиям. При изготовлении деталей из пермаллоя следует избегать ударов, рихтовки, шлифовки и т. п. Во избежание деформаций, приводящих к ухудшению магнитных свойств магнитопровода, его пластины должны быть сжаты слабо, обмотка не должна сдавливать магнитопровод. Основные свойства пермаллоев приведены в табл. 1.15.

Таблица 1.15

Основные свойства пермаллоев

Марка *	Начальная магнитная проницаемость, $гс/э$	Максимальная магнитная проницаемость, $гс/э$	Коэрцитивная сила, $э$	Индукция насыщения, $гс$	Удельное электрическое сопротивление, $ом \cdot мм^2/м$
45Н	1700—2800	$(16 \div 25) \cdot 10^3$	0,2—0,4	15·10 ³	0,45
50Н	1800—3000	$(20 \div 35) \cdot 10^3$	0,12—0,3	15·10 ³	0,45
50Н·У	3000—4000	$(30 \div 40) \cdot 10^3$	0,12—0,18	15·10 ³	0,45
38НС	2500—3000	$(20 \div 25) \cdot 10^3$	0,15	9500	0,9
42НС	2500—3000	$(20 \div 25) \cdot 10^3$	0,1	10000	0,85
50НХС	1500—3000	$(15 \div 20) \cdot 10^3$	0,12—0,3	10000	0,9
76НХД	$(10 \div 18) \cdot 10^3$	$(5 \div 15) \cdot 10^4$	0,02—0,07	7500	0,57
77НМД	$(40 \div 90) \cdot 10^3$	$(15 \div 25) \cdot 10^4$	0,008—0,012	—	—
79НМ	$(16 \div 25) \cdot 10^3$	$(7 \div 15) \cdot 10^4$	0,02—0,05	7500	0,55
79НМ·У	$(20 \div 30) \cdot 10^3$	$(10 \div 22) \cdot 10^4$	0,015—0,03	7300	0,55
79НМА	$(18 \div 50) \cdot 10^3$	$(8 \div 30) \cdot 10^4$	0,01—0,06	7500	0,56
80НМ	$(10 \div 12) \cdot 10^4$	$(3 \div 4,5) \cdot 10^5$	0,006—0,009	—	—
80НХС	$(18 \div 35) \cdot 10^3$	$(7 \div 17) \cdot 10^4$	0,015—0,05	6500	0,63
50НП	500—1000	$(3 \div 4) \cdot 10^4$	0,3—0,45	15000	0,45
50НП·У	500—1000	$(4 \div 6) \cdot 10^4$	0,18—0,2	15000	0,45
65НП	300—2000	$(7 \div 30) \cdot 10^4$	0,03—0,08	13000	0,25
34НКМП	500—3000	$(4 \div 12) \cdot 10^4$	0,08—0,2	15000	0,5
37НКДП	—	28·10 ⁴	0,045	—	—
68НМ2	—	$(4 \div 6) \cdot 10^5$	—	—	—

* Цифры и буквы марок пермаллоя означают: цифры и буква Н в начале — процентное содержание никеля, П — прямоугольная петля гистерезиса, У — улучшенные свойства, остальные буквы — основные легирующие материалы (Х — хром, С — кремний, К — кобальт, Д — медь, М — молибден или марганец).

Пермаллои выпускаются в виде холоднокатанных лент толщиной 0,02—2,5 мм, горячекатанных листов толщиной 3—22 мм и горячекатанных прутков диаметром 8—100 мм и поставляются в термически необработанном состоянии. После изготовления деталей производится их термическая обработка для улучшения магнитных свойств.

Пермаллои с малым содержанием никеля марок 45Н и 50Н применяются для изготовления магнитопроводов малогабаритных трансформаторов, дросселей и др., работающих с подмагничиванием, а также в магнитных цепях, работающих в слабых постоянных магнитных полях. Легированные пермаллои марок 38НС, 42НС и 50НХС отличаются повышенным удельным электрическим сопротивлением и поэтому применяются для магнитопроводов трансформаторов, катушек индуктивности и др., работающих при повышенных и высоких частотах.

Пермаллои с большим содержанием никеля обладают малым удельным электрическим сопротивлением и поэтому используются только

для магнитных экранов и магнитопроводов, работающих в постоянных магнитных полях. Легированные высоконикелевые пермаллои также отличаются повышенным удельным электрическим сопротивлением и применяются для магнитопроводов малогабаритных трансформаторов, дросселей, реле и для экранов. При повышенных требованиях в отношении температурной стабильности применяют пермаллой марки 76НХД, а при высоких требованиях — пермаллой марки 77НМД.

Пермаллои с прямоугольной петлей гистерезиса используются в устройствах вычислительной и импульсной техники.

2. *Магнитодиэлектрики* изготавливаются из порошков металлических ферромагнитных материалов, частицы которых изолируются одна от другой и связываются в единое целое с помощью различных органических и неорганических диэлектриков. В СССР производятся магнитодиэлектрики на основе карбонильного железа и алсифера.

К достоинствам магнитодиэлектриков следует отнести малые потери, высокую температурную, временную и амплитудную стабильность, постоянство магнитной проницаемости в широком диапазоне частот и напряженностей поля, к недостаткам — относительно малую начальную магнитную проницаемость, что ограничивает возможности повышения добротности катушек индуктивности.

Электромагнитные параметры магнитодиэлектриков определяют на сердечниках тороидальной формы. По этим параметрам оценивают качество кольцевых сердечников. Основные параметры магнитодиэлектриков: начальная магнитная проницаемость, температурный коэффициент начальной магнитной проницаемости и тангенс угла потерь при заданных условиях.

Магнитодиэлектрики на основе карбонильного железа. Основные параметры приведены в табл. 1.16. Карбонильное железо класса Р используется в радиотехнической аппаратуре, класса П — для аппаратуры проводной связи.

Таблица 1.16

Основные параметры магнитодиэлектриков на основе карбонильного железа

Марка карбонильного железа	Начальная магнитная проницаемость, $гс/э$	ТК α , %/град	Тангенс угла потерь при частоте 80 Мгц
Р-10	10—12	0,015—0,025	0,08
Р-20	10—11	0,008—0,015	0,06
Р-100	9—10	0,005—0,012	0,03
П	11—12	0,003—0,006	0,05
Пс	10—11	0,003—0,006	0,04
ВКЖ	25	0,025—0,035	0,4

Магнитодиэлектрики на основе алсифера. Алсифер представляет собой сплав железа, алюминия и кремния. С увеличением содержания алюминия и кремния в сплаве температурный коэффициент магнитной проницаемости уменьшается и, перейдя через нуль, становится отрицательным. Основные данные приведены в табл. 1.17.

Таблица 1.17

Основные параметры магнитодиэлектриков на основе ал. сифера

Марка *	Начальная магнитная проницаемость при температуре 20° С, $\epsilon_{с/с}$	Максимальная рабочая частота, кГц (не более)	ТЧ, %/град, при температуре, °С		Тангенс угла общих потерь на частоте 100 кГц		Маркировочный знак
			от +20 до +70	от +20 до -60	$H=0,2 \text{ э}$	$H=0,5 \text{ э}$	
ТЧ-60П	55—65	10	-0,04	—	—	—	Одна черная полоса
ТЧК-55П	50—60	—	От -0,015 до +0,005	—	—	—	красная полоса
ВЧ-32П	30—34	500	-0,025	—	—	—	белая полоса
ВЧ-22П	20—24	1500	-0,02	—	—	—	зеленая полоса
ВЧК-22П	—	—	От -0,005 до +0,005	—	—	—	желтая полоса
ТЧ-60Р	55—65	—	-0,004	—	0,0196 **	0,0213 **	Две черные полосы
ТЧК-55Р	50—60	10	От -0,015 до +0,005	От -0,045 до +0,015	0,0198 **	0,0215 **	красные полосы
ВЧ-32Р	30—34	500	-0,025	—	0,0108	0,0114	белые полосы
ВЧ-22Р	20—24	1500	-0,02	—	0,0029	0,0033	зеленые полосы
ВЧК-22Р	—	—	От -0,005 до +0,005	От -0,015 до +0,015	—	—	желтые полосы
РЧ-6	5—7	45000	-0,01	—	0,0006	—	—
РЧ-9	9	2000	-0,01	—	—	—	—
ФИ	20—24	100	$\pm 0,015$	—	0,004	—	—

* Буквы марок означают: ТЧ — тональная частота, ВЧ — высокая частота, К — высокая частота, К — компенсированный температурный коэффициент магнитной проницаемости, П и Р — соответственно название альсифера; для проводной связи или для радиоаппаратуры.
 ** При $f=60$ кГц.

3. **Ферриты** представляют собой спеченную смесь окиси трехвалентного железа с окислами одного или нескольких двухвалентных металлов.

Ферриты очень тверды, хрупки и по механическим свойствам подобны керамике. Плотность ферритов значительно меньше плотности металлических магнитных материалов и составляет 4,5—4,9 г/см³. Ферриты хорошо шлифуются и полируются абразивными материалами. Их можно склеивать клеем БФ-4 по общеизвестной технологии.

Ферриты являются полупроводниками и обладают электронной проводимостью. Их удельное сопротивление (в зависимости от марки) лежит в пределах от 10 до 10¹⁰ ом × см. Основные данные магнитномягких ферритов приведены в табл. 1.18. Ферриты обладают большей коэрцитивной силой и меньшими значениями остаточной индукции и индукции насыщения, чем металлические ферромагнитные материалы. Поэтому их не используют в средних и сильных полях низкой частоты. Свойства магнитномягких ферритов существенно зависят от частоты, силы поля и температуры. На рис. 1.4 представлена зависимость действующей магнитной проницаемости от напряженности поля для ферритов некоторых марок. Обратимая магнитная проницаемость ферритов (особенно никельцинковых с высокой начальной проницаемостью) зависит от напряженности подмагничивающего поля (рис. 1.5 и 1.6).

Рекомендации по использованию магнитномягких ферритов. Современные магнитномягкие ферриты можно разделить на несколько групп, различающихся электромагнитными параметрами и назначением.

Ферриты марок 6000НМ, 4000НМ, 3000НМ, 2000НМ, 1500НМ, 1000НМ используются на частотах до нескольких сотен кГц как в слабых, так и в сильных полях. В слабых полях ферриты этой группы применяют в случаях, когда не предъявляются повышенные требования к температурной стабильности. Величина ТК_μ изделий из ферритов этой группы заводами-изготовителями не контролируется и не гарантируется. Ферриты первых трех марок рекомендуется применять в магнитопроводах вместо листового пермаллоя толщиной 0,1—0,02 мм и меньше.

Ферриты марок 2000НМ1, 1500НМ1, 1500НМ2, 1500НМ3, 1000НМ3 и 700НМ предназначены для использования в слабых и средних полях при частотах до 3 МГц. Они обладают малыми потерями и малым ТК_μ в широком интервале температур. При повышенных требованиях

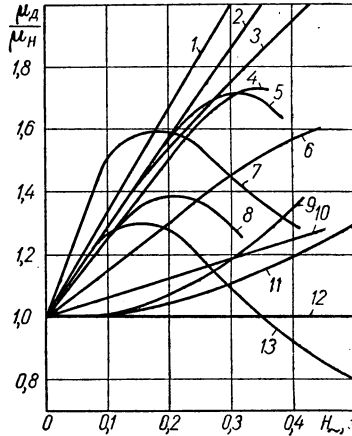


Рис. 1.4. Зависимость действующей магнитной проницаемости от амплитуды напряженности поля для ферритов следующих марок:

- 1 — 1000НМ; 2 — 2000НМ1; 3 — 1000НМ; 4 — 2000НМ; 5 — 3000НМ;
- 6 — 600НМ; 7 — 2000НМ; 8 — 4000НМ; 9 — 1500НМ2, 1500НМ3;
- 10 — 400НМ; 11 — 1000НМ3; 12 — 200НМ, 700НМ; 13 — 600НМ.

Основные данные

Марка*	Начальная магнитная проницаемость μ_n^{**} гс/э	Параметры петли гистерезиса				$T\kappa_{\mu H}$ в интервале температур от +20 до +70° С, %/град
		H_m , э	B_m , гс	B_r , гс	H_c , э	
6000HM	4800—8000	10	3500	1303	0,08	0,14 ÷ 0,9
4000HM	3500—4800	10	3800	1400	0,14	0,2 ÷ 0,6
3000HM	2500—3500	10	3700	1000	0,12	0,3 ÷ 0,6
2000HM	1700—2500	10	3900	1000	0,21	-0,4 ÷ +0,9
2000HM1	1700—2500	10	3400	1500	0,26	-0,02 ÷ +0,2
1500HM	1200—1700	10	—	—	—	-0,17 ÷ +1
1500HM1	1200—1700	10	3500	1400	0,2	-0,015 ÷ +0,12
1500HM2	1200—1700	10	3300	850	0,27	-0,075 ÷ +0,12
1500HM3	1200—1700	10	3800	1000	0,26	0 ÷ 0,01
1000HM	800—1200	10	3500	1100	0,35	-0,05 ÷ +0,85
1000HM3	800—1200	10	3300	1000	0,35	0 ÷ 0,1
700HM	550—850	10	4000	500	0,32	-0,014 ÷ +0,084
2000HN	1800—2400	10	2500	1200	0,1	0,6 ÷ 1,8
1000HN	800—1200	10	3200	1500	0,25	0,5 ÷ 1,5
600HN	500—800	10	3100	1400	0,4	0,36 ÷ 0,9
400HN	350—500	10	2300	1200	0,8	0,2 ÷ 0,6
300HN	280—350	50	3000	1300	1	0,45 ÷ 0,9
200HN	130—250	10	1700	1000	1,5	0,08 ÷ 0,2
200HN2	190—230	50	4000	2500	1	0,5
100HN	90—130	10	3600	2000	0,8	0,05 ÷ 0,45
90HN	80—95	50	3800	2900	2,8	—
60HN	50—65	50	4200	3000	4	0,3
55HN	50—70	50	3300	2400	6,8	—
35HN	27—35	50	3400	2800	9	—
150B4	130—170	50	3500	1700	3	±0,06
100B4	80—12	50	3700	1700	3,8	0,09
50B4	45—60	10	3600	1300	1,4	0,25
50B42	45—65	50	3100	2000	5,6	-0,005 ÷ +0,045
30B42	25—35	50	2900	1600	9	±0,1
20B4	18—28	50	1400	450	8	±0,02
10B41	9—14	50	1400	800	21	0,12
5B4	4,5—5,5	100	2200	200	20	0,03

* В обозначении марки феррита цифры соответствуют номинальному значению частоты; вторая буква М — марганец-цинковый феррит; Н — никель-солевых частотах. Цифры после букв свидетельствуют о различии свойств.

** При температуре +20° С.

Таблица 1.18

магнитномягких ферритов

Тангенс угла потерь, $\operatorname{tg} \delta$		при частоте, Мгц	$\frac{\operatorname{tg} \delta}{\mu_n} \cdot 10^6$	Граничная частота, Мгц, при		Максимальная рабочая температура, град
при напряженности поля, Мэ				при напряженности поля 10 Мэ	$\operatorname{tg} \delta = 0,1$	
10	100					
0,24	0,36	0,02	40	—	0,005	100
0,14	0,24	0,1	35	0,08	0,005	110
0,075	0,18	0,1	25	0,15	0,015	70
0,03	0,09	0,1	15	0,35	0,06	180
0,03	0,09	0,1	15	0,4	0,05	180
0,023	0,068	0,1	15	0,5	0,09	180
0,023	0,068	0,1	15	0,55	0,09	180
0,0075	0,023	0,1	5	1	0,35	180
0,0075	0,023	0,1	5	1	0,35	155
0,005	0,03	0,1	5	0,7	0,13	180
0,005	0,015	0,1	5	2	0,7	125
0,042	—	3	60	4	2,1	220
0,2	0,6	0,1	100	0,2	0,005	70
0,085	0,2	0,1	85	0,4	0,02	110
0,015	0,075	0,1	25	1,2	0,2	110
0,008	0,02	0,1	20	2	0,7	120
0,011	—	1	35	5	3	120
0,006	0,013	0,1	30	3	1	120
0,016	—	10	80	15	10	200
0,013	—	7	125	30	15	300
0,01	—	20	110	60	45	—
0,01	—	15	160	55	35	350
—	—	—	—	65	—	—
—	—	—	—	120	—	—
0,02	—	12	130	25	15	400
0,013	—	18	130	35	25	400
0,0063	—	25	120	60	—	350
0,0063	—	10	120	70	35	450
0,025	—	5	85	200	100	450
0,005	—	5	250	100	65	450
0,014	—	150	1400	250	200	500
0,0063	—	100	1250	300	—	450

вию начальной магнитной проницаемости; первая буква Н означает, что феррит цинковый; буквы ВЧ указывают, что феррит предназначен для работы на вы-

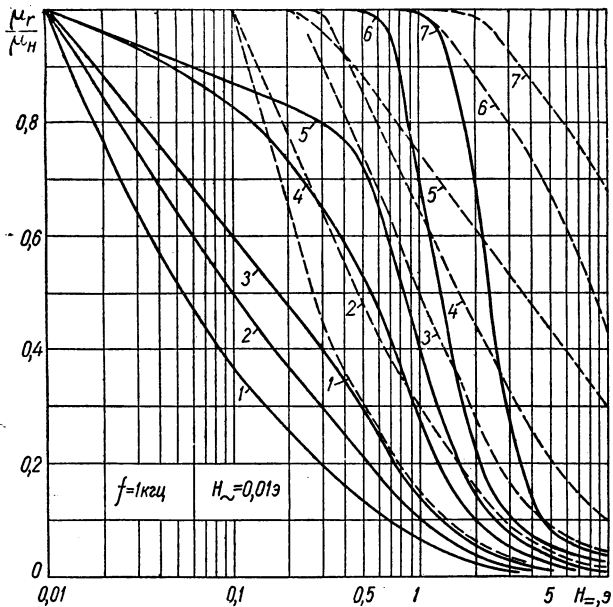


Рис. 1.5. Зависимость обратимой магнитной проницаемости от напряженности подмагничивающего поля для ферритов марок:

1 — 6000НМ; 2 — 4000НМ; 3 — 3000НМ; 4 — 2000НМ, 2000НМ1; 5 — 1500НМ1, 1500НМ2; 6 — 1000НМ, 1000НМ3; 7 — 700НМ (сплошные линии); 1 — 2000НН; 2 — 1000НН; 3 — 600НН; 4 — 400НН; 5 — 200НН; 6 — 100ВЧ; 7 — 50ВЧ2 (пунктирные линии).

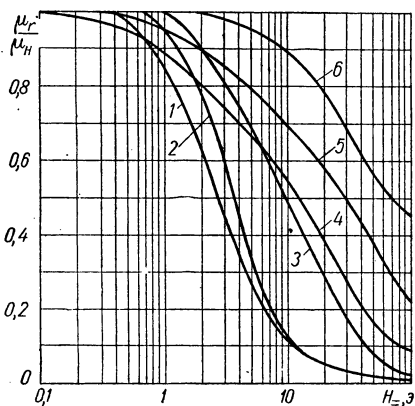


Рис. 1.6. Зависимость обратимой магнитной проницаемости от напряженности подмагничивающего поля для ферритов марок:

1 — 200НН2; 2 — 300НН; 3 — 90НН; 4 — 60НН; 5 — 35НН; 6 — 10ВЧ1.

к термостабильности μ_n в широком интервале температур предпочтительнее использование ферритов трех последних марок.

Ферриты марок 2000НН, 1000НН, 600НН, 400НН, 200НН и 100НН применяются в слабых полях в диапазоне частот до нескольких *Мгц*. Ферриты трех первых марок значительно уступают марганец-цинковым ферритам с такими же значениями μ_n , однако они более дешевы, поэтому широко применяются в различной аппаратуре при невысоких требованиях к стабильности и потерям. Остальные ферриты находят широкое применение в катушках контуров и магнитных антенн.

Ферриты марок 150ВЧ, 100ВЧ, 50ВЧ2, 30ВЧ2 и 20ВЧ предназначены для использования в слабых полях на частотах до 100 *Мгц*. Они отличаются малыми потерями и малым $T\mu_n$ в широком интервале температур, поэтому наиболее широко применяются для высокочастотных катушек индуктивности, а также для антенн переносных радиоприемников.

Ферриты марок 300НН, 200НН2, 150НН1, 90НН, 60НН, 55НН, 35НН и 10ВЧ1 отличаются малыми потерями в сильных полях. Их основное назначение — для сердечников катушек контуров, перестраиваемых подмагничиванием, и контуров магнитных модуляторов. В слабых полях $\text{tg}\delta$ и $T\mu_n$ этих ферритов значительно больше, чем у ферритов группы ВЧ.

Глава II

МАЛОГАБАРИТНЫЕ РАДИОДЕТАЛИ ОБЩЕГО ПРИМЕНЕНИЯ

§ 1. Основные параметры конденсаторов

Номинальная емкость, а также допускаемые отклонения от нее маркируются на корпусе конденсатора. Фактическая емкость конденсатора может отличаться от номинальной, но не более чем на величину допуска. На конденсаторах, изготовляемых с одним определенным допуском, последний не маркируется.

Установленная согласно ГОСТу 2519—60 шкала номинальных значений емкости конденсаторов при различных допускаемых отклонениях от номиналов приведена в табл. II.1 и II.2. Конденсаторы некоторых типов (КСО, СГМ и др.), выпускавшиеся до введения ГОСТа 2519—60 независимо от допускаемого отклонения емкости, изготовляются с номинальными емкостями, соответствующими ряду для допуска $\pm 5\%$ (см. табл. II.1). Некоторые конденсаторы (например, МБГ) выпускаются с номинальными емкостями также в соответствии с табл. II.3.

Таблица II.1

Шкала номинальных значений емкости, пф.
для конденсаторов до 10 000 пф

Допускаемое отклонение от номинала										
$\pm 20\%$				$\pm 10\%$				$\pm 5\%$		
1	10	100	1000	—	10	100	1000	10	100	1000
—	—	—	—	—	—	—	—	—	110	1100
—	—	—	—	—	12	120	1200	12	120	1200
—	—	—	—	—	—	—	—	—	130	1300
1,5	15	150	1500	—	15	150	1500	15	150	1500
—	—	—	—	—	—	—	—	—	16	160
—	—	—	—	—	18	180	1800	18	180	1800
2	—	—	—	—	—	—	—	20	200	2000
—	22	220	2200	—	22	220	2200	22	220	2200
—	—	—	—	—	—	—	—	24	240	2400
—	—	—	—	—	27	270	2700	27	270	2700
3	—	—	—	—	—	—	—	30	300	3000
—	33	330	3300	—	33	330	3300	33	330	3300
—	—	—	—	—	—	—	—	36	360	3600
4	—	—	—	4	39	390	3900	39	390	3900
—	—	—	—	—	—	—	—	43	430	4300
—	47	470	4700	—	47	470	4700	47	470	4700
—	—	—	—	5	—	—	—	51	510	5100
—	—	—	—	—	56	560	5600	56	560	5600
6	—	—	—	6	—	—	—	62	620	6200
7	68	680	6800	7	68	680	6800	68	680	6800
—	—	—	—	—	—	—	—	75	750	7500
8	—	—	—	8	82	820	8200	82	820	8200
9	—	—	—	9	—	—	—	91	910	9100

Таблица II.2

Шкала номинальных значений емкости, мкФ, для конденсаторов 0,01—100 мкФ

Допускаемое отклонение от номинала					
±20%	±5%; ±10%	±5%; ±10%; ±20%			
0,010	0,010	0,1	1	10	100
—	0,012	—	—	—	—
0,015	0,015	0,15	1,5	15	—
—	0,018	—	—	—	—
0,022	0,022	0,22	2,2	22	—
—	0,027	—	—	—	—
0,033	0,033	0,33	3,3	33	—
—	0,039	—	—	—	—
0,047	0,047	0,47	4,7	47	—
—	0,056	—	—	—	—
0,068	0,068	0,68	6,8	68	—
—	0,082	—	—	—	—

Таблица II.3

Номинальные емкости конденсаторов, разработанных до введения ГОСТа 2519—60 и не подвергшихся последующей модернизации

Емкость, мкФ				
0,01	0,1	1	10	100
0,012	0,12	1,2	12	120
0,015	0,15	1,5	15	150
0,018	0,18	1,8	18	180
0,02	0,2	2	20	200
0,025	0,25	2,5	25	250
0,03	0,3	3	30	300
0,04	0,4	4	40	400
0,05	0,5	5	50	500
0,06	0,6	6	60	600
0,07	0,7	7	70	700
0,08	0,8	8	80	800

Параметры конденсаторов переменной емкости не стандартизованы.

Электрическая прочность конденсаторов характеризуется следующими показателями:

1) номинальным рабочим напряжением — максимальным напряжением, при котором конденсатор может работать в течение длительного времени (более 10 тыс. ч);

2) испытательным напряжением — максимальным напряжением, под которым конденсатор может находиться без пробоя в течение небольшого промежутка времени (обычно несколько секунд);

3) пробивным напряжением — минимальным напряжением, при котором происходит пробой диэлектрика.

Соотношение между этими напряжениями определяется видом диэлектрика.

Для большинства типов конденсаторов регламентируется номинальное напряжение постоянного тока. При работе конденсатора в цепи пульсирующего тока сумма напряжения постоянного тока и амплитудного значения напряжения переменного тока не должна превышать номинального напряжения.

Сопrotивление изоляции конденсатора характеризует качество его диэлектрика, величину тока утечки через него и, следовательно, надежность работы конденсатора. Сопrotивление изоляции измеряется между выводами обкладок конденсатора при подаче на них напряжения постоянного тока, равного 100 в.

Для электролитических конденсаторов измеряют не сопротивление изоляции, а ток утечки при номинальном напряжении. Ток утечки обычно тем больше, чем больше емкость конденсатора. При повышении температуры окружающей среды и влажности ток утечки увеличивается.

Сопrotивление изоляции исправных керамических и слюдяных конденсаторов в нормальных условиях составляет десятки и сотни тысяч мегомов, бумажных — сотни и тысячи мегомов (табл. II.6).

Температурный коэффициент емкости (ТКЕ) характеризует обратное относительное изменение емкости конденсатора при изменении температуры на 1° С. Конденсаторы постоянной емкости в зависимости от температурной стабильности разделяются на группы, каждая из которых характеризуется своим ТКЕ. В табл. II.4 приведены стандартизованные температурные коэффициенты емкости слюдяных и керамических

Таблица II.4

Температурные коэффициенты емкости слюдяных и керамических конденсаторов (в интервале температур от +20°C до +85°C)

Группа	ТКЕ, %/град	Цвет корпуса	Цвет маркировочной точки
Слюдяные конденсаторы			
А	Не нормируются	—	—
Б	±0,02	—	—
В	±0,01	—	—
Г	±0,005	—	—
Керамические конденсаторы			
П120	+0,012	Синий	—
П33	+0,0033	Серый	—
МГО	0	Голубой	Черный
М33	-0,0033	»	Коричневый
М47	-0,0047	»	Красный
М150	-0,015	Красный	Оранжевый
М220	-0,022	»	Желтый
М330	-0,033	»	Зеленый
М470	-0,047	»	Синий
М750	-0,075	»	—
М1500	-0,150	Зеленый	—

ких конденсаторов и указан способ маркировки. Для конденсаторов других типов ТКЕ не регламентируется, но нормируются максимальные отклонения емкости от номинала при крайних рабочих температурах.

Таблица II.5

Допускаемые изменения емкости конденсаторов с диэлектриком из низкочастотной керамики относительно емкости при температуре +20°C в интервале температур от -60 до +85°C

Группа	Допускаемые изменения емкости, %	Цвет маркировочной точки на корпусе оранжевого цвета
Н10	±10	Черный
Н20	±20	Красный
Н30	±30	Зеленый
Н50	-50	Синий
Н70	-70	—
Н90	-90	Белый

Конденсаторы с диэлектриком из низкочастотной керамики (сегнето-керамические) окрашиваются в оранжевый цвет, а предельно допустимое изменение их емкости обозначается цветной точкой (табл. II.5).

Предельная реактивная мощность определяет границы применения конденсатора в цепях переменного тока. Допустимая амплитуда переменного напряжения на конденсаторе

$$U_{\text{тдоп}} = \sqrt{\frac{P_{\text{р. доп}}}{\pi f C}},$$

где $P_{\text{р. доп}}$ — предельная реактивная мощность, ва ; f — частота переменного напряжения, гц ; C — емкость конденсатора, ф .

Потери в маломощных конденсаторах в основном определяются потерями в диэлектрике. Они характеризуются тангенсом угла потерь $\text{tg}\delta$. Величина, обратная $\text{tg}\delta$, называется добротностью конденсатора.

Величины $\text{tg}\delta$ конденсаторов различных типов, измеренные при нормальных климатических условиях, приведены в табл. II.6.

Таблица II.6

Сопротивление изоляции и $\text{tg} \delta$ конденсаторов

Тип конденсатора	Сопротивление изоляции, <i>Мом</i>	$\text{tg} \delta$
Слюдяной	10 000—50 000	(5—10) · 10 ⁻⁴
Керамический	5000—10 000	(1—2) · 10 ⁻³
Сегнетокерамический	1000—5000*	(2—4) · 10 ⁻²
Стекланный	10 000—20 000	(2—3) · 10 ⁻³
Стеклоэмалевый и стеклокерамический	5000—20 000	(1—10) · 10 ⁻³
Бумажный	5000—10 000*	(1—1,5) · 10 ⁻²
	500—2000**	
Металлобумажный	2000—5000*	(1,5—2) · 10 ⁻²
	200—1000**	
Пленочный фторопластовый	50 000—100 000*	(2—10) · 10 ⁻⁴
	5000—10 000**	
Лакопленочный	100**	(1—1,5) · 10 ⁻²
Электролитический	3—50**	(1—3) · 10 ^{-3***}

* Для емкостей менее 0,1 мкф. ** Мом · мкф для емкостей более 0,1 мкф
*** При частоте 50 гц.

Собственная индуктивность конденсатора определяет его предельную рабочую частоту, которая должна быть значительно ниже резонансной. Собственная индуктивность конденсатора зависит от размеров его обкладок и способа их соединения с выводами. В табл. II.7 приведены значения собственных индуктивностей и максимальных рабочих частот конденсаторов.

Таблица II.7

Собственные индуктивности и максимальные рабочие частоты конденсаторов

Тип конденсатора	<i>L</i> , нгн	f_{max} , Мгц
Слюдяной малого размера (КСО-1—КСО-7)	4—6	150—250
Керамический дисковый малого размера (КДУ КД-1)	1—1,5	2000—3000
Керамический дисковый среднего размера (КД-2)	2—4	200—300
Керамический трубчатый малого размера (КТ-1)	3—10	150—200
Керамический трубчатый среднего размера (КТ-2)	15—20	100—150

Маркировка конденсаторов постоянной емкости. На конденсаторах достаточно больших габаритов обозначаются: тип, номинальное рабочее напряжение, номинальная емкость и допускаемые отклонения от номинальной емкости в процентах. Кроме того, ставится марка завода-изготовителя, месяц и год выпуска. Если конденсаторы данного типа выпускаются только одного класса точности, то допуск не маркируют. На слюдяных и стеклоэмалевых конденсаторах указывается группа ТКЕ. Группа ТКЕ керамических конденсаторов обычно обозна-

чается цветным кодом — окраской корпуса в определенный цвет (табл. II.4).

Для маркировки малогабаритных конденсаторов согласно ГОСТу 11076—69 введены кодированные обозначения емкости и допустимых отклонений емкости от номинального значения. Они состоят из цифр, обозначающих номинальную величину емкости, буквы, обозначающей единицу измерения емкости, и буквы, обозначающей допустимое отклонение емкости от номинальной величины. Емкости до 100 пф выражаются в пикофарадах и обозначаются буквой П, емкости от 100 пф до 0,1 мкф — в нанофарадах и обозначаются буквой Н, а емкости от 0,1 мкф и выше — в микрофарадах и обозначаются буквой М. Эти буквы ставятся на место запятой десятичной дроби, которая выражает величину емкости. Если номинальная емкость выражается целым числом, то буква, обозначающая единицу измерения, ставится после этого числа. Если же номинальная величина емкости выражается десятичной дробью, меньшей единицы, то нуль целых и запятая из маркировки исключаются и буквенное обозначение единицы измерения располагается перед числом. Например, 9,1 пф обозначаются 9П1; 22 пф — 22П; 150 пф — Н15; 1800 пф — 1Н8; 0,01 мкф — 10Н; 0,15 мкф — М15; 50 мкф — 50М.

Кодированные обозначения допускаемых отклонений емкости от номинального значения приведены в табл. II.8.

Таблица II.8

Кодированные обозначения допускаемых отклонений емкости и сопротивления от номинального значения

Допускаемые отклонения емкости и сопротивления от номинального значения, %	Кодированные обозначения	Допускаемые отклонения емкости от номинальных значений, %	Кодированные обозначения
±0,1	Ж	+50	Э
±0,2	У	-10	
±0,5	Д	+50	Б
±1	Р	-20	
±2	Л	+80	А
±5	И	-20	
±10	С	+100	Я
±20	В	+100	Ю
±30	Ф	-10	
		±0,4*	Х

* В пикофарадах.

§ 2. Конденсаторы постоянной емкости

Слюдяные конденсаторы применяют в качестве контурных, переходных, разделительных, блокировочных, а также в различных фильтрах. Они характеризуются высокими электрическими показателями и небольшими размерами. В малогабаритной радиоаппаратуре находят применение слюдяные конденсаторы типов КСО (опрессованные) и СГМ (герметизированные малогабаритные). Во влажной атмосфере конденсаторы СГМ работают более надежно, чем конденсаторы КСО.

Т а б л и ц а П 1.9

Основные данные слюдяных конденсаторов

Тип	Емкость, пФ	Рабочее напряже- ние, в	Реактив- ная мощ- ность, вД	Группа стабиль- ности	Размеры (без выводов), мм
КСО-1	51—750	250	5	Б—В	13 × 7 × 4,5
	100—750			Г	
КСО-2	100—2400	500	10	Б—Г	18 × 11 × 6,5
	100—680			А	
КСО-5	470—6800	500	20	А—Г	20 × 20 × 9
	7500—10 000	250			
СГМ-1	100—560	250	5		15 × 9,5 × 6
СГМ-2	620—1200				15 × 10 × 7
СГМ-3	100—4300	500	10	Б, Г	19 × 13,5 × 7,5
	100—3000	1000			
	100—1500	1500			
СГМ-4	6800—10 000	250	20		19 × 22 × 9
	4700—6200	500			
	3300—6800	1000			
	1600—3900	1500			

Не следует применять слюдяные конденсаторы в диапазоне УКВ. Основные данные слюдяных конденсаторов приведены в табл. П.6, П.9. Их внешний вид представлен на рис. П.1.

Керамические конденсаторы широко применяются в КВ и УКВ контурах, а также используются в качестве блокировочных, переходных

и др. Они характеризуются высокими электрическими показателями, малыми размерами. Стоимость их невысока.

Конденсаторы с небольшим положительным ТКЕ, примерно $0,003\%/град$ (группа ПЗЗ), называются *термостабильными* и используются в контурах генераторов и гетеродинов высокой стабильности.

Конденсаторы с отрицательным ТКЕ (см. табл. П.4) называются *термокомпенсирующими* и применяются для термокомпенсации изменений резонансной частоты колебательных контуров.

Особую группу составляют *сегнетокерамические* конденсаторы. Диэлектрическая проницаемость сегнетокерамики достигает нескольких тысяч и в значительной мере зависит от температуры и напряженности

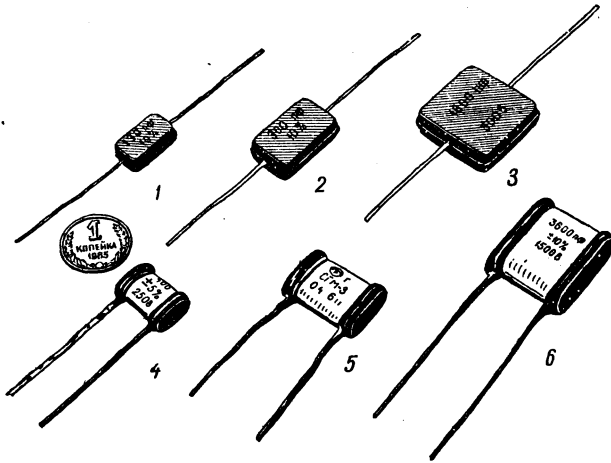


Рис. П.1. Слюдяные конденсаторы (внешний вид):

- 1 — КСО-1; 2 — КСО-2; 3 — КСО-5; 4 — СГМ-1; 5 — СГМ-3;
6 — СГМ-4.

электрического поля (напряжения на обкладках конденсатора). Конденсаторы из сегнетокерамики отличаются не только большей удельной емкостью, чем конденсаторы из высокочастотной керамики, но и большими диэлектрическими потерями.

Сегнетокерамические конденсаторы применяют в цепях, где потери не имеют большого значения, при относительно узком интервале рабочих температур или в тех случаях, когда изменение емкости мало влияет на работу аппаратуры.

Внешний вид керамических конденсаторов показан на рис. П.2, а основные данные приведены в табл. П.10.

Стеклокерамические и стеклоэмалевые конденсаторы представляют собой параллелепипеды из чередующихся тонких слоев диэлектрика (стеклокерамики или стеклоэмали) и серебра, спеченных при высокой температуре. Стеклокерамические и стеклоэмалевые конденсаторы выпускаются с проволочными выводами и без них. Последние предназначены для печатных схем и малогабаритной аппаратуры.

Стеклокерамические и стеклоэмалевые конденсаторы могут применяться в качестве контурных, разделительных и блокировочных.

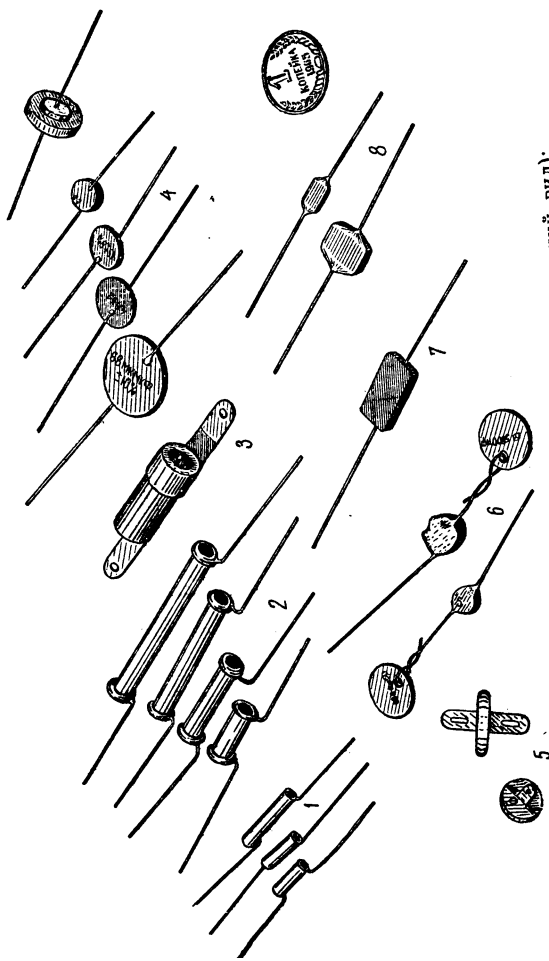


Рис. 11.2. Керамические конденсаторы (внешний вид):

- 1 — КТ-1; 2 — КТ-2; 3 — КТ-3; 4 — КД; 5 — КДУ; 6 — КПМ; 7 — КС; 8 — КЛС.

Основные данные керамических конденсаторов

Тип	Характеристика	Число типов-размеров	Емкость, пф	Допускаемые отклонения от номинала, %	Рабочее напряжение, в	Максимальная рабочая мощность, ватт	Группы ТКЕ	Примечание
КД	Дисковый, керамический	5	1—270	2; 5; 10; 20	250; 300; 400; 500	20—100	П120, П133, М47, М150, М1500	1; 3; 5
			680—2200	От +80 до -20	160; 300	1—5	Н70	1; 4
			1—2200	2; 5; 10; 20	250; 300; 400; 500; 750	20—1200	П120, М47, М75, М700, М1300	1; 3; 5
КТ	Трубчатый, керамический	6	680—33000	От +80; до -20	160; 300	2—7	Н70	1; 4
			1—47	10	500	40—100	П120, П133, М33, М700	2; 3; 5
КДУ	Керамический, дисковый, ультратонкий, волновой	3	1—47	10	500	40—100	П120, П133, М33, М700	2; 3; 5
			8,2—3000	5; 10; 20	70—250	—	М33, М47, М750, М1500	2; 3; 7
КЛС	Керамический, секционный, литой	2	680—10 000	20	70—250	—	Н30, Н50, Н70, Н90	1; 4
			680—100 000	От +80 до -20	—	—	Н30, Н50, Н70, Н90	1; 4
КОМ	Керамический, опорный, малогабаритный	3	8,2—470	10; 20	250	20—40	П120, М47, М75, М700, М1300	2; 3
			3300—6800	От +80 до -20	160	1—2	Н70	1; 4
КПМ	Керамический, пластинчатый, малогабаритный	5	15—2200	10; 20	100	20—100	П120, П133, М33, М47, М700, М1500	2; 3
			4700—47 000	От +80 до -20	—	—	Н70	1; 4
КС	Стеклоэмалевый	4	9,1—1000	2; 5; 10; 20	300; 350	15—200	П33, МП0, М47	2; 3; 6

СКМ	Стеклокерамический, многослойный	3	10—1000	2; 5; 10; 20	От +50 до —20	250; 500	30—55	МП0, М47, М330	1; 3; 6
								Н30	1; 4;
КМ	Керамический, монокри- сталлический	10	16—5600	5; 10; 20	160; 250	10—40	П33, М33, М47, М750, М1500	1	
			680—68 000	От +50 до —20	100; 160	—	Н30	—	
			1500—15 000	От +80 до —20	50	—	Н90	2; 4	
			510—40 0 00	От +100 до —40	250	—	Н90	—	
КЛГ	Керамический, литой, секционный	2	18—2000	2; 5; 10; 20	—	—	—	М47—М1300	1; 3; 7
			1000—10 000	20	70—250	60—150	Н30	—	
			4700—22 000	От +80 до —20	—	—	Н70	1; 4; 7	
К10-7	Керамический	6	2,2—2200	10; 20	160—500	20—100	Все (см. табл. 11,4)	1; 3	
			120—15000	5; 10; 20	—	—	П33, М47, М75, М750, М1500	1; 3	
КМ-6	Керамический, монокри- сталлический	—	10 000—150 000	От +50 до —20	25—50	10—40	Н50	2; 4	
			22 000—1 000 000	От +80 до —20	—	—	Н90	—	

Тип	Характеристика	Число типов размеров	Емкость, пф	Допускаемые отклонения от номинала, %	Рабочее напряжение, в	Максимальная реактивная мощность, вД	Группы ТКЕ	Примечание
ДС	Дисковый, стеклосма- левый	1	22—100	5; 10	—	—	МПО	1; 3
		12	22—2400	5; 10; 20	35—250	15—30	МПО; М47; М330	1; 3
К21У-1	Стеклокерамический		680—1500	От +50 до —20	12—100	—	Н30	2; 4
К21У-2	Стекланный	10	10—300	5; 10; 20	125—1000	5—10	П120, МПО	1; 2; 3
К21У-3	Стекланный	14	9,1—5600	2; 5; 10; 20	250	25—100	П33, МПО	1; 3
		2	2,2—330	5; 10	70; 160	10	М47, М75, М330, МПО	1; 3; 6
МБМ	Металлобумажный, малогабаритный	—	0,0051—500 000	10; 20	160—1500	—	—	1; 4
ПМ	Полиэтирольный, малогабаритный	17	100—10 000	5; 10; 20	60	—	—	1; 3
К76П-4	Лакотлепный	—	0,47—22,0*	5; 10; 20	50	—	—	1; 4

Примечания: 1. Предназначены для работы в цепях постоянного, переменного и пульсирующего тока. 2. Предназначены для работы в цепях постоянного и переменного тока. 3. Предназначены для использования в качестве конгурных, разделительных и блокировочных. 4. Предназначены для использования в качестве разделительных и блокировочных. 5. Допускаемые отклонения емкости от номинала не менее 0,4 пф. 6. Допускаемые отклонения емкости от номинала не менее 1 пф. 7. Для маркировки рабочего напряжения применяется цветной код (зеленый — 60 в, фиолетовый — 160 в, белый — 250 в).

* В микрофарадах.

Основные характеристики стеклокерамических и стеклокремлевых конденсаторов приведены в табл. II.6 и II.10, а внешний вид некоторых типов показан на рис. II.2.

Стекланные конденсаторы по конструкции подобны стеклокерамическим и стеклокремлевым. Диэлектриком в них служат слои специального стекла, обкладки выполнены из тонкой фольги. Для защиты от механических и климатических воздействий конденсаторы покрыты эмалью.

Электрические параметры стекланных и стеклокерамических конденсаторов идентичны, однако стекланные конденсаторы могут работать при более высоких температурах (до $+350^{\circ}\text{C}$).

Основные данные стекланных конденсаторов приведены в табл. II.6 и II.10.

Металлобумажные конденсаторы характеризуются сравнительно малыми размерами. По удельной емкости они приближаются к электролитическим, но ток утечки у них меньше. Металлобумажные конденсаторы способны самовосстанавливаться после пробоя.

Диэлектриком металлобумажных конденсаторов является лакированная конденсаторная бумага, обкладками — слои металла толщиной меньше микрона. нанесенные на одну сторону бумаги.

Основные характеристики конденсаторов типа МБМ приведены в табл. II.10, а размеры и вес конденсаторов, рассчитанных на рабочее напряжение 160 в — в табл. II.11. Корпусы

этих конденсаторов цилиндрические, алюминиевые (рис. II.3). На торцах конденсаторы герметизированы эпоксидной смолой.

Металлопленочные конденсаторы характеризуются высокой добротностью (до 2000), большим сопротивлением изоляции и высокой стабильностью ($\text{TKE} \approx 0,02\%/град$). Они применяются в малогабаритной радиоаппаратуре наряду со слюдяными и керамическими конденсаторами.

Диэлектриком металлопленочных конденсаторов является тонкая пленка из полистирола или фторопласта (см. § 6 гл. I), обкладками — тонкий слой металла, нанесенный на пленку.

Основные характеристики конденсаторов типа ПМ приведены в табл. II.10, размеры и вес — в табл. II.12, а внешний вид показан на рис. II.3.

Электролитические конденсаторы. В таких конденсаторах диэлектриком служит оксидный слой на металле, который является одной из обкладок (анодом). Вторая обкладка (катод) — электролит, пропитывающий бумагу. Аноды изготавливаются из алюминиевой или танталовой фольги.

Электролитические конденсаторы характеризуются большой удельной емкостью, большими токами утечки и большими потерями. Удельная емкость танталовых конденсаторов больше, чем алюминиевых. Танталовые конденсаторы могут работать при более высоких температурах; их емкость мало изменяется при изменении температуры; токи утечки у них меньше.

Т а б л и ц а II.11
Размеры и вес конденсаторов типа МБМ
на рабочее напряжение 160 в

Номинальная емкость, мкф	Максимальные размеры, мм		Вес, г (не более)
	Диаметр	Длина*	
0,05	6,8	22	2
0,1	9,3	22	3
0,25	9,3	36	5
0,5	11,8	36	8
1,0	14,8	36	10

* Длина выводов 25 ± 5 мм.

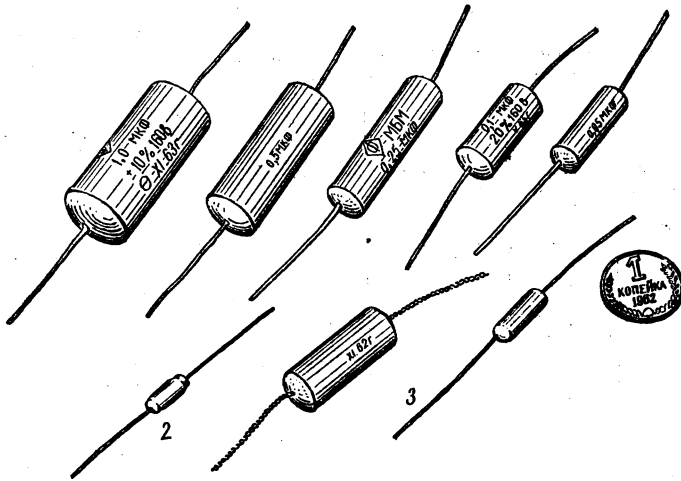


Рис. П.3. Малогабаритные металлобумажные и металлопленочные конденсаторы (внешний вид):

1 — МБМ на рабочее напряжение 160 в; 2 — ПМ-1; 3 — ПМ-2 (5100 пф и 510 пф).

Таблица П.12

Размеры и вес конденсаторов типа ПМ

Номинальная емкость *, пф	Максимальные размеры, мм				Вес, г (не более)	
	Диаметр		Длина **		ПМ-1	ПМ-2
	ПМ-1	ПМ-2	ПМ-1	ПМ-2		
100; 300; 510	3,4	4	9	14	0,4	0,8
750; 1000	4	5	11	16	0,5	1,0
1100—1500	5,5	6	12	18	0,8	2,0
1600—2400			18	24	1,2	2,5
2700—3300	6	7,5			1,6	3,0
3600; 3900	6,7				1,8	
4300—5600	7,5	8,5			2,0	3,5
6200—8200	9	10			2,3	4,0
9100; 10000	10	11			2,5	4,5

* Промежуточные значения номинальных емкостей приведены в табл. П.1.
 ** Длина выводов 25 ± 5 мм.

Таблица II.13

Основные характеристики малогабаритных электролитических конденсаторов

Тип конденсатора	Номинальная емкость, мкФ	Допустимые отклонения емкости от номинальной, %	Пределы максимальных рабочих напряжений, в	Диапазон рабочих температур, °С		Изменение емкости по отношению к емкости при 20° С, %			
				от	до	при минимальной температуре	при максимальной температуре		
ЭМ-Н	5—50	+100	4—6	-10	+70	-60	—		
	0,5—30		10—150			-50	—		
ЭМ-М	5—50		4—6	-40	+70	-60	—		
	0,5—30		10—100			—	—		
ЭМ-ОМ	0,5—5		20—100	-60			—		
ЭМИ	0,5		От +80 до -20	3	-20	+50	-50	—	
	1,25; 10		От +200 до -20				—	—	
ЭТО-1	80		От +50 до -20 ±10; ±20; ±30	6	-50	+70	-60	+30	
	30—50			15; 25	-60		-50	—	
	10—20			50—90	—		-40	+20	
ЭТО-2	1000	6		-50	-75		+50		
	300; 400	15; 25		-60	-60		—		
	100—200	50—90			-45		+30		
К50-6	50—500	От +80 до -20		6	-10		+70	—	—
	10—4000			10				—	—
	1—4000			15; 25				—	—
	1—200			50				—	—
	1—20		100	—		—			
	1—10		160	—		—			
К52-1	1,5—100	±10; ±20; ±30	3—100	-60	+85	-50	+25		
К52-2А	10—1000	От +50 до -20 ±10; ±20; ±30	6—90	-60	+200	-75	Не нормированы		
К52-2Б				-60	+155	-50	+40		
К52-3	10—1000	От +50 до -20 ±10; ±20; ±30	6—90	-60	+200	-75	+100		
				-60	+155	—	—		

Примечания: 1. Для конденсаторов типа ЭТО-1 при температуре от +70 до +100° С максимальное рабочее напряжение снижается в полтора раза; при температуре от +100 до +155° С — в два раза; при температуре от +155 до +200° С — в три раза. 2. Конденсаторы типа К50-6 могут работать при температуре до +85° С при меньших значениях максимального рабочего напряжения.

Проводимость электролитических конденсаторов в значительной мере зависит от полярности приложенного напряжения, поэтому они используются лишь в цепях постоянного и пульсирующего токов. Допустимая величина переменной составляющей напряжения нормируется. Сумма амплитудного значения переменной составляющей и постоянного напряжения не должна превышать номинального рабочего напряжения.

В неполярных электролитических конденсаторах обе обкладки содержат оксидный слой. Неполярные конденсаторы характеризуются меньшей удельной емкостью.

В малогабаритной радиоаппаратуре применяются электролитические конденсаторы типов ЭМ (электролитические малогабаритные), ЭМИ (электролитические миниатюрные), ЭТО (электролитические танталовые объемные), К50-6 и К52. Основные данные этих конденсаторов приведены в табл. II.13, II.14, II.15 и II.16, а внешний вид и габаритные чертежи представлены на рис. II.4, II.5 и II.6. Электролитические

Т а б л и ц а II.14

Габаритные размеры * электролитических конденсаторов типа ЭМ, мм

Номинальная емкость, мкФ	Группа морозостойкости	Номинальное рабочее напряжение, в								
		4	6	10	15	20	30	60	100	150
0,5	ОМ	—	—	—	—	—	—	—	6×20	—
	М, Н	—	—	—	—	—	—	4,5×15	4,5×18	—
1	ОМ	—	—	—	—	6×15	—	6×20	—	—
	М	—	—	—	—	—	4,5×15	—	6×20	—
	Н	—	—	—	—	—	4,5×15	—	6×20	6×20
2	ОМ	—	—	—	—	6×20	—	—	8,5×30	—
	М, Н	—	—	—	4,5×15	—	4,5×18	6×15	—	—
3	ОМ	—	—	—	—	—	—	8,5×30	8,5×35	—
	М, Н	—	—	4,5×15	—	4,5×18	—	6×20	—	—
5	ОМ	—	—	—	—	8,5×30	—	8,5×35	—	—
10	М, Н	—	4,5×15	4,5×18	—	6×15	6×20	—	8,5×30	—
15		—	4,5×18	6×15	6×20	—	8,5×30	8,5×35	—	—
20		—	6×15	6×20	—	8,5×35	—	—	—	—
25		6×15	6×20	—	—	—	—	—	—	—
30		6×20	—	—	8,5×35	—	—	—	—	—
40		—	—	8,5×35	—	—	—	—	—	—
40		—	8,5×35	—	—	—	—	—	—	—
50		8,5×35	—	—	—	—	—	—	—	—

* Первое число — диаметр, второе — длина корпуса.

Таблица II.15

Допустимые значения переменной составляющей напряжения
для конденсаторов типа К50-6

Номинальное напряжение, в	Номинальная емкость, мкФ	Допустимое отношение амплитуды переменной составляющей напряжения 50 гц к номинальному напряжению, %	Номинальное напряжение, в	Номинальная емкость, мкФ	Допустимое отношение амплитуды переменной составляющей напряжения 50 гц к номинальному напряжению, %
6	50—200	25	10; 15	2000	15
10	10—100		25	500—1000	
15	1—50		50	50—200	
25	1—20		100	1—5	
6	500	20	25	2000	10
10	200—1000		100	10—20	
15	100—1000		160	1—10	
25	50—200		10; 15; 25	4000	5
50	1—20				

Примечание. При частотах выше 50 гц (до 20 кгц) амплитуда переменной составляющей напряжения должна уменьшаться обратно пропорционально частоте.

Таблица II.16

Размеры корпуса и вес конденсаторов типа К50-6

Номинальное напряжение, в	Номинальная емкость, мкФ	Размеры, мм		Вес, г	Конструкция
		D	H		
6	50	7,5	13	1,4	I
	100	10,5	15	2,5	
	200	14	16	5,5	II
	500	18	18	8,5	
10	10	6	13	0,8	I
	20	7,5		1,4	
	50	10,5	15	2,5	
	100	12	16	4	II
	200	16	18	6,5	
	500	18	25	12	
	1000		45	25	
	2000	24	47	40	III
	4000	30		60	

Продолжение табл. 11.16

Номинальное напряжение, в	Номинальная емкость, мкф	Размеры, мм		Вес, г	Конструкция	
		D	H			
15	1	4	13	0,6	I	
	5	6		0,8		
	10					
	20	7,5		1,4		
	30	7,5		1,4		
	50	10,5	18	3,5		
	100	12		4,5		
	200	16		6,2		
	25	500	18	25	12	II
		1000	21	45	35	
		2000	26	62	55	
		4000	30		70	
		50	1	4	13	
5	7,5		1,4			
10	7,5					
20	10,5		15	2,5	II	
50	14		18	6		
100	16			6,5		
200	18		45	8,5		
500				25		
1000				30	47	60
2000	34		62	70		
4000			80	120		
100	1		6	13	0,8	I
	2				1,5	
	5	7,5				
	10	10,5	15	2,5	II	
	20	12	16	4		
	50	18	18	8,5		
	100		25	12		
	200		45	25		

Номинальное напряжение, в	Номинальная емкость, мкф	Размеры, мм		Ес, г	Конструкция
		D	H		
100	1	6	13	0,8	I
	2			1,2	
	5			2,0	
	10	7,5		II	
	20	12			
160	1	6	18	1,2	I
	2	7,5		2	
	5	12		4,5	II
	10	16		6,5	
	20	14		5,5	
15	5	6		1,2	I
	10	7,5		2,0	
	20	10,5		3,5	II
	50	16		6,5	
25	10	10,5		3,5	I

Примечание. В конце таблицы приведены данные для пяти номиналов неполярных конденсаторов.

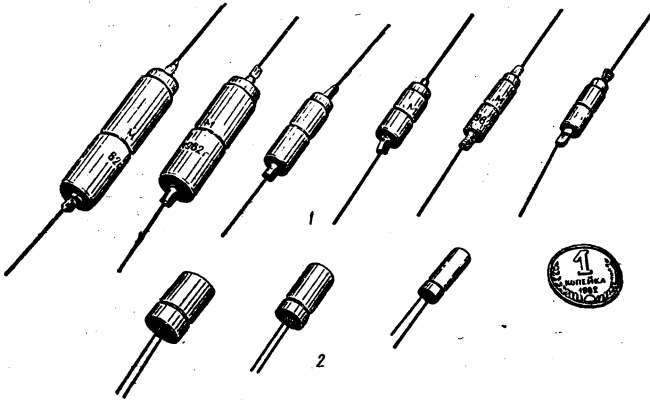


Рис. 11.4. Малогабаритные электролитические конденсаторы (внешний вид):

1 — ЭМ; 2 — К50-6 (20 мкф, 15 в; 10 мкф, 10 в; 1 мкф, 30 в).

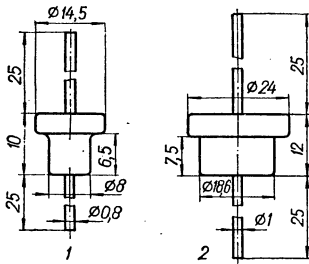


Рис. II.5. Габаритные чертежи конденсаторов:
1 — тип ЭТО-1; 2 — тип ЭТО-2.

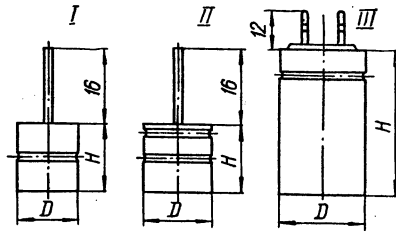


Рис. II.6. Габаритные чертежи конденсаторов типа К50-6 (I, II, III — варианты конструкции).

Таблица II.17

Основные характеристики оксиднополупроводниковых конденсаторов

Тип	Номинальные емкости, мкф	Допускаемые отклонения емкости от номинальной, %	Пределы максимальных рабочих напряжений, в	Диапазон рабочих температур, °С		Изменения емкости по отношению к емкости при 20°С, %	
				от	до	при $t_{\text{мин}}$	при $t_{\text{макс}}$
К53-1	0,033—100	± 10 ; ± 20 ; ± 30	6—30	-80	+85	-35	+35
К53-1А	0,033—100	± 10 ; ± 20 ; ± 30	6—30	-80	+125	-15	+15
К53-4	0,47—100	± 10 ; ± 20 ; ± 30	6—20	-60	+85	-35	+35
К53-8	0,5—20	От $+3$; до -20 ; ± 20	1,5—15	-60	+85	-40	+50

конденсаторы используются в качестве фильтровых в выпрямителях блокирующих и развязывающих в цепях звуковых частот, а также в качестве переходных в усилителях звуковых частот на транзисторах.

В зависимости от интервала рабочих температур конденсаторы типа ЭМ разделяются на следующие группы: Н — неморозостойкие, М — морозостойкие, ОМ — особо морозостойкие (см. табл. II.13).

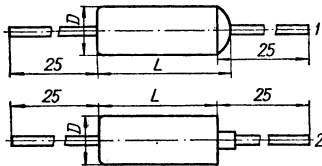


Рис. II.7. Габаритные чертежи конденсаторов типа К53-1 (1, 2 — варианты конструкции).

Оксиднополупроводниковые конденсаторы отличаются от электролитических тем, что одной из обкладок (катодом) в них служит слой полупроводника, нанесенный непосредственно на оксидный слой, являющийся диэлектриком. Аноды таких конденсаторов изготавливаются

из алюминиевой фольги. Оксиднополупроводниковые конденсаторы могут работать при более низких температурах, чем электролитические. Основные характеристики конденсаторов типа К53 приведены в табл. II.17 и II.18, а габаритные чертежи показаны на рис. II.7.

Таблица II.13

Размеры корпуса и вес конденсаторов типа К53-1

Номинальная емкость, мкф	Номиналь- ное рабо- чее на- пряженье, в	Вариант оформле- ния	Диаметр, мм	Длина, мм	Вес, г				
0,1; 0,15; 0,22	6	а, б	3,2	7,5	0,5				
0,1; 0,15	10								
0,068; 0,1	15								
0,047; 0,068	20								
0,033; 0,047	30								
0,33; 0,47; 0,68; 1	6								
0,22; 0,33; 0,47; 0,68	10								
0,15; 0,22; 0,33; 0,47	15								
0,1; 0,15; 0,22	20								
0,068; 0,1; 0,15	30								
3,3; 4,7	6	б	3,2	7,5	1,5				
2,2; 3,3	15								
1; 1,5; 2,2	20								
1; 1,5	30								
6,8; 10	6								
4,7; 6,8	15								
3,3; 4,7	20	б	4	10	2				
2,2; 3,3	30								
15; 22	6								
10; 15	15								
6,8; 10	20								
4,7; 6,8	30								
33; 47	6	б	4	10	2				
22; 33	15								
15; 22	20								
10; 15	30								
68; 100	6								
47; 68	15								
33; 47	20								
22; 33	30								
33; 47	6					б	7,2	12	5,5
22; 33	30								
47; 68	15	б	7,2	16	6,5				
33; 47	20								
22; 33	30								

§ 3. Подстроечные конденсаторы

Керамические подстроечные конденсаторы находят широкое применение в колебательных контурах для точной подстройки в процессе наладки радиоаппаратуры

Т а б л и ц а 11.19

Основные данные керамических подстроечных конденсаторов

Тип	Пределы изменения емкости, пф	ТКЕ, %/град	Тангенс угла диэлектрических потерь	Размеры корпуса, мм	Вес, г (не более)
КПК-1	2-7 *; 4-15; 6-25; 8-30; 6-60; 25-150; 75-200	-(0,02-0,085)	0,002	24×18×12	8
КПК-2	125-250; 200-325; 275-375; 350-450;			∅33,5×9,5	18
КПК-3				54×36×14	40
КПК-М	4-15; 5-20; 6-25; 8-30		0,0025	15×11×9	3
КПКМТ	2-7; 4-15; 6-25; 8-30	-0,02	0,0015	∅11×32	12
КПД	0,6-2,5; 2-8	-0,05	0,005	∅7×3,6	1
	1,1-4,5	+0,05		∅10×5,5	
	2-8	-0,05			
КПКТ	1-10; 2-15; 2-20; 2-25	±0,04	0,0025	∅13×29	8

* ТКЕ не нормируется.

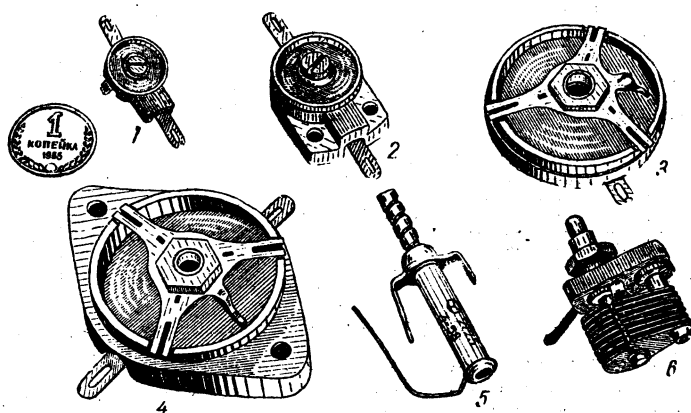


Рис. 11.8. Подстроечные конденсаторы (внешний вид):
1 — КПК-М; 2 — КПК-1; 3 — КПК-2; 4 — КПК-3; 5 — КПКТ;
6 — пластинчатый.

Выпускаются четыре типа керамических подстроечных конденсаторов:

- 1) КПД — керамические подстроечные дисковые;
- 2) КПК — конденсаторы подстроечные керамические;
- 3) КПКМТ — конденсаторы подстроечные керамические малогабаритные тропикоустойчивые;
- 4) КПКТ — конденсаторы подстроечные керамические трубчатые.

Внешний вид подстроечных конденсаторов представлен на рис. II.8, а основные данные приведены в табл. II.19.

Пластинчатые подстроечные конденсаторы представляют собой миниатюрные прямоемкостные конденсаторы переменной емкости с воздушным диэлектриком (рис. II.8). Характеризуются высокими качественными показателями, но сложны по конструкции и дороги.

§ 4. Конденсаторы переменной емкости

Основные параметры конденсаторов переменной емкости те же, что и конденсаторов постоянной емкости (см. § 1). Одной из основных характеристик конденсаторов переменной емкости является закон изменения емкости в зависимости от угла поворота подвижных пластин (ротора), который определяет закон изменения частоты при настройке контура. Выпускают прямочастотные, логарифмические, прямоемкостные и прямоволновые конденсаторы переменной емкости. Они изготавливаются с воздушным и твердым диэлектриком. Конденсаторы с воздушным диэлектриком характеризуются более высокими показателями, в частности большими точностью установки емкости и стабильностью. Конденсаторы с твердым диэлектриком отличаются малыми размерами, а поэтому применяются в малогабаритной аппаратуре.

В табл. II.20 приведены основные данные типовых малогабаритных конденсаторов переменной емкости с твердым диэлектриком. Эти конденсаторы предназначены для радиоприемников, работающих на транзисторах.

Т а б л и ц а II.20

Основные данные типовых малогабаритных конденсаторов переменной емкости

Где установлен	Закон изменения емкости	Пределы изменения емкости, пф	Тангенс угла диэлектрических потерь	Размеры корпуса, мм	Длина выступающей части с осью, мм	Вес, г (не более)
—	Прямоемкостный	7—300	0,0007	26×26×24	15,5	30
—	»	7—240		20×26×26	6,3	25
—	Прямоволновой	7—180		26×26×20	6,2	17
«Гауза»	»	5,5—225	0,0015		6	—

Примечание. Конденсаторы выполнены в виде блоков из двух секций.

В качестве конденсаторов настройки малогабаритных радиоприемников можно применять керамические подстроечные конденсаторы типа КПК. Для увеличения срока их службы на серебряное покрытие статора гальваническим способом наносится пленка хрома или никеля толщиной 1,0—1,5 мк. Можно также припаять пластинку из латунной или медной фольги толщиной 0,05—0,1 мм. Рекомендуется следующий способ: вырезав заготовку по форме серебряного покрытия статора

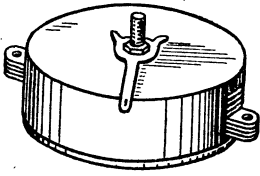


Рис. II.9. Миниатюрный двойной блок конденсаторов переменной емкости (внешний вид).

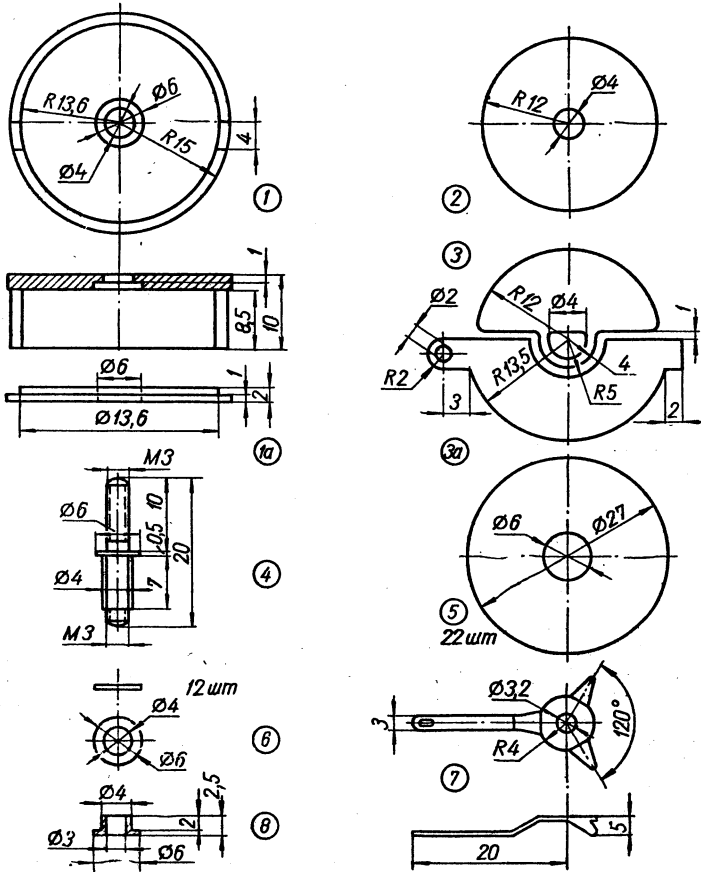


Рис. II.10. Детали миниатюрного двойного блока конденсаторов переменной емкости.

и выправив ее на ровной плите, одну ее сторону залуживают и, наложив заготовку на серебряное покрытие, хорошо прогревают паяльником. Когда припой соединит заготовку с серебряным покрытием, на нее накладывают пластинку с ровной поверхностью, которую не снимают до затвердения припоя. После этого рабочую поверхность статора притирают микронной наждачной бумагой на ровной плите.

Радиолюбительские конструкции. *Миниатурный двоянный блок конденсаторов переменной емкости* представлен на рис. II.9, а детали — на рис. II.10. Емкость конденсатора изменится в пределах 15—400 пф (для каждой секции). Корпус 1 можно изготовить из органического стекла или полистирола. В верхней части корпуса имеется отверстие, в котором развальцовывается втулка 8 оси ротора, в боковых стенках — два диаметральных пропила, в которых фиксируются обе секции статора, а в центре крышки 1а — отверстие под гайку, стягивающую пакет ротора. Ось ротора 4 изготавливается из латуни, роторные шайбы 6 — из листовой латуни толщиной 0,5 мм, роторные 3 и статорные 3а пластины — из листовой латуни толщиной 0,15—0,20 мм, токосъемник 7 — из фосфористой бронзы толщиной 0,25—0,35 мм, а шайбы 5 — из фторопласта, целлулоида или стирофлекса толщиной 0,05 мм (две шайбы толщиной 0,4—0,45 мм).

Пластины ротора и статора следует хорошо зачистить от заусениц и отрихтовать. Для рихтовки их плотно зажимают между стальными пластинами и прогревают при температуре 300—500° С в течение 5—10 мин.

Порядок расположения пластин статора, диэлектрических 5 и латунных 6 шайб на оси ротора 4 показан на рис. II.11. Между двумя пакетами (секциями конденсатора) расположен экран 2, изготовленный из листовой латуни толщиной 0,15—0,20 мм. Диэлектрические шайбы толщиной 0,4—0,45 мм располагаются с двух сторон экрана. Между выводами статора размещают латунные шайбы с внутренним диаметром 2 мм и толщиной 0,5 мм. После этого выводы стягивают винтами. Соборные секции помещают в корпус, на ось надевают токосъемник и закрепляют гайкой так, чтобы ротор вращался с небольшим трением. Более подробные сведения приведены в работе [2].

Двоянный блок плоских конденсаторов представлен на рис. II.12, а детали — на рис. II.13. Детали 1 и 2 изготавливаются из листового полистирола или органического стекла толщиной 2 мм, детали 7, 8, 9 и 10 из такого же материала соответствующей толщины, детали 5 — из фторопластовой или полистироловой пленки толщиной 0,05—0,1 мм, детали 3 — из латунной фольги толщиной 0,1—0,3 мм, деталь 4 — из листовой латуни толщиной 0,5 мм и деталь 6 — из латуни.

При сборке блока конденсаторов на щечку 1 накладывают две статорные пластины 3 отдельных секций, а сверху пластинку (прокладку) 5. Затем на прокладку 5 накладывают прокладку 9, а между ними устанавливают подвижную пластину 4. Сверху накладывают прокладку 5, на нее — две статорные пластины 3 и далее щечку 2. Весь набор скрепляют винтами. Детали 7 и 8 приклеивают соответственно к деталям 2 и 4.

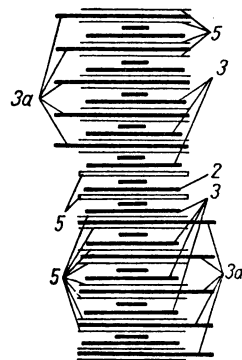


Рис. II.11. Порядок расположения пластин статора и ротора в миниатурном двоянном блоке конденсаторов переменной емкости.

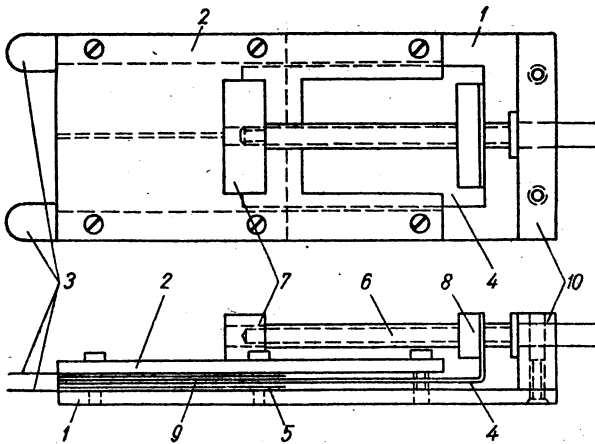


Рис. 11.12. Сдвоенный блок плоских конденсаторов переменной емкости.

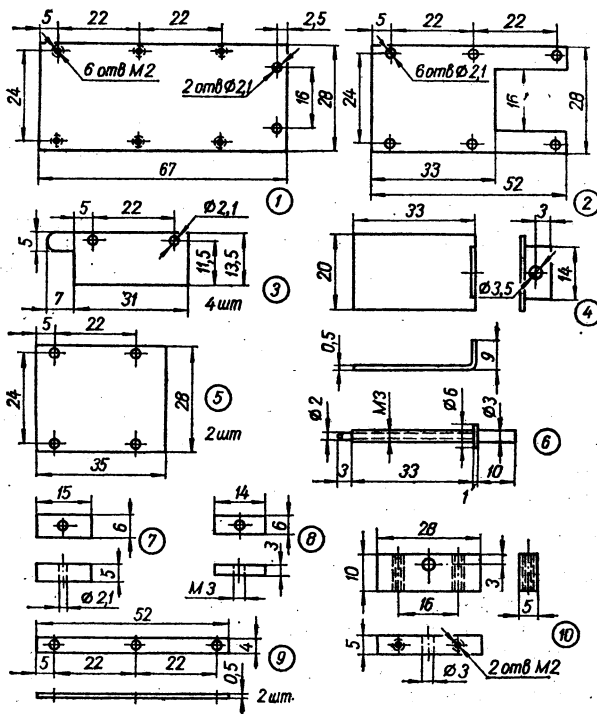


Рис. 11.13. Детали сдвоенного блока плоских конденсаторов.

§ 5. Основные параметры резисторов

Номинальные величины сопротивлений резисторов, выпускаемых промышленностью, соответствуют стандартной шкале (табл. 11.21).

Т а б л и ц а 11.21

Шкала номинальных значений сопротивлений, ом

Класс точности I	10	11	12	13	15	16	18	20	22	24	27	30	× 10 ⁿ
» » II	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
» » III	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
Класс точности I	33	36	39	43	47	51	56	62	68	75	82	91	
» » II	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
» » III	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	

Примечания: 1. Указаны две первые цифры номинальных значений.
2. Максимальное значение n зависит от типа резистора.

Классы точности определяют допустимые отклонения величин сопротивлений от номинала. Малогабаритные резисторы выпускаются по следующим классам точности:

Класс точности	I	II	III
Отклонение величины, %	±5	±10	±20

Номинальная мощность $P_{\text{ном}}$ — мощность, рассеиваемая на резисторе при максимально допустимой рабочей температуре токопроводящего элемента и изоляции.

Электрическая прочность характеризуется максимальным напряжением, при котором резистор может работать в течение длительного времени (несколько тысяч часов) без электрического пробоя.

Напряжение на резисторе не должно превышать напряжения, определяющего электрическую прочность. Оно не должно также превышать напряжения $U_{\text{ном}}$, определяющего номинальную мощность резистора:

$$U_{\text{ном}} = \sqrt{P_{\text{ном}} \cdot R},$$

где $P_{\text{ном}}$ — номинальная (предельно допустимая) мощность, *вт*; R — сопротивление, *ом*.

Собственные индуктивность и емкость, определяемые конструкцией и габаритами резистора, уменьшают частотный предел их применения.

Стабильность характеризуется изменениями параметров резисторов под влиянием окружающей среды, электрической нагрузки, а также с течением времени при эксплуатации или хранении. Температурный коэффициент сопротивления ТКС определяет относительное изменение величины сопротивления при изменении температуры на 1° С.

Уровень собственных шумов непроволочных резисторов характеризуется отношением действующего значения напряжения шумов на резисторе U_i к постоянному напряжению U_0 , приложенному к резистору; измеряется в микровольтах на 1 в приложенного напряжения

$$E_{\text{ш}} = \frac{U_i}{U_0}.$$

Напряжение шумов непроволочных резисторов, к которым не приложено постоянное напряжение, а также проволочных резисторов при температуре 20° С определяется по формуле:

$$U_{ш} = 0,125 \sqrt{R\Delta F},$$

где ΔF — полоса пропускания устройства, кГц; R — сопротивление резистора ком.

Маркировка. На каждом непроволочном резисторе указывается номинальная величина его сопротивления. На малогабаритных резисторах обозначение ком часто заменяется буквой к, а обозначение Мом — буквой М. Допустимое отклонение от номинала обозначают в % или римской цифрой, указывающей класс точности.

Для маркировки малогабаритных резисторов согласно ГОСТу 11076—69 введены сокращенные (кодированные) обозначения. Они состоят из цифр, обозначающих номинальное сопротивление, буквы, обозначающей единицу измерения сопротивления, и буквы, обозначающей допустимое отклонение сопротивления от номинала. Сопротивления до 100 ом выражаются в омах и обозначаются буквой Е, сопротивления от 100 ом до 100 ком — в килоомах и обозначаются буквой К, а сопротивления от 100 ком до 100 Мом в мегомах обозначаются буквой М. Эти буквы ставятся на место запятой десятичной дроби, которая выражает величину сопротивления. Если номинальное сопротивление выражается целым числом, то буква, обозначающая единицу измерения, ставится после этого числа. Если же номинальное сопротивление выражается десятичной дробью, меньшей единицы, то нуль целых и запятая из марки исключаются и буквенное обозначение единицы измерения ставится перед числом. Например: 0,47 ом — Е47; 47 ом — 47Е; 4,7 ком — 4К7; 47 Мом — 47М.

Номинальная мощность указывается только на непроволочных резисторах больших габаритов. Мощность малогабаритных резисторов определяется по размеру корпуса.

Буква А означает, что э. д. с. шумов непроволочного резистора меньше 1 мкв/в, остальные резисторы относят к группе Б и группу не маркируют.

§ 6. Малогабаритные резисторы

Непроволочные резисторы постоянного сопротивления характеризуются небольшими размерами, малыми собственной емкостью и индуктивностью; они дешевы, но уступают проволочным резисторам по стабильности и удельной мощности рассеивания. В малогабаритной аппаратуре широко применяют три типа постоянных резисторов:

- 1) МЛТ — металлизированные лакированные теплостойкие;
- 2) МОН — металлоокисные низкоомные;
- 3) УЛМ — углеродистые лакированные малогабаритные.

Кроме того, применяются резисторы типов КИМ — композиционные изолированные малогабаритные; КММ — композиционные мегомные малогабаритные; КОМ — композиционные опрессованные мегомные; МЛМ — металлизированные лакированные миниатюрные; МТ — металлизированные теплостойкие и ВС — углеродистые влагостойкие.

Внешний вид некоторых типов малогабаритных резисторов показан на рис. II.14, а основные данные приведены в табл. II.22. Резисторы типа МТ по внешнему виду не отличаются от резисторов типа МЛТ, но размеры их несколько больше.

Проволочные резисторы постоянного сопротивления применяются в радиоаппаратуре при высоких требованиях к стабильности, точности, уровню шумов и при значительной допустимой мощности рассеивания. Недостаток проволочных резисторов состоит в ограниченном частотном диапазоне, что является результатом влияния большой собственной емкости и индуктивности.

Проволочные резисторы постоянного сопротивления выполняются намоткой проволоки из сплавов высокого сопротивления (см. § 3 гл. I)

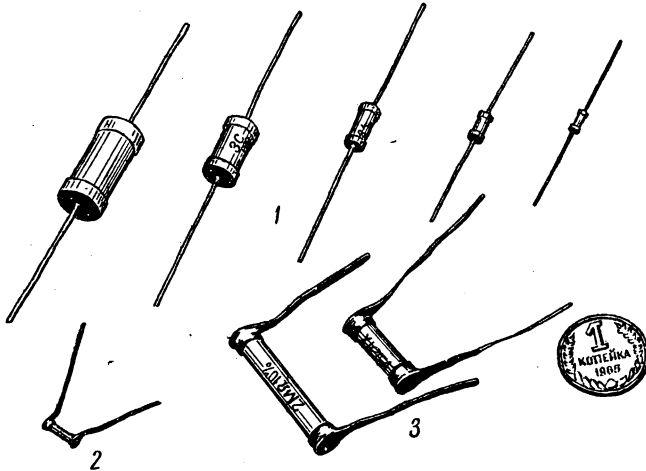


Рис. II.14. Малогабаритные резисторы постоянного сопротивления (внешний вид):

1 — МЛТ; 2 — УЛМ; 3 — ВС (0,5 и 0,25 Вт).

на цилиндрические или плоские каркасы из диэлектрика. Выпускаются три типа малогабаритных проволочных резисторов постоянного сопротивления:

- 1) МВС — микропроволочные высоковольтные в стеклянной изоляции;
- 2) МВСГ — микропроволочные высоковольтные в стеклянной изоляции, герметизированные;
- 3) ПКВ — проволочные влагостойкие малогабаритные.

Основные данные некоторых типов проволочных резисторов приведены в табл. II.22.

Резисторы переменного сопротивления могут быть проволочными и непроволочными. По характеру изменения сопротивления в зависимости от угла поворота оси различают резисторы с линейной (группа А), логарифмической (группа Б) и обратной логарифмической (группа В) зависимостью. В малогабаритной аппаратуре наиболее целесообразно применять резисторы переменного сопротивления следующих типов:

- ПП-2 — проволочные переменные;
- СП-0,4 — сопротивления переменные;
- СПД — сопротивления переменные дисковые;
- СПО — сопротивления переменные объемные.

Основные данные малогабаритных резисторов переменного сопротивления приведены в табл. II.23, а внешний вид представлен на рис. II.15.

Таблица П.22

Основные данные малогабаритных резисторов постоянного сопротивления

Тип	Номинальная мощность, <i>вт</i>	Номинальные сопротивления	Допускаемые отклонения сопротивления от номинала, %	Максимальное напряжение, <i>в</i>	Размеры, <i>мм</i>	
					Диаметр	Длина (без выводов)
Непроволочные						
КИМ-0,05	0,05	10 <i>ом</i> —910 <i>ком</i>	5; 10	—	1,8	3,8
		1 <i>Мом</i> —5,6 <i>Мом</i>	10; 20	—		
КИМ-0,125	0,125	1 <i>ком</i> —910 <i>ком</i>	5; 10	200	2,5	8,0
		1 <i>Мом</i> —1000 <i>Мом</i>	10; 20			
КММ	—	0,51 <i>Мом</i> —100 <i>Мзм</i>	10; 20	100	1,6	6,2
КОМ	—	4,7 <i>Мом</i> —47 <i>Мом</i>	20	120	3,2	10,0
МЛМ	—	100 <i>ом</i> —2,2 <i>Мом</i>	—	200	2,0	5,8
МЛТ-0,125	0,125	51 <i>ом</i> —2,2 <i>Мом</i>	—			6,0
МЛТ-0,25	0,25	51 <i>ом</i> —3,0 <i>Мом</i>	5; 10; 20	250	3,0	7,0
МЛТ-0,5	0,5	100 <i>ом</i> —5,1 <i>Мом</i>		350	4,2	10,8
МЛТ-1	1,0	100 <i>ом</i> —10 <i>Мом</i>		500	6,6	13,0
МЛТ-2	2,0			750	8,6	18,5
МОН-0,5	0,5	1 <i>ом</i> —5,6 <i>ом</i>	5; 10	7	4,2	10,8
МОН-1	1,0	6,2 <i>ом</i> —36 <i>ом</i>		10	6,6	13,0
МОН-2	2,0	39 <i>ом</i> —100 <i>ом</i>		15	8,6	18,5
МТ-0,125	0,125	100 <i>ом</i> —1,1 <i>Мом</i>		5; 10; 20	200	2,0
МТ-0,25	0,25	100 <i>ом</i> —2 <i>Мом</i>	2,7		8,0	
МТ-0,5	0,5	100 <i>ом</i> —5,1 <i>Мом</i>	350		4,0	11,0
МТ-1	1,0	100 <i>ом</i> —10 <i>Мом</i>	500		6,5	17,0
МТ-2	2,0		700		8,6	27,0
УЛМ	0,12	27 <i>ом</i> —1 <i>Мом</i>	100		2,5	6,5
Проволочные						
МВС-0,25	0,25	10 <i>ком</i> —2 <i>Мом</i>	0,03; 0,05;	500	5	24
МВС-0,5	0,5	10 <i>ком</i> —10 <i>Мом</i>	0,1; 0,2	1100	7	28
МВС-1	1,0	50 <i>ком</i> —10 <i>Мом</i>		1600	9	46
ПКВ-1		51 <i>ом</i> —36 <i>ком</i>	—	—	12	16
ПКВ-2	2,0	51 <i>ом</i> —110 <i>ком</i>	0,03; 0,05; 0,5; 1; 2; 5	300	15,5	20
ПКВ-2А				17,5	22	
ПКВ-5				500	24,5	32

Примечания: 1. Промежуточные значения сопротивлений можно определить с помощью табл. П.18. 2. Для резисторов типов КММ и КОМ номинальная мощность не указывается. Предел применения этих резисторов определяется максимальным напряжением.

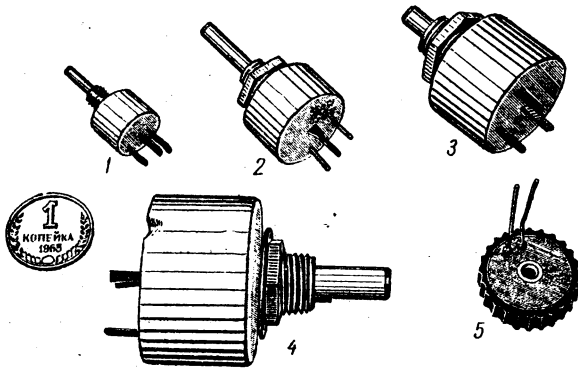


Рис. II.15. Малогабаритные резисторы переменного сопротивления (внешний вид):
 1 — СПО-0,15; 2 — СПО-0,5; 3 — СПО-1; 4 — СПО-2; 5 — дисковое (фирмы «Тесла»).

Таблица II.23

Основные данные малогабаритных резисторов переменного сопротивления

Тип	Номинальная мощность, <i>вт</i>	Номинальные сопротивления	Допускаемые отклонения от номинала, %	Максимальное рабочее напряжение, <i>в</i>	Размеры корпуса, <i>мм</i>	
					Диаметр	Высота

Непроволочные

СП-0,4	0,4	470 <i>ом</i> —4,7 <i>Мом</i>	20; 30	300	16	11
СПД-0,05 *	0,05	5,1 <i>ком</i> —10 <i>ком</i> **	20	15	17,5	5
СПД-0,06	0,06	100 <i>ком</i> —470 <i>ком</i>		70		
СПО-0,15	0,15	100 <i>ком</i> —1 <i>Мом</i>		100	9,6	8
СПО-0,5	0,5	100 <i>ком</i> —4,7 <i>Мом</i>		250	16,6	12
СПО-1	1,0	47 <i>ком</i> —4,7 <i>Мом</i>		350	21	14
СПО-2	2,0			600	28	16

Проволочные

ПП-2	2,0	20 <i>ом</i> —20 <i>ком</i>	10	400	17	18
------	-----	-----------------------------	----	-----	----	----

* Резистор группы В. ** Номинальные сопротивления согласно ряду: 5,1; 5,6; 6,8; 10 *ком*.

§ 7. Малогабаритные переключатели

Промышленные типы малогабаритных переключателей показаны на рис. II.16. Ниже приведены их основные характеристики.

Переключатель типа МПН-1 (малогабаритный переключатель низкочастотный) на одно направление и 10 положений рассчитан на напряжения до 30 в при токах до 0,5 а. Сопротивление изоляции между контактами — не менее 100 Мом. Габариты (без выводов): диаметр 13,5 мм, высота 30 мм. Вес — не более 8 г.

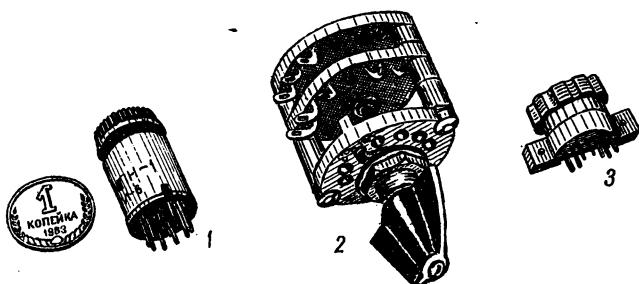


Рис. II.16. Малогабаритные переключатели:

1 — МПН-1; 2 — ПМ; 3 — МПВ-1.

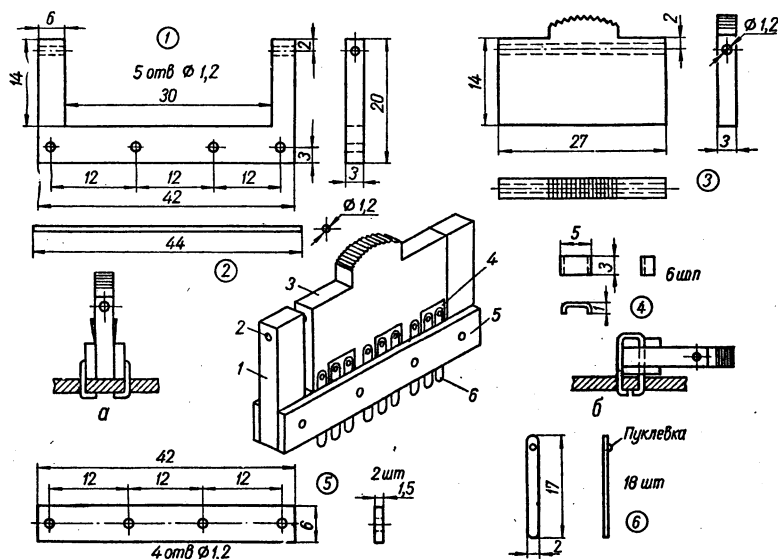


Рис. II.17. Переключатель диапазонов для карманного радиоприемника (одна из конструкций):

а, б — различные способы крепления.

Переключатель типа МПВ-1 (малогабаритный переключатель высокочастотный) рассчитан на переключение цепей с напряжением до 100 в при постоянном токе до 0,2 а или переменном токе до 0,25 а на частотах до 15 Мгц. Емкость между контактами, а также между любым контактом и корпусом не превышает 1 пф, тангенс угла диэлектрических потерь — не более 0,01, сопротивление изоляции — не менее 100 Мом.

Переключатели типа МПВ-1 выпускаются двух видов: с одним замыкателем на восемь положений (одно направление) и двумя замыкателями на четыре положения (два направления). Габариты 22 × 13 × 12 мм. Вес — не более 4 г.

Переключатель типа ПМ (переключатель малогабаритный) предназначен для переключений в цепях с напряжением до 300 в при мощности до 25 ватт. Ток переключаемой цепи не должен превышать 0,2 а. Сопротивление изоляции между контактами и на корпус — не менее 1000 Мом.

Переключатели типа ПМ могут содержать 1—5 галет следующих типов: 2П4Н, 3ПЗН, 5П2Н, 10П1Н, 11П1Н. Цифры и буквы обозначают: первая цифра и буква — число положений, вторая — число направлений (переключаемых цепей). Максимальный диаметр переключателя не превышает 32 мм, длина (в зависимости от числа галет) — не более 19; 28; 37; 47 или 55 мм. Вес (в зависимости от числа галет) — около 29; 34; 39; 44 или 49 г.

Радиолобительские конструкции.

На рис. 11.17 приведена одна из конструкций переключателя диапазонов для карманного радиоприемника. Детали 1, 3 и 5 могут быть выполнены из органического стекла. В этом случае подвижные контакты 4 изготавливаются по чертежу и крепятся на движке 3 вдавливанием горячим паяльником. Детали 1, 3 и 5 можно сделать также из гетинакса или текстолита, а подвижные контакты приклеить клеем БФ-2. В последнем случае контакты 4 изготавливаются плоскими. Материал контактов — жель, латунь толщиной 0,15—0,3 мм. Пружинящие неподвижные контакты 6 выполняются из нагартованной латуни или бронзы толщиной 0,15—0,3 мм. Можно использовать контактные пружины от электромагнитных реле. Направляющая ось 2 может быть изготовлена из проволоки.

При сборке переключателя вначале с помощью планок 5 укрепляют неподвижные контакты, распределяя их равномерно. Затем вставляют движок 3 и делают разметку для крепления подвижных контактов. Закрепив подвижные контакты на движке, производят окончательную

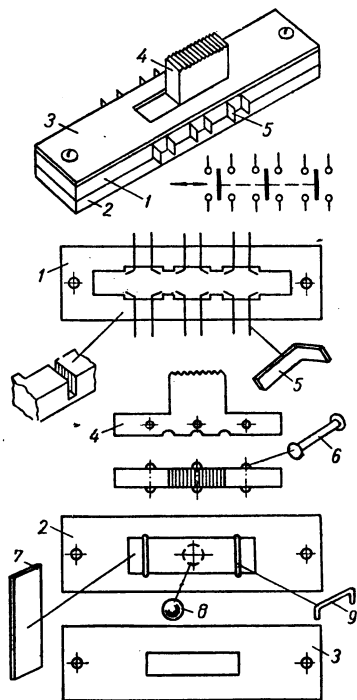


Рис. 11.18. Переключатель диапазонов для карманного радиоприемника (одна из конструкций).

сборку переключателя. Для того чтобы прочно прикрепить неподвижные контакты к основанию 1 и планкам 5, щель между ними нужно залить клеем БФ-2 или каким-либо лаком.

Два варианта крепления переключателя на плате показаны на рис. II.17 (а и б).

Другая конструкция переключателя для карманного приемника представлена на рис. II.18. Основание 1 изготовляется из гетинакса толщиной 3 мм, планки 2 и 3 — из гетинакса толщиной 2,0—2,5 мм и 1 мм — соответственно. В пропилы основания вставляют на клею пружинящие контакты 5 из фосфористой или бериллиевой бронзы толщиной 0,15—0,2 мм. В движке 4, выполненном из гетинакса подходящей толщины, делают отверстия для перемычек 6, изготовленных из латунной или медной проволоки, и пропилы под шарик 8 фиксатора положения. Шарик 8 помещают в отверстие планки 2 и прижимают плоской пружиной 7. Последняя крепится к планке 2 двумя скобами 9, изготовленными из проволоки и вставленными в отверстия планки на клею.

Пропилы в планке 1 рекомендуется делать после склеивания ее с планкой 2.

§ 8. Малогабаритные электромагнитные реле постоянного тока

Электромагнитные реле предназначены для коммутации электрических цепей в устройствах автоматики, сигнализации и связи. Реле состоит из следующих основных частей: корпуса, который обычно является

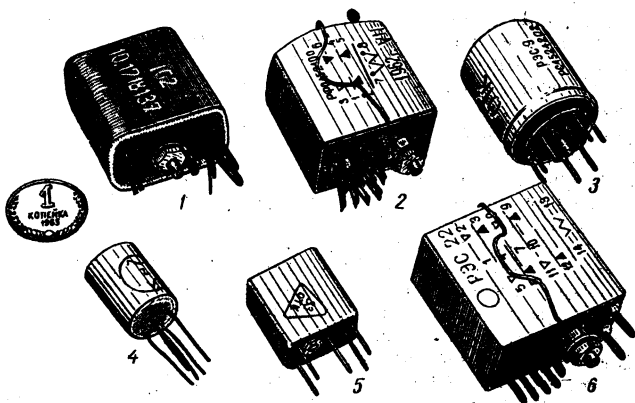


Рис. II.19. Малогабаритные электромагнитные реле постоянного тока:

1 — РСМ; 2 — РЭС-6; 3 — РЭС-9; 4 — РЭС-15; 5 — РЭС-10; 6 — РЭС-22.

и частью магнитопровода; сердечника; катушки; якоря; контактной системы, состоящей из одной или нескольких групп; основания и чехла. Реле открытого типа чехла не имеет.

Малогабаритные реле некоторых типов показаны на рис. II.19. Ниже приведены их характеристики.

Реле типа РСМ разделяются по данным обмоток, числу контактов и выполняемой функции. Мощность в обмотке, при которой реле срабатывает, составляет около 150 *вт*; максимальная мощность в обмотке не должна превышать 800 *вт*. Напряжение коммутируемого тока — 28 *в*, сила тока через контакты — 1 *а* (при активной нагрузке). Электрическая прочность изоляции между контактными пружинами, обмоткой и корпусом — 400 *в* переменного тока частотой 50 *гц*. Срок службы реле — 10⁵ срабатываний. Время срабатывания 2—16 *мсек*; время отпущения — 1,5—3,5 *мсек*. Размеры корпуса: длина 26, ширина 17,5, высота 28 *мм*. Вес — 25 *г*. Основные данные реле приведены в табл. П.24.

Т а б л и ц а П.24

Основные данные реле типа РСМ

Тип	Номер паспорта	Обмоточные данные			Ток срабатывания, <i>ма</i>	Ток отпущения, <i>ма</i>
		Сопротивление, <i>ом</i>	Число витков	Диаметр провода, <i>мм</i>		
РСМ-1	Ю.171.81.01	525	4500	0,07	26	—
	Ю.171.81.20	750	5000	0,06	25	5
	Ю.171.81.37				24	—
	Ю.171.81.43	200	2800	0,09	45	8
	Ю.171.81.50	60	1400	0,12	68	—
	Ю.171.81.53	250	3000	0,08	40	—
РСМ-2	Ю.171.81.02	525	4500	0,07	26	4,5
	Ю.171.81.21	750	5000	0,06	24	—
	Ю.171.81.30				25	5
	Ю.171.81.31	120	2100	0,10	70	—
	Ю.171.81.51	60	1400	0,12	68	—
	Ю.171.81.52	16	275	0,31	390	—
	Ю.171.81.54	750	5000	0,06	24	—
	Ю.171.81.56	525	4500			—
	Ю.171.81.58	30	1100	0,14	100	—
РСМ-3	Ю.171.81.22	750	5000	0,06	24	—
	Ю.171.81.32	120	2100	0,10	65	—
	Ю.171.81.55	525	4500	0,07	—	—
	Ю.171.81.57	60	1400	0,12	70	—

Примечания: 1. Реле типа РСМ-1 содержит две группы замыкающих контактов; реле типа РСМ-2 — одну группу замыкающих и одну размыкающих; реле РСМ-3 — две группы размыкающих. 2. Напряжение срабатывания реле Ю.171.81.55—18 *в*.

Реле типа РС-6 разделяются по обмоточным данным, числу контактов и выполняемой функции. Контакты реле рассчитаны на коммути-

рование постоянного тока до 6 а при напряжении 30 в и активной нагрузке. При этом срок службы реле составляет не менее 5000 срабатываний. Если коммутируются токи меньшей величины, срок службы реле увеличивается, и при токе 0,3 а достигает 1 млн. срабатываний. При индуктивной нагрузке срок службы реле сокращается. Если коммутируется напряжение 300 в, ток через контакты не должен превышать 0,1 а.

Размеры: длина 26,5, ширина 19,5, высота 31 мм. Вес не более 34 г. Основные данные реле приведены в табл. II.25.

Реле типа РЭС-9 содержат две группы переключающих контактов из серебра или платиноиридиевого сплава. Реле с серебряными кон-

Т а б л и ц а II.25

Основные данные реле типа РЭС-6

Номер паспорта	Группы контактов	Обмоточные данные		Ток срабатывания, ма	Ток отпущения, ма
		Сопротивление, ом	Число витков		
РФ0.452.110	2з	2500	12000	15	2
РФ0.452.111		1250	8500	21	4
РФ0.452.112		850	6600	25	5
РФ0.452.113 25v		550	6200	30	6
РФ0.452.114 14v		300	4300	42	8
РФ0.452.115		200	3600	55	9
РФ0.452.116		125	2900	62	10
РФ0.452.120	2р	2500	12000	15	2
РФ0.452.121		1250	8500	21	4
РФ0.452.122		850	6600	25	5
РФ0.452.123		550	6200	30	6
РФ0.452.124		300	4300	42	8
РФ0.452.125		200	3600	55	9
РФ0.452.126		125	2900	62	10
РФ0.452.140	1п	2500	12000	15	3
РФ0.452.141		1250	8500	20	4
РФ0.452.142		850	6600	25	5
РФ0.452.143		550	6200	28	6
РФ0.452.144		300	4300	35	8
РФ0.452.145		200	3600	50	12
РФ0.452.146		125	2900	60	15
РФ0.452.100	2п	2500	12000	20	3
РФ0.452.101		1250	8500	26	5
РФ0.452.102		850	6600	32	6
РФ0.452.103		550	6200	35	8
РФ0.452.104		300	4300	60	10
РФ0.452.105		200	3600	65	15
РФ0.452.106		125	2900	70	18
РФ0.452.107		60	1950	100	—
РФ0.452.109		30	1500	130	—
РФ0.452.130		1з1р	2500	12000	15
РФ0.452.131	1250		8500	21	3
РФ0.452.132	850		6600	25	4
РФ0.452.133	550		6200	30	5
РФ0.452.134	300		4300	42	6
РФ0.452.135	200		3600	55	8
РФ0.452.136	125		2900	62	9

Примечание: Во второй колонке цифры обозначают число групп контактов, а буквы: з — замыкание; р — размыкание; п — переключение.

тактами могут коммутировать постоянный ток до 2 а при напряжении 30 в или до 0,3 а при напряжении 250 в, а также переменный ток до 0,2 а при напряжении 115 в и частоте 50 гц и до 0,5 а при напряжении 115 в и частотах 50—1100 гц. При коммутировании постоянного тока срок службы реле составляет не менее 300 тыс. срабатываний; при коммутировании переменного тока — не менее 100 тыс. срабатываний. Реле с контактами из платиноиридиевого сплава допускают коммутирование постоянного тока до 0,8 а при напряжении 30 в (срок службы 1 млн. срабатываний) или переменного тока до 0,2 а при напряжении 115 в и частоте 50 гц (100 тыс. срабатываний).

Таблица 11. 26
Основные данные реле типа РЭС-9

Номер паспорта	Обмоточные данные		Ток срабатывания, ма	Ток отпущения, ма
	Сопротивление, ом	Число витков		
РС4. 524. 200*	500 1,5 в	4600	3	5
РС4. 524. 201				
РС4. 524. 202	72	1800	80	13
РС4. 524. 203*	3,5 в 30	1400	108	18
РС4. 524. 204*	9600	21000	7	1
РС4. 524. 205*	3400	13000	11	1,7
РС4. 524. 208	9600	21000	7	1

* Контакты реле изготавливаются из серебра; контакты остальных типов реле — из платиноиридиевого сплава.

Максимальные размеры (без выводов): длина 28, диаметр 21 мм. Вес — не более 20 г. Основные данные реле приведены в табл. 11.26. Время срабатывания первых двух реле при напряжении 23 в составляет не более 11 мсек.

Реле типа РЭС-10 содержат одну группу замыкающих или переключающих контактов и различаются по обмоточным данным. При коммутации постоянного напряжения до 30 в и токе через контакты до 2 а реле выдерживают не менее 100 тыс. срабатываний; при напряжении до 250 в и токе до 0,3 а, а также при коммутации переменного напряжения 115 в с частотой 50 гц при токе до 0,2 а и на частотах 50—1100 гц при токе до 0,5 а реле выдерживают не менее 100 тыс. срабатываний.

Размеры: длина 17, ширина 11, высота 20 мм. Вес не более 7,5 г. Основные данные реле приведены в табл. 11.27.

Реле типа РЭС-15 содержат одну группу переключающих контактов и различаются по обмоточным данным. Время срабатывания — не более 8 мсек. Реле выдерживают 100 тыс. срабатываний при постоянном напряжении 30 в и токе через контакты до 0,2 а, при напряжении 150 в и токе 15 ма, а также при коммутации переменного напряжения 127 в с частотой 50 гц и токе через контакты до 0,13 а (при активной нагрузке).

Таблица II. 27

Основные данные реле типа РЭС-10

Номер паспорта	Число групп контактов	Обмоточные данные		Ток срабатывания, ма	Максимальное напряжение на обмотке при температуре 20° С, в
		Сопротивление, ом	Число витков		
РС4. 524. 300	Із	4500	11000	6	68
РС4. 524. 301	Іп			8	
РС4. 524. 302 13v		630	4000	22	40
РС4. 524. 303		120	1800	50	18
РС4. 524. 304		45	1100	80	11
РС4. 524. 305	Із	1600	6500	10	35
РС4. 524. 308		120	1800	35	18

Таблица II. 28

Основные данные реле типа РЭС-15

Номер паспорта	Обмоточные данные		Ток срабатывания, ма	Ток отпущения, ма	Максимальный ток обмотки при температуре 20° С, ма
	Сопротивление, ом	Число витков			
РС4. 591. 001	2200	6000	8,5	2	16
РС4. 591. 002	160	1700	30	7	58
РС4. 591. 003	330	2400	21	5	43
РС4. 591. 004	720	3900	14,5	3,5	28

Таблица II. 29

Основные данные реле типа РЭС-22

Номер паспорта	Обмоточные данные		Ток срабатывания, ма	Ток отпущения, ма	Максимальное напряжение на обмотке при температуре 20° С, в
	Сопротивление, ом	Число витков			
РФ4. 500. 125	2800	11500	11	2	66
РФ4. 500. 129	175	3400	36	8	13
РФ4. 500. 130	2500	11500	10,5	2,5	53
РФ4. 500. 131	650	6200	20	4	26
РФ4. 500. 163	700		21	3	33

Максимальный диаметр реле — 11 мм, длина корпуса — 17 мм. Вес — не более 3,2 г. Основные данные реле приведены в табл. П.28.

Реле типа РЭС-22 содержат четыре группы переключающих контактов и различаются по обмоточным данным. Время срабатывания реле — не более 15 мсек, время отпускания — не более 6 мсек. При коммутации постоянного напряжения 60 в реле выдерживает 10 млн. срабатываний, если коммутируемый ток не превышает 50 ма, и 1 млн. срабатываний, если ток не превышает 0,3 а. При коммутировании постоянного напряжения 30 в реле выдерживает 10 тыс. срабатываний, если ток не превышает 3 а, 100 тыс. срабатываний, если ток не превышает 2 а, и 200 тыс. срабатываний, если ток не превышает 1 а. Мощность в обмотке реле не должна превышать 1,5 вт.

Размеры корпуса — не более 30 × 20 × 22 мм. Вес — не более 36 г. Основные данные реле приведены в табл. П.29.

МАЛОГАБАРИТНЫЕ НАМОТОЧНЫЕ УЗЛЫ РАДИОАППАРАТУРЫ

§ 1. Катушки для колебательных контуров

Основные параметры катушек индуктивности. *Индуктивность* характеризует величину энергии, запасаемой катушкой, при протекании по ней электрического тока. Чем больше индуктивность катушки, тем больше энергия магнитного поля при заданной величине тока. Индуктивность зависит от размеров, формы, числа витков катушки, а также от формы и материала ее сердечника.

Добротность — отношение реактивного сопротивления катушки к ее активному сопротивлению потерь. Добротность катушки в большинстве случаев определяет резонансные свойства и к. п. д. контура.

Собственная емкость является паразитным параметром. Наличие собственной емкости приводит к увеличению потерь энергии и уменьшению стабильности настройки контуров. В диапазонных контурах собственная емкость уменьшает коэффициент перекрытия диапазона.

Стабильность параметров при изменении температуры и влажности, а также во времени имеет особое значение для катушек контуров гетеродинов, узкополосных фильтров и др. Стабильность индуктивности характеризуется температурным коэффициентом индуктивности ТКИ, равным относительноному изменению индуктивности при изменении температуры на 1° С.

Однослойные цилиндрические катушки применяются на частотах выше 1—2 Мгц. Намотка может быть сплошной и с принудительным шагом. Однослойные катушки с принудительным шагом намотки характеризуются высокой добротностью (150—400) и стабильностью. Высокостабильные катушки для контуров КВ и УКВ гетеродинов наматываются при незначительном натяжении на каркасы, изготовленные из материалов с малым температурным коэффициентом расширения, проводом, нагретым до температуры 80—120° С. Катушки со сплошной намоткой также могут иметь высокую добротность, однако их собственная емкость больше, что обуславливает меньшую стабильность параметров. При диаметре каркаса 6—8 мм сплошную намотку целесообразно применять для катушек с индуктивностью более 2—3 мкгн.

Индуктивность однослойной катушки со сплошной намоткой определяется по формуле

$$L = \frac{0,01 D w^2}{\frac{l}{D} + 0,44},$$

где L — индуктивность, мкгн; D — диаметр катушки, см; l — длина намотки, см; w — число витков.

При намотке с принудительным шагом индуктивность катушки определяется по формуле

$$L' = L - kD\omega \cdot 10^{-3} \text{ мкГн},$$

где L — индуктивность, вычисленная по формуле для катушки со сплошной намоткой; k — поправочный коэффициент, найденный по графику рис. III.1; D — диаметр, см; ω — число витков катушки.

Точная подгонка индуктивности однослойных катушек со сплошной намоткой производится перемещением крайних витков или перемещением короткозамкнутого витка. В катушках с принудительным шагом намотки индуктивность можно изменять также перемещением отвода.

Симметричная намотка катушек индуктивности приведена на рис. III.2. Бифилярная намотка (а) выполняется проводом, сложенным

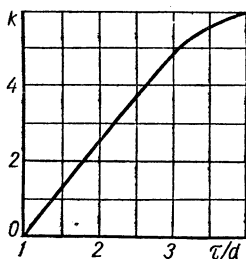


Рис. III.1. Зависимость поправочного коэффициента k от величины τ/d (τ — шаг намотки, d — диаметр провода).

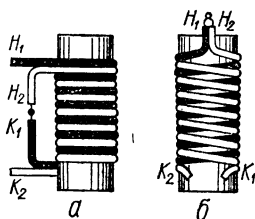


Рис. III.2. Симметричные намотки катушек индуктивности:

а — бифилярная; б — перекрестная.

вдвое. Начало одного провода H_2 соединяется с концом другого K_1 . Место соединения является средним отводом. При такой намотке допускается подстройка магнитным сердечником при несущественном нарушении симметрии. Перекрестная намотка (б) обеспечивает более точную симметрию. При подстройке магнитным или немагнитным сердечником симметрия не нарушается.

Многослойные цилиндрические катушки применяются в тех случаях, когда требуется индуктивность более 30—50 мкГн. Несекционированные многослойные катушки с простой намоткой характеризуются пониженными добротностью и стабильностью, большой собственной емкостью; для их изготовления необходимы каркасы со щечками.

Индуктивность многослойной катушки без ферромагнитного сердечника определяется по формуле

$$L = \frac{0,08D_k^2\omega^2}{3D_k + 9l + 10t},$$

где L — индуктивность, мкГн; D_k — средний диаметр намотки, см; l — длина намотки, см; t — толщина намотки, см; ω — число витков.

Если задана индуктивность и нужно рассчитать число витков, следует задаться величинами D_K , l , t и произвести расчет. После этого необходимо проверить толщину катушки по формуле

$$t = \frac{1,3d_0^2\omega}{l} \text{ мм,}$$

где d_0 — диаметр провода с изоляцией, мм; l , мм.

Если фактическая толщина катушки отличается от принятой в начале более чем на 10%, следует задаться другими размерами и повторить расчет.

Секционированные катушки индуктивности (рис. III.3) характеризуются сравнительно высокой добротностью, пониженной собствен-

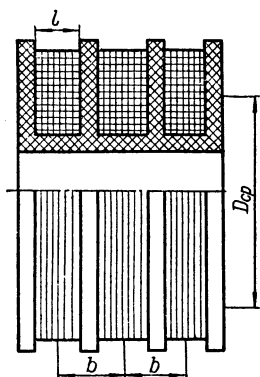


Рис. III.3. Секционированная катушка индуктивности.

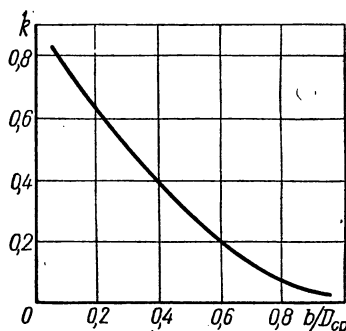


Рис. III.4. Зависимости коэффициента связи между смежными секциями от размеров секций и расстояния между ними.

ной емкостью и меньшим наружным диаметром. Каждая секция представляет собой обычную многослойную катушку с небольшим числом витков. Число секций n выбирается от двух до шести.

Расчет индуктивности секционированной катушки сводится к расчету одной секции. Индуктивность секционированной катушки, состоящей из n секций,

$$L = L_c [n + 2k(n - 1)].$$

Здесь L_c — индуктивность секции; k — коэффициент связи между смежными секциями, зависящий от размеров секций и расстояния между ними. Эта зависимость изображена графически на рис. III.4. Отношение $b : D_{ср}$ выбирается так, чтобы величина коэффициента связи находилась в пределах 0,25—0,4. Это достигается при $b = 2l$.

Каждая секция рассчитывается как обычная катушка (см. выше).

Экранированные катушки. Для устранения паразитных связей, обусловленных внешним электромагнитным полем катушки, и влияния на катушку окружающего пространства ее экранируют, т. е. помещают в замкнутом металлическом экране.

Под влиянием экрана изменяются параметры катушки: уменьшаются индуктивность и добротность, увеличивается собственная емкость. Изменение параметров катушки тем больше, чем ближе к ее виткам расположен экран. Индуктивность экранированной катушки (однослойной или тонкой многослойной) можно определить по графику рис. III.5. Здесь по горизонтальной оси отложено отношение длины намотки к ее

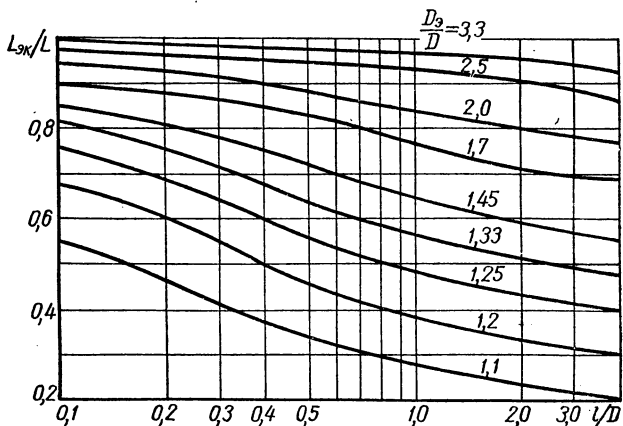


Рис. III.5. Определение индуктивности экранированных катушек.

диаметру, по вертикальной — отношение индуктивности экранированной катушки к индуктивности той же катушки без экрана. На графике приведены кривые для различных соотношений между диаметром экрана $D_{\text{эк}}$ и диаметром катушки D . Если экран прямоугольной формы, при расчете пользуются эквивалентным диаметром, равным полусумме диаметров вписанной и описанной окружностей.

Экраны для высокочастотных катушек индуктивности изготавливают из меди или алюминия толщиной не менее 0,4—0,5 мм.

Часто экраны высокочастотных катушек индуктивности снабжены отверстиями для вращения сердечников или изменения положения одной из индуктивно связанных катушек. В этих случаях отверстия должны быть минимальными по размеру. Прорези следует располагать перпендикулярно образующей цилиндрического экрана. Правильное и неправильное расположение отверстий при соосном расположении экрана и катушки показано на рис. III.6.

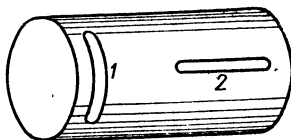


Рис. III.6. Расположение прорезей в экране:
1 — правильное; 2 — неправильное.

Катушки с сердечниками из немагнитных металлов, характеризующиеся высокой стабильностью, применяются в контурах гетеродинов, широкополосных УПЧ в диапазонах коротких и ультракоротких волн. Материал сердечников — медь, латунь, алюминий.

При введении сердечника из немагнитного металла индуктивность и добротность катушки уменьшаются. Причем уменьшение добротности

пропорционально уменьшению индуктивности. Минимальные потери вносятся в катушку сердечником, изготовленным из чистой меди. При использовании других металлов увеличение потерь практически пропорционально уменьшению их проводимости по сравнению с чистой медью. Уменьшение индуктивности катушки при введении в нее немагнитного сердечника необходимо учитывать при расчете. Для получения заданной индуктивности L_c , допускающей подстройку в пределах $\pm \Delta L$, следует увеличить расчетную индуктивность катушки без сердечника в $1 \pm \Delta L/L$ раз (отношение $\Delta L/L$ определяется графически (рис. III.7)).

Катушки с сердечниками из ферромагнитных материалов содержат меньшее число витков при заданной индуктивности и отличаются более высокой добротностью и меньшими размерами. При использовании

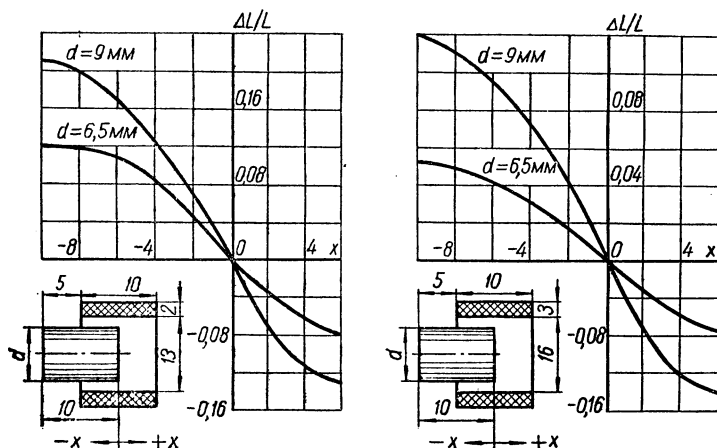


Рис. III.7. Зависимость относительного изменения индуктивности от размеров катушки и положения сердечника.

ферромагнитных сердечников можно уменьшить размеры экранов, упрощается подгонка индуктивности. Указанные преимущества могут быть полностью реализованы только в ДВ, СВ и частично в КВ диапазонах, при малых напряжениях, например в радиоприемных устройствах.

При использовании ферромагнитных сердечников снижается стабильность параметров катушек, а также появляется зависимость индуктивности и добротности катушек от амплитуды переменного напряжения и величины постоянного тока, протекающего через обмотку.

Ферромагнитные сердечники для катушек изготавливаются из магнитодиэлектриков и ферритов (см. гл. I, § 7). При заданных габаритах катушки следует применять материал сердечника, обладающий наименьшим отношением тангенса угла потерь $\text{tg} \delta$ к начальной магнитной проницаемости μ_n в рабочем диапазоне частот. Сердечники из ферритов обеспечивают большую добротность, чем сердечники из магнитодиэлектриков. Для стабильных высокочастотных катушек индуктивности рекомендуется применять сердечники из карбонильного железа.

Основные качественные показатели ферромагнитных сердечников. Эффективная магнитная проницаемость μ_e — отношение индуктивности катушки с сердечником к индуктивности той же катушки без сердечника. Чем больше магнитная проницаемость материала сердечника, ниже частота и меньше расстояние между сердечником и обмоткой, тем выше эффективная магнитная проницаемость.

Степень увеличения добротности катушки при наличии сердечника зависит от эффективной магнитной проницаемости и потерь в сердечнике. Приблизительно можно считать, что добротность катушки с сердечником в $\sqrt{\mu_e}$ раз больше добротности катушки с такой же индуктивностью, но без сердечника. Отношение добротности катушки с сердечником к добротности этой же катушки, но без сердечника характеризует потери, вносимые сердечником в катушку, и может служить мерой для определения диапазона рабочих частот. Верхней границей диапазона рабочих частот является частота, при которой это отношение уменьшается до единицы. За пределами диапазона рабочих частот применение сердечника целесообразно только с целью регулировки индуктивности.

Добротность сердечника характеризует потери, вносимые им в катушку, и равна отношению реактивного сопротивления катушки к вносимому сопротивлению потерь. Измеряется на стандартной катушке.

Стабильность параметров характеризуется изменением эффективной магнитной проницаемости и потерь под влиянием температуры, влажности, а также с течением времени. При изменении температуры изменяется главным образом магнитная проницаемость. Это изменение характеризуется температурным коэффициентом магнитной проницаемости $T\mu_e$, равным отношению эффективной магнитной проницаемости сердечника при изменении температуры на 1°C . Изменение эффективной магнитной проницаемости сердечника с течением времени вызывается старением материала и проявляется особенно резко в начальный период после изготовления сердечника.

Катушки с цилиндрическими сердечниками. Промышленно выпускаются цилиндрические сердечники из карбонильного железа и из ферритов (гл. 1, § 7). Сердечники из карбонильного железа представлены на рис. III.8, а их основные данные приведены в табл. III.1. Сердечники типа СЦР (с резьбой) применяются в катушках колебательных контуров в основном для подстройки, СЦГ (гладкие) — для дросселей высокой частоты, СЦТ (трубчатые) — для ферровариметров.

Из ферритов изготавливаются цилиндрические гладкие сердечники, предназначенные для дросселей высокой частоты. В табл. III.2 приведены размеры этих сердечников и марки ферритов, из которых они изготавливаются. Цилиндрические сердечники из ферритов с напрессованной резьбовой втулкой (рис. III.8, в) служат для подстройки цилиндрических катушек.

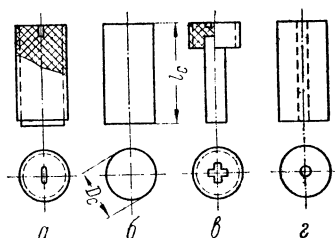


Рис. III.8. Цилиндрические ферромагнитные сердечники:
а — СЦР; б — СЦГ; в — с резьбовой втулкой; г — СЦТ.

Таблица III. 1

Основные данные цилиндрических сердечников из карбонильного железа

Тип	Размеры, мм		Средняя эффективная магнитная проницаемость μ_c		Средняя добротность		Температурный коэффициент магнитной проницаемости ТК μ_c , %/град	
	D_c	l_c	Класс А*	Класс В**	Класс А*	Класс В**	Класс А*	Класс В**
СЦР-1	M6 × 0,75	10	1,50***	1,70***	130	90	0,0014	0,0015
СЦР-2		19	1,65***	1,95***	135			0,0017
СЦР-3	M6 × 0,75	10	1,6***	1,7***	130	100	0,0015	0,0017
СЦР-4		19	1,75****	1,95****	140	95		0,0017
СЦР-5	M8 × 1	10	1,6****	1,7****	130	105	0,0014	0,0015
СЦР-6		19	1,8****	1,9****	145	100	0,0016	0,0017
СЦР-7	M9 × 1	10	1,5****	1,65****			110	0,0014
СЦР-8		19	1,75****	1,85****	0,0017			
СЦГ-1	9,3	10	2,1****	2,1****	160	130	0,0019	0,0019
СЦГ-2		19	2,45****	2,35****	185	135	0,0022	0,0021
СЦТ-1		10	2,0****	2,0***	160	130	0,0018	0,0017
СЦТ-2		19	2,35****	2,2****	180	135	0,0021	0,002

* На частотах 0,15 — 2 Мгц. ** На частотах 5 — 15 Мгц. *** При отношении среднего диаметра катушки к диаметру сердечника $D_K: D_C = 1,2 - 1,3$. **** При отношении $D_K: D_C = 1,1 - 1,2$.

Индуктивность катушки с ферромагнитным сердечником определяется по формуле

$$L_c = \mu_c L,$$

где μ_c — эффективная магнитная проницаемость сердечника; L — индуктивность катушки без сердечника.

Для случая тонких катушек, намотанных непосредственно на сердечник, длина которого превышает длину катушки, эффективную магнит-

Размеры цилиндрических сердечников из ферритов, мм

Диаметр	Длина	Марка феррита	Диаметр	Длина	Марка феррита
1,8	12	600 НН	3,5	20	600 НН
2,74	12	100 НН	3,5	30	600 НН
2,74	12	600 НН	7,0	»	600 НН
2,74	14	100 НН	8,0	140	600 НН
2,74	14	600 НН	8,4	»	600 НН
2,86	12	100 НН	7,6	»	600 НН
2,86	12	600 НН	8,0	160	600 НН
2,86	14	100 НН	3,4	»	600 НН
2,86	14	600 НН	8,4	»	600 НН
2,86	8	20 ВЧ	9,8	40,5	400 НН
2,86	18	600 НН	17	14,5	600 НН
3,5	13	600 НН			

ную проницаемость сердечника можно определить по приближенной эмпирической формуле

$$\mu_c = \frac{\mu_n}{1 + 0,84 \left(\frac{D_c}{l_c} \right)^{1,7} (\mu_n - 1)},$$

где μ_n — начальная магнитная проницаемость материала сердечника (см. гл. 1, § 7); D_c — диаметр цилиндрического сердечника; l_c — длина сердечника.

Если катушка намотана на каркас, эффективная магнитная проницаемость сердечника снижается. Ее можно определить по формуле

$$\mu'_c = \frac{D_c^2}{D_k^2} (\mu_c - 1) + 1,$$

где D_c — диаметр сердечника; D_k — средний диаметр катушки; μ_c — эффективная магнитная проницаемость сердечника (при намотке непосредственно на сердечник).

Ориентировочные значения эффективной магнитной проницаемости цилиндрических сердечников из карбонильного железа приведены в табл. III.1.

Катушки с броневыми сердечниками характеризуются малыми размерами, высокой добротностью и малой собственной емкостью. Температурный коэффициент индуктивности (ТКИ) катушек с броневыми сердечниками из карбонильного железа составляет 0,006—0,009%/град, из феррита — 0,025—0,03%/град. Ценным свойством катушек с броне-

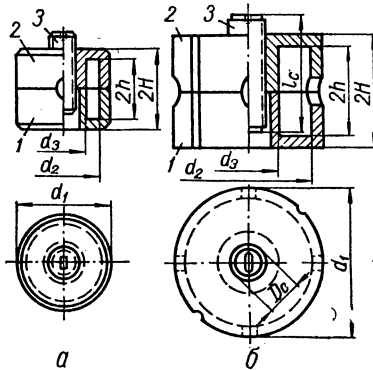


Рис. III.9. Броневые сердечники из карбонильного железа:

а — СБ-6, СБ-9, СБ-12, СБ-18; б — СБ-23, СБ-28, СБ-34; 1 — чашка без резьбы; 2 — с резьбой; 3 — подстроечник.

выми сердечниками является слабое внешнее магнитное поле, что позволяет приближать экраны к самому сердечнику.

Собственная емкость катушек с броневыми сердечниками при плотности, заполненной обмоткой, составляет для несекционированной намотки 50—100 *нф*, для секционированной — 10—20 *нф*, а при малом числе витков — 2—3 *нф*.

Для намотки катушек с броневыми сердечниками чаще всего применяется одножильный провод марок ПЭЛ и ПЭВ диаметром 0,1—0 15 мм. При намотке литцендратом марок ЛЭ и ЛЭШО добротность катушек повышается на 30—50%.

Броневые сердечники выпускаются с замкнутой и разомкнутой магнитной цепью. Сердечники с замкнутой магнитной цепью позволяют уменьшить размеры катушек. Сердечники с разомкнутой магнитной цепью обеспечивают большую добротность и меньшую зависимость параметров катушек от частоты и напряженности магнитного поля.

Броневые сердечники из карбонильного железа представлены на рис. III.9, а их размеры и основные данные приведены в табл. III.3 и III.4. На рис. III.10 показаны броневые сердечники из ферритов. Зазор δ образуется при уменьшении высоты керна одной или двух чашек.

Таблица III. 3

Размеры броневых сердечников из карбонильного железа

Обозначение типа сердечника		Размеры чашек, мм					Размеры подстроечника, мм	
новое	старое	d_1	d_2	d_3	h	H	l_c	D_c
СБ-6а	—	6,5	4,9	3,0	2,0	3,2	7,0	M2
СБ-9а	СБ-0а	9,6	7,5	4,6	2,1	3,8	8,0	M3
СБ-9б	СБ-0б							
СБ-12а	СБ-1а	12,3	10,0	6,0	4,1	5,5	11,5	M4
СБ-12б	СБ-1б							
СБ-18а	—	18,0	14,0	9,0	5,2	7,4	13,5	M5
СБ-23-11а	СБ-2а							
СБ-23б	СБ-2б	23,0	18,0	11,0	6,0	8,7	19,0	M7 × 0,75
СБ-23-17а	СБ-3а							
СБ-28а	СБ-4а	28	22	13	8,5	11,7	25	M8 × 1
СБ-34а	СБ-5а							

Примечание. Последняя буква в первых двух колонках означает: а — сердечник с замкнутой магнитной цепью; б — с разомкнутой магнитной цепью.

Таблица III. 4

Основные данные броневых сердечников из карбонильного железа

Тип	Средняя эффективная магнитная проницаемость μ_c		Средняя добротность***		Температурный коэффициент магнитной проницаемости ТК μ_c , %/град		Относительное увеличение индуктивности при введении сердечника, %
	Класс А*	Класс В**	Класс А*	Класс В**	Класс А*	Класс В**	
СБ-9а	2,9	—	—	—	0,0026	—	28
СБ-12а	4,5	—	135	—	0,0041	—	22
СБ-12б	3,0	—	95	—	0,0027	—	35
СБ-23-11а	3,7	—	225	—	0,0034	—	20
СБ-23б	2,7	—	190	—	0,0025	—	30
СБ-23-17а	4,6	6,5	240	135	0,0042	0,0059	20
СБ-28а	4,7	5,0	210	185	0,0043	0,0045	
СБ-34а	4,5		235	180	0,0041		

* На частотах 200—2000 кГц. ** На частотах 50—200 кГц. *** При намотке на трехсекционные каркасы проводом ЛЭШО 7×0,07 для длинных и средних волн и проводом ПЭЛ для КВ.

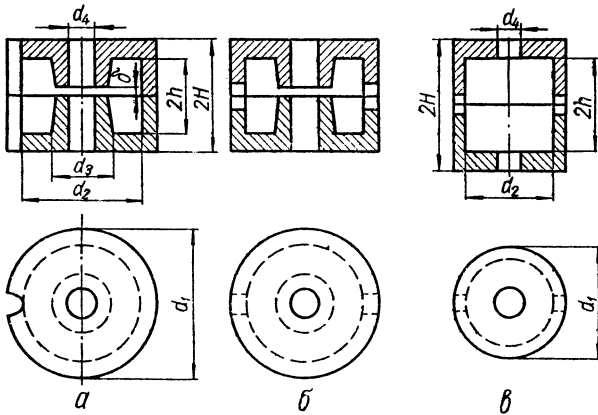


Рис. III.10. Броневые сердечники из ферритов:
а — тип Б; б — тип ОБ; в — тип Ч.

Основные размеры броневых сердечников из ферритов

Т а б л и ц а III.5

Типоразмер	Размеры чашек, мм							Размеры подстроенника*, мм				Марка материала
	d_1	d_2	d_3	d_4	d_5	d_6	d_7	H	h	t_c	D_c	
B6	6,5±0,2	5,1±0,2	2,7±0,1	1,1±0,1				2,8±0,2	2±0,1	6±0,2	0,9—0,1	—
B9	9±0,2	7,6±0,2	3,5±0,1	1,9±0,1						9±0,2		—
B11	11±0,3	9,4±0,2	3,7±0,1					3,2±0,2	2,2±0,1	19±0,2	1,5—0,3	—
B14	14±0,3	11,8±0,3	6±0,2					4,2±0,2	2,9±0,1			
B18	18±0,3	14,0±0,3	7,4±0,2	3,1±0,1				5,3±0,2	3,7±0,1	12±0,3	2,5—0,3	1500НМ2, 1500НМ3, 2000НМ, 2000НМ1
B22	22±0,4	18,3±0,3	9,2±0,2	4,5±0,2				6,8±0,2	4,7±0,1	16±0,3	3,5—0,3	
B26	26±0,5	21,6±0,4	11,3±0,3					8,2±0,2	5,6±0,2	20±0,4		
B30	30±0,5	25,4±0,4	12,3±0,3	5,5±0,2				9,5±0,2	6,6±0,2		4,5—0,3	
B36	36±0,6	30,5±0,5	16,0±0,3					11±0,3	7,4±0,2	22±0,4		
B48	48±0,7	40,0±0,6	20,0±0,4	7,5±0,2				15,7±0,3	10,4±0,2	32±0,5	6,5—0,3	
OB12	13±0,3	10,4±0,3	6,3±0,2	3,15±0,15				6,4±0,4	4,4±0,1	12±0,5	3±0,2	
OB20	20,9±0,4	17,9±0,4	9,1±0,2	4,4±0,15				7,4±0,4	4,7±0,1	14±0,5	4,3±0,2	1500НМ1, 1500НМ2, 2000НМ, 2000НМ1
OB30	30±0,6	25±0,5	11,2±0,3	5,6±0,2				10,4±0,5	6,6±0,2	21±1,0	5,4±0,3	
OB36	36±0,7	30±0,6	15,8±0,3	7,9±0,2				14,2±0,7	9,5±0,2		7,5±0,4	
OB48	48±1	40±0,8	20±0,4	10±0,2				19±0,7	12,8±0,3	26±1,0	9,6±0,5	
Ч ₁									3,3			50ВЧ2, 1000НМ3
Ч ₂	6,1	5,1		2,9			4,4		2,6	9	Сп М2,3×0,5	
Ч ₃									2,8			
Ч ₄	6,8	5,6		3,0			3,6		2,2	7	Сп М2,85×0,5	50ВЧ2
Ч ₅												
Ч ₆	8,8	6,8		3,7			4,0		3,0	12,8		600НН
Ч ₇												
Ч ₈	6,8	5,4		3,1			3,8		2,0	7,9	Сп М2,8×0,5	1000НМ3
Ч ₉				3,6					2,8			

* Для сердечников типа В приведены размеры подстроенников из ферритов марок 1500НМ2, 2000НМ1; для сердечников типа ОБ — размеры нешлифованных сердечников, для сердечников типа Ч приведены данные резьбы; Сп — специальная; М — метрическая; цифры указывают диаметр в шаг.

составляющих сердечник. Величина δ может иметь любое значение от 0 до $2h$. В сердечниках типа Ч $\delta = 2h$. Размеры броневых сердечников из ферритов приведены в табл. III.5.

Эффективная магнитная проницаемость сердечников с немагнитным зазором меньше, чем сердечников без зазора, и равна

$$\mu_{c,з} = \frac{\mu_c}{1 + \mu_c \frac{\delta}{l_{cp}}}$$

где μ_c — эффективная магнитная проницаемость сердечника без зазора; δ — длина зазора; l_{cp} — средняя длина силовых линий сердечника

Температурный коэффициент индуктивности ТКИ катушки с замкнутым сердечником полностью определяется температурным коэффициентом магнитной проницаемости сердечника ТК μ_c . При разомкнутом сердечнике ТКИ меньше. При условии $\delta/l_{cp} < 0,01$

$$TKI_з = \frac{TK \mu_c}{1 + \mu_c \frac{\delta}{l_{cp}}}$$

Число витков катушки с броневым сердечником можно определить по формуле

$$w = m \sqrt{L},$$

где L — индуктивность катушки, мкГн; m — постоянная, определяемая размерами сердечника и свойствами магнитного материала.

Ниже приведены значения m для броневых сердечников из карбонильного железа:

Тип сердечника	СБ-9а	СБ-12а	СБ-23-11а	СБ-23-17а	СБ-28а	СБ-34а
m	7,1	6,7	4	4,5	4,3	4,4

Для других типов сердечников значения постоянной m можно определить экспериментально.

Катушки с тороидальными (кольцевыми) сердечниками применяются в тех случаях, когда требуется при минимальных размерах получить максимальную индуктивность. Достоинствами этих катушек являются также практически полное отсутствие внешнего магнитного поля, что позволяет использовать их без экранов, и большая добротность (до 500); к недостаткам следует отнести относительную сложность намотки и невозможность регулировать индуктивность.

Тороидальные сердечники изготавливаются из альсиферов и ферритов (рис. III.11). В табл. III.6 приведены основные размеры сердечников из альсиферов, а в табл. III.7 и III.8 — типоразмеры сердечников из ферритов.

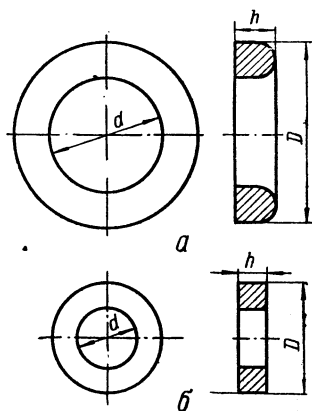


Рис. III.11. Тороидальные (кольцевые) сердечники: а — из альсиферов; б — из ферритов.

Таблица III. 6

Основные размеры колец сердечников из альсиферов

Наружный диаметр, мм	Внутренний диаметр, мм	Высота, мм	Площадь сечения, см ²	Наружный диаметр, мм	Внутренний диаметр, мм	Высота, мм	Площадь сечения, см ²
15	7	4,8	0,175	44	28	7,2	0,5
		6,7	0,25			10,3	0,75
19	11	4,8	0,175	55	32	8,2	0,8
		6,7	0,25			9,7	1,0
24	13	5,2		64	40	11,7	1,2
		7,0	0,35			9,7	1,0
36	25	7,5	0,38	75	46	14,0	1,5
		9,7	0,5			12,0	2,2

Число витков катушки с тороидальным сердечником можно определить по формуле

$$w \approx 280 \sqrt{\frac{Ll_{\text{ср}}}{\mu_{\text{д}} S_{\text{с}}}}$$

Кольцевые сердечники из марганец-

Марка феррита	Типоразмер										
	K4x2,5x1,2	K5x3x1,5	K6x2,5x3,5	K7x4x1,5	K7x4x2	K10x6x2	K10x6x3	K10x6x4,5	K12x5x5,5	K12x8x3	K16x8x6
6000HM	+	+		+	-		+				
4000HM	+	+		+	-		+				
3000HM	+	+		+	-		+				
2000HM	+	+		+	-		+				
1500HM	+	+		+	-		+				
1000HM	+	+		+	-		+				
2000HM1	+	+		+	-		+				
1500HM1	+	+		+	-		+				
1500HM2	+	+		+	-		+				
1500HM3	+	+		+	-		+				
1000HM3	+	+		+	-		+				
700HM	+	+		+	-		+				

Примечания: 1. В обозначении типоразмера первое число соответствует кольца (в мм). 2. Знаком «+» обозначены изготавливаемые сердечники.

где L — индуктивность катушки, $мгн$; $l_{ср}$ — средняя длина магнитного пути, $см$; μ_d — действующая магнитная проницаемость материала сердечника (см. гл. 1, § 7); S_c — площадь сечения сердечника, $см^2$.

Если катушка предназначена для работы без постоянного подмагничивания в слабых переменных полях ($H < 0,1$ э), то вместо μ_d в формулу следует подставить значение начальной магнитной проницаемости материала сердечника (см. гл. 1, § 7).

Воздушный зазор оказывает то же влияние на стабильность параметров тороидальных катушек, что и на стабильность параметров катушек с броневыми сердечниками.

Индуктивно связанные катушки. Для обеспечения магнитной (индуктивной) связи между катушками их наматывают на общий каркас или располагают рядом так, чтобы оси их были параллельны. Отклонение от этого условия приводит к уменьшению связи.

Расчет взаимной индуктивности между катушками без магнитных сердечников можно произвести лишь ориентировочно. Для катушек с магнитными сердечниками методика расчета еще не разработана. Поэтому приводим предельные величины коэффициента связи для различных катушек.

Для однослойных катушек, намотанных с принудительным шагом так, что витки одной катушки располагаются между витками другой, можно получить коэффициент связи до 0,8. Если однослойная катушка расположена на одном каркасе с многослойной, коэффициент связи достигает 0,5. Для катушек, одна из которых разделена на две секции, расположенные по обе стороны другой катушки, можно получить коэффициент связи 0,65—0,75. Коэффициент связи значительно возрастет, если катушки расположить на одном сердечнике.

Коэффициент связи между катушками с броневыми сердечниками не превышает 0,015—0,02.

Вариометры с ферромагнитными сердечниками (ферровариометры) применяются в качестве элементов настройки колебательных контуров

цинковых ферритов

Таблица III. 7

сердечника	
K16×10×4,5	+++++
K17,5×8×5	+++++
K18×14×12	+++++
K20×10×5	+++++
K20×12×6	+++++
K28×16×9	+++++
K31×18,5×7	+++++
K32×18×8	+++++
K32×16×12	+++++
K32×20×9	+++++
K38×24×7	+++++
K40×25×7,5	+++++
K40×25×11	+++++
K45×28×8	+++++
K65×40×6	+++++

наружному диаметру кольца, второе — внутреннему диаметру, третье — толщине

Марка феррита	Типоразмер сердечника																									
	K7×4×2	K8×4×2	K10×5×2,5	K10×5×3,8	K12×6×3	K12×6×4,5	K16×10×4,5	K20×10×7,5	K20×12×4	K28×16×6	K32×16×8	K32×20×6	K40×25×7,5	K45×28×8	K65×40×6	K65×40×9	K65×50×6	K80×50×7,5	K10×85×10	K125×80×3	K125×80×12	K125×80×18	K145×90×20	K180×110×20	K180×115×12	
300НН	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
200НН2	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
150НН1	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
90НН	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
60НН	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
55НН	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
35НН	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
10ВЧ1	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+

Пр и м е ч а н и я: 1. В обозначении типоразмера первое число соответствует наружному диаметру кольца, второе — внутреннему диаметру, третье — толщине кольца (в мм). 2. Знаком «+» обозначены изготовляемые сердечники.

(например, в автомобильных приемниках). Такой вариометр (рис. III.12) состоит из цилиндрической катушки, внутрь которой вдвигается сердечник из материала с высокой магнитной проницаемостью (альсифер ФИ-25 или феррит). Катушка размещается внутри цилиндра из ферромагнитного материала.

Коэффициент перекрытия ферровариометра тем больше, чем больше магнитная проницаемость материала сердечника и чем ближе он расположен к виткам катушки. Если использовать сердечник из альсифера, коэффициент перекрытия достигнет 10—12, из феррита — 25—30 и более.

Длина сердечника обычно выбирается в пять — десять раз большей, чем его диаметр, а диаметр сердечника меньше наружного диаметра каркаса катушки на 0,5 — 1 мм.

Ферровариометры могут сопрягаться для одновременной настройки нескольких контуров. Сопряжение настроек сигнальных контуров и контура гетеродина достигается путем применения сердечников различных диаметров или катушек с различным расположением витков.

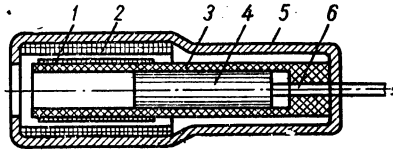


Рис. III.12. Ферровариометр:

1 — обмотка; 2 — наружный цилиндр из ферромагнитного материала; 3 — каркас катушки из пластмассы; 4 — сердечник; 5 — экран; 6 — тяга.

§ 2. Дроссели высокой частоты

Дросселем высокой частоты называют катушку индуктивности, включаемую в цепь для увеличения сопротивления токам высокой частоты. Основные характеристики дросселя: полное сопротивление, сопротивление постоянному току и собственная емкость. Сопротивление постоянному току и собственная емкость дросселя высокой частоты должны быть минимальными, а полное сопротивление — достаточно большим.

Конструктивно дроссели высокой частоты выполняются в виде однослойных или многослойных катушек с ферромагнитными сердечниками или без них. Для уменьшения собственной емкости многослойные катушки секционируют.

В малогабаритной радиоаппаратуре целесообразно использовать дроссели с ферромагнитными сердечниками. Последние отличаются меньшими размерами, меньшим количеством витков при заданной индуктивности и, следовательно, меньшей собственной емкостью; поэтому они могут работать в более широком диапазоне частот. Выгоднее всего применять сердечники из феррита с проницаемостью 600, у которых с увеличением частоты уменьшается диэлектрическая проницаемость, а при частоте, выше граничной, уменьшается и магнитная проницаемость. Используя эти свойства феррита, можно изготовить дроссели с индуктивностью и собственной емкостью, уменьшающимися с повышением частоты, и тем самым исключить резонансные явления в широком диапазоне частот.

При изготовлении дросселей высокой частоты с ферромагнитными сердечниками цилиндрической формы на сердечник накладывают слой конденсаторной бумаги или диэлектрической пленки и сверху наматывают обмотку. Если используется броневой сердечник, обмотку располагают на секционированном каркасе из диэлектрика. На тороидальном сердечнике обмотку наматывают секциями.

Ниже приведены значения индуктивности дросселей цепей питания для различных частот. Меньшие значения индуктивности относятся к дросселям накала.

f , Мгц	До 0,5	1	5	10	20	50	100
L , мкГн	(1—10) · 10 ³	250—1500	80—400	30—150	15—80	4—25	1,5—8

Число витков дросселя определяется так же, как число витков контурных катушек. Диаметр провода выбирается по плотности тока, равной 2—3 а/мм². Допустимое падение напряжения на дросселе накала — 10—15% напряжения питания.

§ 3. Трансформаторы низкой частоты

Магнитопроводы трансформаторов. Для уменьшения потерь на вихревые токи магнитопроводы трансформаторов низкой частоты навиваются из полос (рис. III.13) или набираются из пластин (рис. III.14),

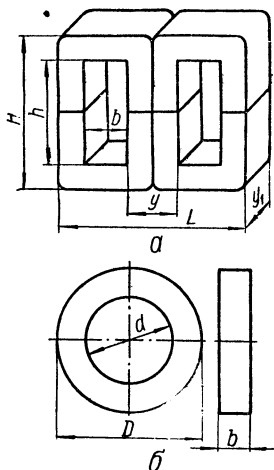


Рис. III.13. Витые магнитопроводы трансформаторов:
а — Ш-образный; б — тороидальный.

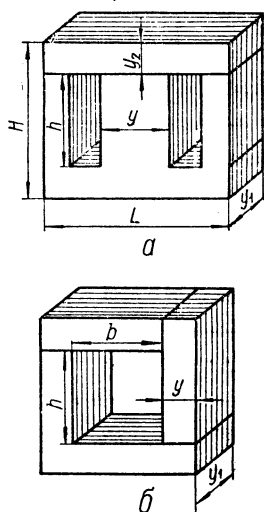


Рис. III.14. Магнитопроводы из штампованных пластин:
а — Ш-образный (броневой); б — стержневой.

штампованных из электротехнической стали или железоникелевых сплавов. Применяются также магнитопроводы из ферритов.

Штампованные пластины чаще всего бывают Ш- и Г-образной формы. Пластины Г-образной формы используются в мощных выходных, а иногда во входных трансформаторах. Наиболее распространенными являются Ш-образные пластины. Основные данные Ш-образных магнитопроводов из штампованных пластин приведены в табл. III.9.

Таблица III.9

Основные данные типовых Ш-образных магнитопроводов
из штампованных пластин

Тип*	Активная площадь сечения, см ²	Площадь окна, см ²	Размеры, мм*				Средняя длина магнитного пути, см	Средняя длина витка обмотки, см
			b	h	L	H		
Ш3×4	0,1	0,225	3,0	7,5	12	10,5	2,65	2,3
Ш3×6,3	0,16							2,8
Ш4×5	0,17	0,1	4,0	10,0	16	14	3,40	3,0
Ш4×8	0,27							3,7
Ш5×6,3		0,625	5,0	12,5	20	17,5	4,25	3,8
Ш5×10	0,42							4,5
Ш6×8	0,41	0,9	6,0	15,0	24	21	5,10	4,7
Ш6×12,5	0,64							5,6
Ш7×7	0,42	1,3	6,5	20,0	30	30	6,9	4,7
Ш7×10	0,60							5,3
Ш7×14	0,84	1,6	8,0	32	28	6,8	7,1	6,1
Ш8×10	0,68							6,0
Ш8×16	1,10	2,025	9	22,5	36	31,5	7,7	7,1
Ш9×9	0,69							6,3
Ш9×13	0,92							7,1

Продолжение табл. III.9

Тип*	Активная се- площадь се- чения, см ²	Площадь окна, см ²	Размеры, мм**				Средняя дли- на магнитного пути, см	Средняя дли- на витка об- моток, см
			b	h	L	H		
Ш10×10	0,90	2,5	10	25	40	35	8,5	6,9
Ш10×12,5	1,1							7,4
Ш10×16	1,45	2,5	10	25	40	35	8,5	8,1
Ш10×20	1,80							8,9
УШ10×10	0,90	1,17	6,5	18	36	31	5,7	5,8
УШ10×15	1,30							6,8
УШ10×20	1,80							7,8
Ш12×12	1,30	1,08	6,0	30	42	42	9,7	6,5
		2,7	9,0					7,5
		2,16	12	18	48	30	7,6	8,5
		3,6		30		42	10,3	
		Ш12×16	1,70	2,7	9	18	48	30
2,16	12			30	42			
3,6				30	42	10,3		
Ш12×18	1,80	1,08	6	18	36	30	6,7	7,7
Ш12×20	2,2	2,7	9	30	42	42	9,7	9,1

Продолжение табл. III.9

Тип*	Активная площадь сечения, см ²	Площадь окна, см ²	Размеры, мм**				Средняя длина на магнитного пути, см	Средняя длина на витка обмоток, см
			b	h	L	H		
Ш12×20	2,2	2,16	12	18	48	30	7,6	10,0
		3,6		30		42	10,3	
Ш12×24	2,6	1,08	6	18	36	30	6,7	8,9
Ш12×25	2,7	2,7	9	30	42	42	9,7	10,0
Ш12×25	2,7	2,16	12	18	48	30	7,6	11,0
		3,6		30		42	10,3	
Ш12×32	3,5	2,7	9		42		9,7	11,4
Ш12×32	3,5	2,16	12	18	48	30	7,6	12,5
		3,6		30		42	10,3	
УШ12×12	1,3							7,0
УШ12×18	1,9	1,76	8	22	44	38	6,7	8,2
УШ12×24	2,6							9,4
Ш14×14	1,8	1,47	7	21	42	35	7,8	7,6
		2,25	9	25	50	43	7,9	8,2
Ш14×21	2,7	1,47	7	21	42	35	7,8	9,0
		2,25	9	25	50	43	7,9	9,6

Продолжение табл. III.9

Тип*	Активная се- площадь се- чения, см ²	Площадь окна, см ²	Размеры, мм**				Средняя дли- на магнитного пути, см	Средняя дли- на витка со- моток, см
			b	h	L	H		
Ш14×28	3,6	1,47	7	21	42	35	7,8	10,4
		2,25	9	25	50	43	7,9	11,0
Ш15×19	2,6	3,645	13,5	27	64	49	8,3	11,0
Ш15×30	4,1							13,3
Ш16×16	2,3	1,92	8	24	48	40	8,9	11,0
		3,84						
		6,40	40	40	56	13,7		
Ш16×20	2,9	3,84	16	24	64	40	10,5	12,0
		6,40		40		56	13,7	
Ш16×24	3,5	1,92	8	24	48	40	8,9	10,2
Ш16×25	3,6	3,84						
		6,40	40	56	13,7			
		Ш16×32	4,6	1,92	8	24	48	40
3,84	16			64				
6,40					40	40	56	13,7
Ш16×40	5,8	3,84	16	24	64	40	10,5	15,9
		6,40		40		40	56	

Продолжение табл. III.9

Тип*	Активная площадь сечения, см^2	Площадь окна, см^2	Размеры, мм**				Средняя длина на магнитного пути, см	Средняя длина на витка обмоток, см
			b	h	L	H		
УШ16×16	2,3	2,8	10	28	56	48	9,0	9,3
УШ16×24	3,5							10,9
УШ16×32	4,6							12,5
Ш18×18	2,9	2,43	9	27	54	45	10,0	9,8
Ш18×27	4,4							11,6
Ш18×36	5,8							13,4
Ш19×19	3,2	7,82	17	46	75	68	14,3	11,0
Ш19×28	4,9							12,8
Ш19×38	6,5							14,8
УШ19×19	3,2	4,02	12	33,5	67	57,5	10,6	11,0
УШ19×28	4,9							12,8
УШ19×38	6,5							14,8
Ш20×20	3,6	3,0	10	30	60	50	12,1	10,9
		5,625	12,5	45	65	65	14,6	11,9
		6,0	20	30	80	50	13,2	13,8
		10,0		50		70	17,1	

* Цифры, входящие в обозначение типа магнитопровода, указывают размеры, мм: первая цифра — размер y , вторая — размер y_1 (в соответствии с рис. III.14).

** Размеры, указанные в колонках 4—7, приведены в соответствии с рис. III.14.

Таблица III.10

Основные данные типовых витых Ш-образных магнитопроводов

Тип*	Активная площадь сечения, см ²	Площадь окна, см ²	Размеры, мм**				Средняя длина магнитного пути, см	Средняя длина витка обмоток, см
			b	h	L	H		
ШЛ6×6,3	0,34	0,9	6	15	24	21	5,1	4,3
ШЛ6×8	0,41							4,7
ШЛ6×10	0,52							5,1
ШЛ6×12,5	0,65							5,6
ШЛ8×8	0,55	1,6	8	20	32	28	6,8	5,7
ШЛ8×10	0,69							6,0
ШЛ8×12	0,86							6,6
ШЛ8×16	1,16							7,1
ШЛ10×10	0,9	2,5	10	25	40	35	8,5	6,9
ШЛ10×12,5	1,1							7,4
ШЛ10×16	1,4							8,1
ШЛ10×20	1,8							8,9
ШЛ12×12,5	1,3	3,6	12	30	48	42	10,3	8,7
ШЛ12×16	1,74							9,4
ШЛ12×20	2,1							10,2
ШЛ12×25	2,7							11,2
ШЛ16×16	2,3	6,4	16	40	64	56	13,7	11,5
ШЛ16×20	2,9							12,3
ШЛ16×25	3,6							13,3
ШЛ16×32	4,6							14,7

* Цифры, входящие в обозначение типа магнитопровода, указывают размеры, мм: первая цифра — размер y , вторая — размер y_1 (в соответствии с рис. III.13).

** Размеры, указанные в колонках 4—7, приведены в соответствии с рис. III.13.

Для сборки магнитопроводов из Ш-образных пластин к ним добавляют перемычки. Чтобы ликвидировать зазор между пластинами и перемычками, магнитопровод собирают «вперекрышку». В магнитопроводах трансформаторов, по обмоткам которых протекает постоянный ток (например, выходных трансформаторов однотактных усилительных каскадов), делают немагнитный зазор. В этом случае пластины магнитопроводов собирают в одну сторону. Между пластинами и перемычками помещают прокладку из листового изолирующего материала необходимой толщины.

Для уменьшения потерь в магнитопроводе на вихревые токи пластины изолируют тонким слоем лака (с одной стороны) или окисла, который образуется при отжиге.

Пластины сердечника после сборки стягиваются планками или уголками при помощи шпилек с гайками либо специальными обжимками. Стяжные планки, уголки или обжимки служат одновременно для крепления трансформатора на шасси.

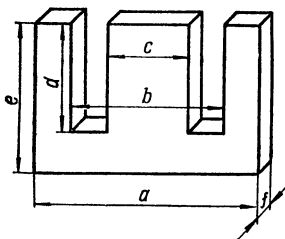


Рис. III.15. Ш-образный магнитопровод из ферритов.

Из полос электротехнической стали навивают Ш-, О-образные и тороидальные магнитопроводы. Ш-образный и тороидальный витые магнитопроводы показаны на рис. III.13. Данные витых магнитопроводов небольших размеров приведены в табл. III.10.

На рис. III.15 представлен Ш-образный магнитопровод, изготовленный из низкочастотных ферритов. В табл. III.11 приведены основные данные таких магнитопроводов (основные данные тороидальных магнитопроводов из ферритов приведены в табл. III.7 и III.8).

Самыми лучшими свойствами обладают тороидальные магнитопроводы, использование которых приводит к уменьшению уровня помех и взаимных связей между трансформаторами вследствие меньшего потока рассеивания. При одинаковых ампервитках индукция в тороидаль-

Таблица III. 11

Основные данные Ш-образных магнитопроводов из ферритов

Тип	Размеры, мм						Средняя длина магнитного пути, см	Площадь сечения, см ²	Площадь окна, см ²
	a	b	c	d	e	f			
Ш2,5×2,5	10	6,5	2,5	3,25	5	2,5	3,3	0,062	0,13
Ш3×3	12	8	3	4	6	3	4,0	0,09	0,2
Ш4×4	16	10,4	4	5,2	8	4	5,2	0,16	0,33
Ш5×5	20	13	5	6,5	10	5	6,6	0,25	0,52
Ш6×6	24	16	6	8	12	6	8,0	0,36	0,8
Ш7×7	30	19	7	9,5	15	7	9,5	0,49	1,14
Ш8×8	32	23	8	11,5	16	8	11	0,64	1,72
Ш10×10	36	26	10	13	18	10	12	1,0	2,08
Ш12×12	42	30	12	15	21	12	14	1,44	2,7
Ш16×16	54	38	16	19	27	16	18	2,56	4,18
Ш20×20	65	44	20	22	32	20	21	4,0	5,28

Примечание. Магнитопроводы состояются из двух одинаковых частей.

ных магнитопроводах больше, чем в броне- и стержневых. Это позволяет уменьшать размеры и вес трансформаторов. В трансформаторах с торондальными магнитопроводами лучше условия охлаждения обмоток, поскольку витки распределяются по тороиду. При этом уменьшается длина витка, следовательно, расходуется меньше провода и повышается к. п. д. трансформатора.

Каркасы, на которые наматываются обмотки трансформаторов, пресуют из пластмасс, склеивают из электрокартона или собирают из отдельных деталей, изготовленных из гетинакса, прессшпана, текстолита или электрокартона. Иногда применяют бескаркасную намотку (на гильзу). На рис. III.16 показана конструкция сборного каркаса и представлены чертежи деталей.

Обмотки трансформаторов выполняются из медного провода с эмалевой, хлопчатобумажной или шелковой изоляцией. В трансформаторах для малогабаритной аппаратуры на транзисторах используют провод

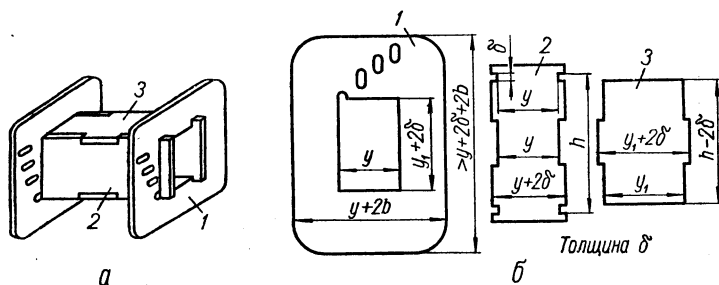


Рис. III.16. Каркас катушки трансформатора:

а — в собранном виде; *б* — детали (по 2 шт.); 1 — щечки; 2 и 3 — пластины.

с эмалевой изоляцией. Прокладки между слоями обмотки применяются только в трансформаторах для аппаратуры на электронных лампах. Для защиты трансформатора от воздействия влаги и повышения электрической прочности изоляции обмотки пропитывают церезином или специальными лаками (см. гл. I).

Порядок расположения обмоток на каркасе не имеет принципиального значения. Для снижения стоимости в большинстве случаев обмотки из тонких проводов помещают ближе к магнитопроводу (тонкие провода дороже).

Выводы обмоток, намотанных тонкими проводами, выполняются из мягкого многожильного провода с хорошей изоляцией (обычно в оплетке из шелка).

Входные трансформаторы применяются главным образом в усилителях, предназначенных для усиления очень малых напряжений (усилители для динамических микрофонов, магнитной звукозаписи и др.). Они увеличивают динамический диапазон усилителей благодаря перекрытию собственных шумов усилителя напряжением сигнала. Кроме заданной частотной характеристики, к входному трансформатору в зависимости от назначения предъявляют и другие требования: симметричность входа, максимальное повышение напряжения, заданные входное и выходное сопротивления, малая чувствительность к внешним полям и т. д.

Для уменьшения влияния «наводок» на провода, соединяющие источник сигнала с входным трансформатором, первичную обмотку трансформатора

матора делают симметричной относительно корпуса и среднюю точку ее соединяют с корпусом; кроме того, соединительные провода и трансформатор тщательно экранируют.

Чтобы первичная обмотка была симметричной по отношению к корпусу, ее делят на две одинаковые по числу витков и геометрическим размерам половины. Простейшая конструкция катушки симметричного трансформатора представлена на рис. III.17. Секции намотаны в противоположные стороны. Между первичной и вторичной обмотками, кроме изоляции, проложен слой медной фольги (незамкнутый) для экранирования первичной обмотки от вторичной, которая может быть и несимметричной. Вывод от экрана (Э) соединяют с магнитопроводом трансформатора и корпусом усилителя.

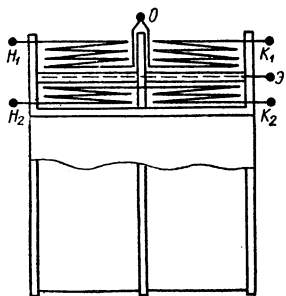


Рис. III.17. Конструкция катушки симметричного трансформатора.

Нижние концы первичной обмотки соединяют (точка O), два верхних конца образуют симметричную входную цепь.

Для уменьшения воздействия внешних электромагнитных полей на входной трансформатор используют магнитное экранирование.

Самым лучшим материалом для изготовления магнитопровода входного трансформатора является пермаллой, использование которого позволяет уменьшить размеры трансформатора и, следовательно, наводки. Для входных трансформаторов рекомендуется применять магнитопроводы стержневого типа, также уменьшающие наводки.

Междукаскадные трансформаторы применяются для связи каскадов усиления лишь в тех случаях, когда невозможно или неудобно использовать каскады на резисторах, например, если нужно получить большое напряжение сигнала без существенных искажений, если необходимо осуществить согласование каскадов для получения максимального усиления или переход от одноконтурной схемы к двухконтурной. Кроме заданной частотной характеристики к междукаскадным трансформаторам предъявляется требование обеспечения необходимой трансформации сопротивлений, иногда симметрии.

Междукаскадные трансформаторы, работающие на двухконтурный каскад, следует выполнять симметричными.

Основные данные междукаскадных трансформаторов для карманных и переносных радиоприемников приведены в табл. III.12.

Выходные трансформаторы предназначены для согласования сопротивления нагрузки усилителя с выходным сопротивлением выходного каскада с целью получения максимальной мощности и минимальных нелинейных искажений. Основные требования, предъявляемые к выходным трансформаторам: заданная частотная характеристика, создание наиболее выгодной величины сопротивления нагрузки для выходного каскада усилителя, малая величина вносимых трансформатором нелинейных искажений и др.

Магнитопроводы малогабаритных выходных трансформаторов для аппаратуры на транзисторах в большинстве случаев собираются из Ш-образных штампованных пластин, изготавливаемых из пермаллоя. В одноконтурных выходных трансформаторах иногда приходится делать немагнитный зазор в магнитопроводе для уменьшения влияния постоянного подмагничивающего потока. Существует наиболее выгодная величина

Основные данные междукасадных трансформаторов для некоторых типов карманных и переносных радиоприемников

Тип радиоприемника	Магнитопровод		Первичная обмотка			Вторичная обмотка		
	Тип	Материал	Работает от транзистора	Число витков	Марка и диаметр провода, мм	Работает на трансисторы	Число витков	Марка и диаметр провода, мм
«Атмосфера»	Ш6,5×6	Пермаллой	П13А	1800	ПЭЛ 0,1	П13А	400×2*	ПЭЛ 0,1
«Атмосфера-2м»	Ш6×6	»	П14	1600	ПЭВ 0,1	П14	500×2	ПЭВ 0,1
«Сюрприз»	Ш6,5×6	Н50		2500				
«Нева», «Чайка», «Ласточка»	Ш3×6	Н-78	П13А	2500	ПЭЛ 0,06	П13А	350×2	ПЭЛ 0,06
«Тоназ-2», «Старт-2»			П14	2700		П14		
«Селга»	Ш5×6	Н50	П15	1600	ПЭВ-2 0,08	П15	500×2	ПЭВ-2 0,08
«Юпитер», «Сигнал»	Ш3×6		ГТ108А	2700	ПЭВТЛ-1 0,06	ГТ108А		ПЭВТЛ-1 0,06
«Алмаз», «Нева-2»	Ш3×6	—	П15	2500	ПЭЛ 0,06	П15	350×2	ПЭЛ 0,06
«Космос»	1,5×4**	79НМ	П5Д	1000	ПЭЛ 0,05	П5Д		
«Спидола»	Ш7×7	—	—	2200	ПЭВ-2 0,1	П15	480×2	ПЭВ-2 0,14
«Сагури»	Ш3×6	—	П15	1500	ПЭВТЛ-1 0,08	П15	190×2*	ПЭВТЛ-1 0,08
«Меридиан»	Ш6×6	Н45	П41	1500	ПЭВ-2 0,1	П41	500×2	ПЭВ-2 0,1
«Мрия»	Ш6×12	Н50	МП40	1760	ПЭВТЛ-1 0,09	ГТ403А	170×2	ПЭВТЛ-1 0,12
«Урал-авто»	Ш5×10	Э-310	МП41	500×2	ПЭВ-1 0,08	ГТ403Б	690×2	ПЭВ-1 0,1
«Valzas» (мегафон)	Ш6×8	—	МП40	1400	ПЭВ-1 0,1	ГТ213Б	250×2	ПЭВ-1 0,18

* Обмотка намотана в два провода. ** О-образный магнитопровод. Катушка расположена на одном из стержней

Основные данные выходных трансформаторов для некоторых типов карманных и переносных радиоприемников

Тип радиоприемника	Тип трансформатора выходного каскада	Сопротивление нагрузки усилителя, Ом	Магнитопровод		Первичная обмотка		Вторичная обмотка	
			Тип	Материал	Число витков	Марка и диаметр провода, мм	Число витков	Марка и диаметр провода, мм
«Атмосфера-2м»	П14	4,5	Ш6×6	Пермаллой	400×2*	ПЭВ 0,15	85	ПЭВ 0,31
«Нева», «Чайка», «Ласточка»	П13А	7	Ш3×6	45Н	450×2	ПЭЛ 0,09	102	ПЭЛ 0,23
«Сюрприз»	П14	9,5	Ш6,5×6	50Н	245×2	ПЭВ 0,18	245	ПЭВ
«Топаз-2», «Старт-2»	П15		Ш3×6		450×2	ПЭЛ 0,09	102	ПЭЛ 0,23
«Селга»	П15	6	Ш5×6	79НМ1	225×2	ПЭВ 0,15	23×2	ПЭВ 0,35
«Сигнал», «Юпитер»	ГТ108А		Ш3×6		513×2	ПЭВТЛ 0,08	108	ПЭВТЛ 0,27
«Алмаз», «Нева-2»	П15	6	Ш7×7	—	450×2	ПЭЛ 0,09	102	ПЭЛ 0,23
«Космос»	П5Д		1,5×4***		250×2	ПЭЛ 0,06	80	ПЭЛ 0,2
«Спидол»	—	—	—	—	350×2	ПЭВ-2 0,18	92×2**	ПЭВ-2 0,29
«С турн»	П15	9,5	Ш3×6	—	360×2	ПЭВТЛ-1 0,08	94×2*	ПЭВТЛ-1 0,23
«Меридиан»	П41	6,5	Ш6×6	45Н	300×2	ПЭВ-2 0,18	90	ПЭВ-2 0,41
«Мрия»	ГТ403А	—	Ш6×12	Э-310	170×2	ПЭВТЛ-1 0,23	65	ПЭТА-1 0,41
«Урал-авг»	ГТ403Б	—	Ш5×10	Э-310	120×2	ПЭВ-1 0,18	85	ПЭВ-1 0,31
«Balsas» (мегафон)	П213Б	—	Ш6×8	—	90×2	ПЭВ-1 0,31	60	ПЭВ-1 0,51

* Обмотка намотана в два провода. ** Две секции по 92 витка. Одна секция расположена под первичной обмоткой, вторая — над первичной. *** О-образный магнитопровод. Катушка расположена на одном из стержней.

немагнитного зазора, при которой индуктивность обмотки оказывается максимальной.

Для необходимого усиления низких частот в выходном каскаде первичная обмотка выходного трансформатора должна содержать достаточное количество витков (т. е. обладать большой индуктивностью). Необходимое усиление высоких частот достигается при малой индуктивности рассеяния трансформатора, которая зависит от конструкции взаимного расположения обмоток и толщины изоляционных прокладок между ними. Чем меньше толщина обмотки и чем больше ее высота, тем меньше индуктивность рассеяния. Часто для уменьшения индуктивности рассеяния обмотки секционируют, чередуя при намотке секции первичной и вторичной обмоток. Первичную обмотку трансформатора для однотактного выходного каскада на транзисторах рекомендуется разделять на две секции, располагая вторичную обмотку между ними. Обмотки трансформатора для двухтактного выходного каскада лучше наматывать на двухсекционный каркас. Первичную обмотку следует разделять на четыре — шесть секций, а вторичную — на две, располагая их между секциями первичной.

Основные данные выходных трансформаторов для некоторых типов промышленных карманных и переносных радиоприемников приведены в табл. III.13.

Глава IV

ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ПРИБОРЫ

§ 1. Полупроводниковые диоды

Классификация производится по ряду признаков. По исходному материалу диоды делят на две основные группы: *германиевые* и *кремниевые*. Германиевые диоды работают при температуре не выше 70, кремниевые — 125—150° С.

По ряду признаков различают выпрямительные, универсальные, импульсные диоды, стабилизаторы напряжения (опорные диоды, или стабилитроны), СВЧ-диоды, диоды для умножения частоты, варикапы, переключающие диоды, туннельные диоды и т. д.

Маркировка диодов, разработанных до 1964 г. согласно ГОСТу 5461—59, состоит из трех элементов: первый — буква Д (диод), второй — число (см. табл. IV. 1), третий — буква, определяющая разновидность диода данного типа. Исключение — выпрямительные диоды серии Д7.

Таблица IV.1

*Второй элемент обозначения типов диодов,
разработанных до 1964 г.*

Класс диодов	Германиевые	Кремниевые
Точечные	1—100	101—200
Плоскостные	301—400	201—300
Стабилитроны	801—900	
Варикапы	901—1000	
Выпрямительные столбы	1001—1100	

С 1964 г. маркировка производится в соответствии с ГОСТом 10862—64 и состоит из четырех элементов. Первый — буква или цифра, соответствующая полупроводниковому материалу: Г или 1 — германий, К или 2 — кремний, А или 3 — арсенид галлия.

Второй — буква, указывающая класс диода (табл. IV.2).

Третий — трехзначное число, определяющее группу мощности (табл. IV. 2).

В качестве четвертого элемента могут применяться буквы, соответствующие разновидностям диодов одного типа. Пример обозначения: 2Д503А — кремниевый импульсный диод, разновидность А.

Выпрямительные диоды предназначены для использования в разнообразных выпрямительных схемах, работающих на низких частотах.

Вольтамперная характеристика диода выражает зависимость тока,

Таблица IV.2

Второй и третий элементы обозначения типов диодов согласно
ГОСТу 10862—64

Класс диодов	Второй элемент	Третий элемент			
		Без градаций по мощности	Диоды малой мощности	Диоды средней мощности	Диоды большой мощности
Выпрямительные	Д	101—399	—	—	—
Универсальные	Д	401—499	—	—	—
Импульсные	Д	501—599	—	—	—
СВЧ-диоды					
смесительные	А	101—199	—	—	—
видеодетекторы	А	201—299	—	—	—
модуляторные	А	301—399	—	—	—
параметрические	А	401—499	—	—	—
переключающие	А	501—599	—	—	—
умножительные	А	601—699	—	—	—
Выпрямительные столбы	Ц	—	101—199	201—299	—
Выпрямительные блоки	Ц	—	301—399	401—499	501—599
Варикапы	В	101—199	—	—	—
Стабилитроны					
на напряжение 1—9,9 в	С	—	101—199	401—499	701—799
» » 10—99 в	С	—	201—299	501—599	801—899
» » 100—199 в	С	—	301—399	601—699	901—999
Фотодиоды	Ф	101—199	—	—	—
Переключатели:					
неуправляемые	Н	—	101—199	201—299	301—399
управляемые	У	—	101—199	201—299	301—399
Туннельные диоды					
усилительные	И	101—199	—	—	—
генераторные	И	201—299	—	—	—
переключающие	И	301—399	—	—	—

протекающего через диод, от величины и полярности приложенного к нему напряжения (рис. IV. 1).

Ветвь, расположенная в первом квадранте, соответствует прямому (пропускному) направлению тока, а расположенная в третьем квадранте — обратному (закрытому). Чем круче и ближе к вертикальной оси прямая ветвь и чем ближе к горизонтальной обратная ветвь, тем лучше выпрямительные свойства диода. При достаточно большом обратном напряжении у диода наступает пробой, т. е. резко возрастает обратный ток. Нормальная работа диодов в качестве элементов с односторонней проводимостью возможна лишь в режимах, когда обратное напряжение не превышает пробивного.

При повышении температуры диода прямой и обратный токи увеличиваются, а при понижении — уменьшаются (рис. IV. 1). Пробивное напряжение при повышении температуры понижается.

Основные параметры. Прямой ток $I_{пр}$ — ток через диод в проводящем направлении.

Прямое напряжение $U_{пр}$ — напряжение на диоде при протекании через него постоянного тока определенной величины.

Обратное напряжение $U_{обр}$ — напряжение, приложенное к диоду в обратном направлении.

Обратный ток $I_{обр}$ — ток, протекающий через диод при подаче на него постоянного обратного напряжения определенной величины.

Выпрямленный ток $I_{выпр}$ — среднее за период значение прямого тока.

Дифференциальное сопротивление $R_{\text{дифф}}$ — отношение приращения напряжения на диоде к вызвавшему его малому приращению тока. Техническими условиями задаются обычно максимальные или минимальные значения параметров для диодов данного типа.

Максимальная рабочая частота $f_{\text{макс}}$ — частота, на которой выпрямленный ток уменьшается (обычно до 0,7) по сравнению со значением выпрямленного тока, измеренного на низкой частоте.

Предельные параметры*. Максимальное обратное напряжение $U_{\text{обр. макс}}$ — значение предельного напряжения любой формы и периодичности, приложенного к диоду в обратном направлении.

Максимальный выпрямленный ток $I_{\text{выпр. макс}}$ — предельное значение выпрямленного тока.

Максимальная допустимая мощность $P_{\text{доп}}$ — предельная мощность, рассеиваемая на диоде, при которой температура $p-n$ -перехода не превышает допустимой.

Максимальная рабочая температура $T_{\text{макс}}^{**}$ устанавливается с определенным коэффициентом запаса.

Минимальная рабочая температура $T_{\text{мин}}^{**}$ определяется разрушающими механическими усилиями, возникающими между отдельными элементами диода при его охлаждении.

Максимальная температура корпуса $T_{\text{к. макс}}$ приводится обычно для мощных диодов.

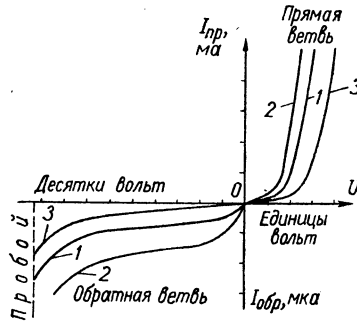


Рис. IV.1. Вольт-амперная характеристика выпрямительного диода:

- 1 — при нормальной температуре;
- 2 — при повышенной температуре;
- 3 — при пониженной температуре.

В зависимости от схемы выпрямителя и типа нагрузки пиковое значение обратного напряжения может в 1,57—3,14 раза превышать значение $U_{\text{обр. ср}}$. При этом оно не должно превышать $U_{\text{обр. макс}}$ для данного типа диода. Основные данные выпрямительных диодов приведены в табл. IV.3.

Высокочастотные диоды — приборы универсального назначения. Они могут быть использованы для выпрямления токов в широком диапазоне частот (до нескольких сотен мегагерц), для модуляции, детектирования и других нелинейных преобразований. Свойства высокочастотных диодов характеризуют теми же параметрами, что и свойства выпрямительных диодов, но диапазон их рабочих частот гораздо шире. Основные данные высокочастотных (универсальных) диодов приведены в табл. IV. 4.

Импульсные диоды предназначены для использования в качестве ключевых элементов при малых длительностях импульсов и переходных процессов.

* Предельные параметры определяют границы эксплуатационных режимов, при которых диод может работать с заданной надежностью в течение установленного срока службы.

** Под $T_{\text{макс}}$ и $T_{\text{мин}}$ следует понимать максимальную и минимальную температуры окружающей среды.

Основные параметры. Время установления прямого сопротивления $\tau_{уст}$ — интервал времени от начала импульса прямого тока до момента снижения напряжения на диоде до 1,2 установившейся величины.

Время восстановления обратного сопротивления $\tau_{восст}$ — интервал времени от момента, когда ток через диод равен нулю, до момента уменьшения обратного тока до заданного уровня.

Максимальное импульсное сопротивление $R_{имп. макс}$ — отношение максимального прямого импульсного напряжения на диоде $U_{пр. имп. макс}$ к величине импульса прямого тока $I_{пр. имп.}$

Емкость диода C_d — емкость между выводами диода при заданном напряжении смещения.

Для импульсных диодов указываются также постоянное прямое напряжение $U_{пр}$ при протекании постоянного тока $I_{пр}$, обратный ток $I_{обр}$ при заданном обратном напряжении $U_{обр}$, а также прямое импульсное напряжение $U_{пр. имп}$ при протекании прямого импульсного тока определенной величины.

Предельные параметры определяются величиной максимального обратного напряжения $U_{обр. макс}$ любой формы и периодичности, величиной максимального прямого постоянного или импульсного тока с оговоренной максимальной длительностью импульса, а также величиной максимальной и минимальной рабочих температур. Основные данные импульсных диодов приведены в табл. IV. 5.

Стабилитроны (стабилизаторы напряжения, опорные диоды) предназначены для стабилизации уровня напряжения при изменении величины протекающего через диод тока. В опорных диодах рабочим является пробойный участок вольтамперной характеристики в области обратных напряжений (рис. IV. 2). На этом участке напряжение на диоде остается практически постоянным при значительном изменении тока, протекающего через диод.

Основные параметры. Напряжение стабилизации $U_{ст}$ — напряжение в рабочей области, где большому изменению тока через диод соответствует малое изменение напряжения на нем.

Дифференциальное сопротивление $R_{дифф}$ — отношение приращения падения напряжения на стабилитроне к вызвавшему его малому приращению тока.

Статическое сопротивление $R_{ст}$ — отношение постоянного напряжения на стабилитроне к протекающему через него току.

Емкость диода C_d — емкость между выводами диода при заданном напряжении.

Температурный коэффициент напряжения ТКН, %/град, определяется как отношение относительного изменения напряжения стабилизации к абсолютному изменению температуры окружающей среды.

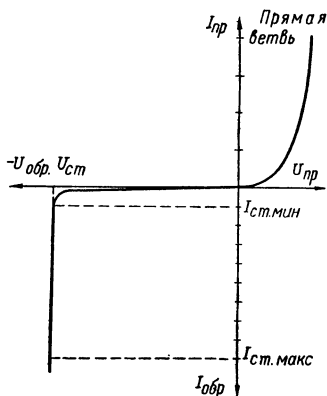


Рис. IV.2. Вольтамперная характеристика опорного диода (стабилитрона).

Предельные параметры. Максимальный ток стабилизации $I_{ст. макс}$ (определяется обычно максимально допустимой рассеиваемой мощностью $P_{доп}$).

Минимальный ток стабилизации $I_{ст. мин}$. При токах, меньших $I_{ст. мин}$, увеличивается дифференциальное сопротивление диода, пробой становится неустойчивым, резко возрастают шумы. Для маломощных стабилитронов величина $I_{ст. мин}$ составляет 3—5 ма. Кроме этого для опорных диодов приводится значение максимально допустимой мощности $P_{доп}$, максимальной температуры окружающей среды $T_{макс}$ или корпуса $T_{к. макс}$, минимальной температуры окружающей среды $T_{мин}$.

Основные данные стабилитронов приведены в табл. IV.6.

Варикап — диод специальной конструкции, емкость которого можно изменять в широких пределах. Емкость $p-n$ -перехода зависит от величины обратного напряжения. С увеличением напряжения емкость перехода уменьшается по закону

$$C_U = C_0 \left(\frac{\varphi_k}{\varphi_k + U} \right)^{\frac{1}{n}},$$

где C_U — емкость диода при обратном напряжении U ; C_0 — емкость при нулевом напряжении на диоде; φ_k — контактный потенциал (составляет десятые доли вольта); n — коэффициент, зависящий от типа варикапа ($n = 2 \div 3$).

Основные параметры. Номинальная емкость $C_{ном}$ определяется при небольшом (около 4 в) обратном напряжении.

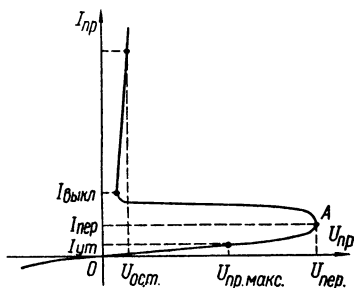


Рис. IV.3. Вольтамперная характеристика неуправляемого переключающего диода.

Коэффициент перекрытия K_c указывает отношение максимальной емкости варикапа (при некотором низком напряжении) к минимальной емкости (при наибольшем допустимом напряжении).

Добротность Q равна отношению реактивного емкостного сопротивления к полному сопротивлению потерь на заданной частоте. Добротность варикапа максимальна (порядка тысяч единиц) на средних частотах (0,2—1 МГц).

Температурный коэффициент емкости ТКЕ указывает относительное изменение емкости при изменении температуры на $1^\circ C$.

Температурный коэффициент добротности ТКД указывает относительное изменение добротности при изменении температуры на $1^\circ C$.

Основные данные варикапов приведены в табл. IV.7.

Переключающие диоды (управляемые и неуправляемые) предназначены для использования в качестве ключевых элементов в схемах автоматики и других устройствах.

Переключающие неуправляемые диоды состоят из пластины, в которой на пути тока находятся четыре области с чередующимися типами проводимости $p-n-p-n$. Вольтамперная характеристика такого диода представлена на рис. IV.3. Участок OA соответствует выключенному (закрытому) состоянию диода. При повышении напряжения до

определенного значения $U_{пер}$ происходит резкое уменьшение падения напряжения на диоде (пробой). После перехода в открытое (включенное) состояние излишек напряжения для предотвращения перегрузки диода должен гаситься на сопротивлениях внешних цепей. Для поддержания диода в открытом состоянии через него должен протекать ток не менее $I_{выкл}$. Путем снижения напряжения на диоде можно уменьшить ток до величины, меньшей, чем $I_{выкл}$, и перевести диод в выключенное состояние.

Если от одной из внутренних областей $p-n-p-n$ -структуры сделан вывод (управляющий электрод), то открывать диод можно не только путем повышения напряжения на нем, но и путем пропускания небольшого тока I_y через него. Такой диод подобен тиратрону и называется управляемым переключающим диодом. Вольтамперная характеристика управляемого переключающего диода приведена на рис. IV.4.

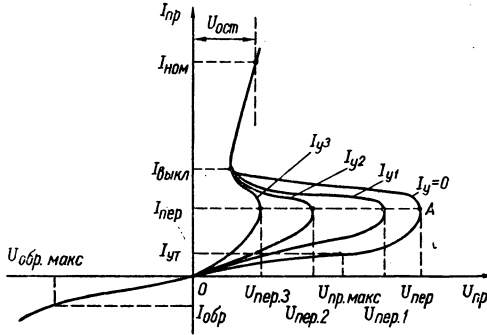


Рис. IV.4. Вольтамперная характеристика управляемого переключающего диода

В зависимости от изменения тока I_y (от $I_y = 0$ до $I_y = I_{y.з}$) в цепи управляющего электрода изменяется и напряжение переключения $U_{пер}$ (от $U_{пер}$ до $U_{пер.з}$). Для закрывания управляемого диода необходимо уменьшить ток через диод до величины, меньшей $I_{выкл}$, путем снижения напряжения на нем.

Основные параметры. Напряжение переключения $U_{пер}$ — значение анодного напряжения, при котором возможно переключение диода при разомкнутой цепи управляющего электрода.

Остаточное напряжение $U_{ост}$ — средняя величина падения напряжения на диоде за однократное срабатывание при номинальном токе. Ток переключения $I_{пер}$ — значение прямого тока при напряжении $U_{пер}$.

Ток выключения $I_{выкл}$ — значение тока, ниже которого происходит выключение диода.

Ток утечки $I_{ут}$ — значение тока через диод, находящийся в выключенном состоянии, при определенном напряжении на нем.

Обратный ток $I_{обр}$ — значение тока через диод при $U_{обр. макс}$.
 Время включения $t_{вкл}$ — время с момента подачи отпирающего импульса до времени уменьшения напряжения на диоде до минимальной величины.

Время выключения $t_{\text{выкл}}$ — время, в течение которого на диод должно подаваться выключающее напряжение, переводящее диод в закрытое состояние.

Емкость диода C_d — емкость, измеренная между выводами анод—катод при нулевом напряжении смещения.

Предельные параметры характеризуются максимально допустимой величиной импульсного прямого тока $I_{\text{пр. имп. макс}}$ при заданной длительности импульса, а также величиной максимального обратного напряжения $U_{\text{обр. макс}}$.

Основные данные управляемых переключающих диодов приведены в табл. IV.8.

Туннельные диоды имеют вольтамперную характеристику особой формы, содержащую участок с отрицательным дифференциальным сопротивлением (рис. IV.5). Это позволяет использовать такие диоды для усиления и генерации электрических колебаний, а также в разнообразных импульсных устройствах вместо ламп и транзисторов. Качество туннельного диода определяет протяженность и крутизна падающего участка АБ вольтамперной характеристики. Отрицательное сопротивление сохраняется в очень широком диапазоне частот (до тысяч мегагерц).

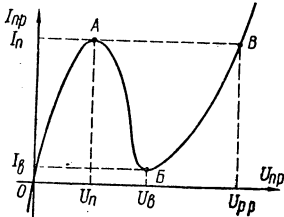


Рис. IV.5. Вольтамперная характеристика туннельного диода.

Основные параметры. Пиковый ток I_p — величина тока, соответствующая максимуму вольтамперной характеристики.

Ток впадины I_v — величина тока, соответствующая минимуму вольтамперной характеристики.

Ток впадины I_v — величина тока, соответствующая минимуму вольтамперной характеристики.

Напряжение пика U_p — напряжение на диоде, соответствующее пиковому току.

Напряжение впадины U_v — напряжение на диоде, соответствующее току впадины.

Напряжение раствора U_{pp} — напряжение на диоде при протекании тока, равного I_p ($U_{pp} > U_v$), соответствующего второй восходящей ветви вольтамперной характеристики.

Емкость диода C_d измеряют при заданном напряжении смещения (обычно при U_v).

Быстродействие переключающих схем с туннельными диодами характеризуется $t_{\text{пер}}$ — временем переключения из состояния с напряжением на диоде, меньшим U_p , в состояние с напряжением, большим U_v . Величина $t_{\text{пер}}$ зависит от параметров диода и параметров схемы. Основные данные туннельных диодов приведены в табл. IV.9.

Фотодиоды — высокочувствительные малоинерционные элементы, служащие для преобразования световых сигналов в электрические. Возможны два режима работы полупроводниковых фотодиодов.

Режим А характеризуется отсутствием внешнего источника напряжения; фотодиод работает как вентильный фотоэлемент. Собственная э. д. с. такого фотоэлемента составляет около 0,1 в, а наибольший ток — 100 мкА (при освещенности 7000 лк и сопротивлении нагрузки $R_n = 1000 \text{ ом}$). Наибольший прирост э. д. с. фотодиода получается при малых освещенностях. При освещенностях более 800—10000 лк э. д. с. почти не изменяется.

Режим А характеризуется низким уровнем собственных шумов.

Таблица IV.3

Основные данные выпрямительных диодов, столбов и блоков

Тип	Максимальный вы- прямленный ток, а	Максимальное обратное напря- жение, в		Прямое падение на- пряжения, в (не бо- лее)	Обратный ток при максимальном обрат- ном напряжении, ма	Диапазон рабо- чих темпера- тур, °С		Конструк- ция (по- мер ри- сунка)
		при +20° С	при макс- имальной рабо- чей темпера- туре			от	до	
Германиевые								
Д7А	0,3	50	25	0,5	0,1	-60	+70	IV.6, з
Д7Б	0,3	100	35	0,5	0,1			
Д7В	0,3	150	50	0,5	0,1			
Д7Г	0,3	200	65	0,5	0,1			
Д7Д	0,3	300	90	0,5	0,1			
Д7Е	0,3	350	110	0,5	0,1			
Д7Ж	0,3	400	130	0,5	0,1			
Д302	1	200	50	0,3	0,8	-55	+70	IV.7, б
Д302А	1	200	50	0,3	1,2			
Д303	3	150	50	0,35	1			
Д303А	3	150	50	0,35	1,2			
Д304	5	100	50	0,3	2			
Д305	10	50	50	0,35	2,5			
Кремневые								
Д202	0,4	100	100	1	0,5	-55	+85	IV.7, е
Д203	0,4	200	200	1	0,5			
Д204	0,4	300	300	1	0,5			
Д205	0,4	400	400	1	0,5			
Д206	0,1	100	100	1	0,1	-60	+120	IV.6, з
Д207	0,1	200	200	1	0,1			
Д208	0,1	300	300	1	0,1			
Д209	0,1	400	400	1	0,1			
Д210	0,1	500	500	1	0,1			
Д211	0,1	600	600	1	0,1			
Д214	5	100	100	1	3	-60	+130	IV.7, е
Д214А	10	100	100	1	3			
Д215	5	200	200	1	3			
Д215А	10	200	200	1	3			
Д217	0,1	800	800	0,7	0,15	-40	+100	IV.6, з
Д218	0,1	1000	1000	0,7	0,15			
Д226Б	0,3	400	300	1	0,3	-60	+80	IV.6, з
Д226В	0,3	300	200	1	0,3			
Д226Г	0,3	200	150	1	0,3			
Д226Д	0,3	100	70	1	0,3			
Д229В	0,4	100	100	1	0,5	-60	+120	IV.7, з
Д229Г	0,4	200	200	1	0,5			
Д229Д	0,4	300	300	1	0,5			
Д229Е	0,4	400	400	1	0,5			

Продолжение табл. IV.3

Тип	Максимальный вы- прямленный ток, а	Максимальное обратное напря- жение, в		Прямое падение на- пряжения, в (не бо- лее)	Обратный ток при максимальном обрат- ном напряжении*, ма	Диапазон рабо- чих темпера- тур, °С		Конструк- ция (но- мер ри- сунка)
		при +20° С	при макс. мальной рабо- чей темпера- туре			от	до	
Д231	10	300	300	1	3	-60	+130	IV.7, в
Д231А	10	300	300	1	3			
Д231Б	5	300	300	1,5	3			
Д232	10	400	400	1	3			
Д232А	10	400	400	1	3	-60	+130	IV.7, в
Д232Б	5	400	400	1,5	3			
Д233	10	500	500	1	3			
Д233Б	5	500	500	1,5	3			
Д234Б	5	600	600	1,5	3			
Д242	10	100	100	1,25	3	-60	+130	IV.7, в
Д242А	10	100	100	1,0	3			
Д242Б	5	100	100	1,5	3			
Д243	10	200	200	1,25	3			
Д243А	10	200	200	1,0	3			
Д243Б	5	200	200	1,5	3			
Д244	10	50	50	1,25	3			
Д244А	10	50	50	1,0	3			
Д244Б	5	50	50	1,5	3			
Д245	10	300	300	1,25	3			
Д245А	10	300	300	1,0	3			
Д245Б	5	300	300	1,5	3			
Д246	10	400	400	1,25	3			
Д246А	10	400	400	1,0	3			
Д246Б	5	400	400	1,5	3			
Д247	10	500	500	1,25	3			
Д247Б	5	500	500	1,5	3			
Д248Б	5	600	600	1,5	3			
Д1004	0,1	2000	2000	6	0,25	-40	+100	IV.8, а
Д1005 А	0,05	4000	4000	6	0,25			
Д1005Б	0,1	4000	4000	11	0,25			IV.8, б
Д1006	0,1	6000	6000	11	0,25			
Д1007	0,075	8000	8000	11	0,25			
Д1008	0,05	10000	10000	11	0,25			
Д1009	0,1	2000	2000	4	0,3	-40	+100	IV.8, в
Д1009А	0,1	1000	1000	3	0,3			IV.8, д

Продолжение табл. IV.3

Тип	Максимальный вы- прямленный ток, а	Максимальное обратное напря- жение, в		Прямое падение на- пряжения, в (не бо- лее)	Обратный ток при максимальном обра- том напряжении*, ма	Диапазон рабо- чих темпера- тур, °С		Конструк- ция (но- мер ри- сунка)
		при +20° С	при макс- имальной рабо- чей темпера- туре			от	до	
Д1010	0,3	2000	2000	8	0,3			IV.8, г
Д1010А	0,3	1000	1000	5	0,3	-40	+70	IV.8, е
Д1011А	0,3	500	500	2,5	0,3			IV.8, д
КЦ401А	0,4 0,3**	500	500	2,5	0,1	-55	+60	IV.8, ж
КЦ401Б	0,4	500	500	2,5	0,1			IV.8, и
КД102	0,1	250	250	1,2	0,0001	-60	+120	IV.6, и
КД202А	3	50	50	1	1	-60	+120	IV.7, а
КД202Б	1	50	50	1	1			
КД202В	3	100	100	1	1			
КД202Г	1	100	100	1	1			
КД202Д	3	200	200	1	1			
КД202Е	1	200	200	1	1			
КД202Ж	3	300	300	1	1			
КД202И	1	300	300	1	1	-60	+120	IV.7, а
КД202К	3	400	400	1	1			
КД202Л	1	400	400	1	1			
КД202М	3	500	500	1	1			
КД202Н	1	500	500	1	1			
КД202Р	3	600	600	1	1			
КД202С	1	600	600	1	1			

* При температуре +20° С для германиевых и при максимальной рабочей температуре для кремниевых диодов. ** В числителе — для плеча 1—3, в знаменателе — для плеча 2—3 (см. рис. IV.8, ж); остальные данные приведены для каждого плеча. Диоды типов Д231—Д234 и Д242—Д248 с дополнительной буквой П в конце обозначения (например, Д231АП) отличаются от диодов аналогичных марок полярностью внешних выводов (плюс — на корпусе диода).

Основные данные

Тип	Прямой ток, <i>ма</i> , при напряжении 1 в	Максимальный выпрямленный ток, <i>ма</i>	Максимальное обратное напряжение, в		Обратный ток, <i>ма</i> (при обратном напряжении, в)
			при +20° С	при максимальной рабочей температуре	
Германи					
Д2Б	5	16	30	30	100(10)
Д2В	9	25	40	40	250(30)
Д2Г	2	16	75	56	250(50)
Д2Е	4,5	16	100	75	250(100)
Д2Д	4,5	16	75	56	250(50)
Д2Ж	2	8	150	112	250(150)
Д2И	2	16	100	75	250(100)
Д9Б	90	40	10	10	250(10)
Д9В	10	20	30	20	250(30)
Д9Г	30	30	30	20	250(30)
Д9Д	60	30	30	20	250(30)
Д9Е	30	20	50	30	250(50)
Д9Ж	10	15	100	45	250(100)
Д9И	30	30	30	20	120(30)
Д9К	60	30	30	20	60(30)
Д9Л	30	15	100	45	250(100)
Д10	—	3*	10	—	100
Д10А	—	5*	10	—	200
Д10Б	—	8*	10	—	200
Д11	100	20	30	18	250(30)
Д12	50	20	50	30	250(50)
Д12А	100	20	50	30	250(50)
Д13	100	20	75	45	250(75)
Д14	30	20	100	60	250(100)
Д14А	100	20	100	60	250(100)
ГД402А	—	25	15	15	100(10)
ГД402Б	—	25	15	15	100(10)
Кр е					
Д101	2**	30	100	50	10(75)
Д101А	1	30	100	50	10(75)
Д102	2**	30	75	30	10(50)
Д102А	1	30	75	30	10(50)
Д103	2**	30	30	20	30(30)
Д103А	1	30	30	20	30(30)
Д104	2**	30	100	50	10(75)
Д104А	1	30	100	50	10(75)
Д105	2**	30	75	20	10(50)
Д105А	1	30	75	20	10(50)
Д106	2**	30	30	20	30(30)
Д106А	1	30	30	20	30(30)
Д223	50	50	50	50	1(50)
Д223А	50	50	100	100	1(100)
Д223Б	50	50	150	150	1(150)

Ток измерен при $I = 70$ Мгц. $U = 1,5$ в эфф. и $R_H = 0$. ** При $U = 2$ в.

Емкость диода, пф	Максимальная рабочая частота, Мгц	Диапазон рабочих температур, °С		Основное назначение	Конструкция (номер рисунка)
		от	до		

е в ы е

<1	150	-55	+60	Работа в качестве детекторов и в цепях АРУ приемников, детекторов и восстановителей постоянной составляющей, в схемах телевизоров, в кольцевых модуляторах и преобразователях частоты	IV.6, б
1-2	40	-55	+60	Работа в качестве детекторов в цепях АРУ приемников, видеодетекторов телевизоров, модуляторов и преобразователей в счетных схемах	IV.6, а IV.6, а
<1	150	-60	+70	Работа в широкополосных ограничителях и детекторных схемах	IV.6, б
<1	150	-60	+70	Работа в радио- и электротехнических устройствах на высоких частотах	IV.6, б
0,8 0,5	100	-55	+60	Работа в коммутационных и ограничительных схемах	IV.6, а

н и е в ы е

< 0,5	200	-55	+100	Работа в видеоканалах телевизоров и ЧМ и АМ приемников, в схемах АРУ и дискриминаторов	IV.6, б
< 0,6	600	-55	+100	Работа в измерительных устройствах и аппаратуре связи на частотах до 600 Мгц	IV.6, в
-	20	-55	+100	Работа в схемах электронных устройств на частотах до 20 Мгц	IV.6, в

Основные данные импульсы

Тип	Максимальный импульс тока, <i>мА</i> , при длительности 10 <i>мксек</i>	Выпрямленный ток, <i>мА</i>	Прямое импульсное напряжение на диоде, <i>в</i> , при токе 50 <i>мА</i> (не более)	Максимальное обратное напряжение, <i>в</i>
Германия				
Д18	50	16	5	20
Д20	50	16	1*	20
ГД507А	100	16	—	20
Д310	800	250	2,5	20
Д311	500	40	1,25	30
Д311А	600	80	1,0	30
Д311Б	250	20	1,5	30
Д312	500	50	1,25	100
Д312А	500	50	1,25	100
Д312Б	500	50	1,0	75
Кремни				
Д219А	500	50	2,5	70
Д219С	500	50	—	Подача обратного напряжения запрещается
Д220	500	50	3,75	50
Д220А	500	50	3,75	70
Д220Б	500	50	3,75	100
КД103А	2000	100	5	50
КД103Б	2000	100	5**	50
КД503А	200	20	2,5	30
КД503Б	200	20	3,5	30
КД504А	—	240	2***	40

* При токе 20 *мА*. ** При токе 2а. *** При токе 0,5 а.

Обратный ток, мкА (не более)	Время восстановления, мксек	Емкость, пф	Диапазон рабочих температур, °С		Конструкция (номер рисунка)
			от	до	
пневые					
50	0,1	0,5	-40	+60	IV.6, в
100	0,07	0,5	-40	+60	
50	0,1	0,8	-40	+60	IV.6, а
2	0,3	15	-55	+60	IV.6, в
100	0,05	1,5	-40	+60	IV.6, в
100	0,05	3			
100	0,05	2			
100	0,5	3	-40	+60	IV.6, в
100	0,5	3			
100	0,7	3			
евые					
1	0,5	15	-55	+100	IV.6, в
—	—	—	-60	+120	
1	0,5	15	-55	+100	
1	0,5	15	-55	+100	
1	0,5	15	-55	+100	
1	4	20	-55	+100	IV.6, а
1	4	20			
10	0,01	5	-40	+70	IV.6, а
10	0,01	2,5			
2	—	2	-55	+100	IV.6, в

Основные данные крем

Тип	Напряжение стабилизации, в	Максимальный ток стабилизации, ма	Дифференциальное сопротивление, ом	Температурный коэффициент напряжения, %/град
Д808	7—8,5	33	6	—
Д809	8—9,5	29	10	—
Д810	9—10,5	26	12	—
Д811	10—12	23	15	—
Д813	11,5—14	20	18	—
Д814А	7—8,5	40	6	0,07
Д814Б	8—9,5	36	10	0,08
Д814В	9—10,5	32	12	0,09
Д814Г	10—12	29	15	0,095
Д814Д	11,5—14	24	18	0,095
Д815И	4,7	1400	0,9	0,056
Д815А	5,6	1400	0,9	0,056
Д815Б	6,8	1150	1,2	0,062
Д815В	8,2	950	1,5	0,088
Д815Г	10	800	2,7	0,10
Д815Д	12	650	3	0,11
Д815Е	15	550	3,8	0,13
Д815Ж	18	450	4,5	0,14
Д816А	22	230	10	0,15
Д816Б	27	180	12	0,15
Д816В	33	150	15	0,15
Д816Г	39	130	18	0,15
Д816Д	47	110	22	0,15
Д817А	56	90	52	0,18
Д817Б	68	75	60	0,18
Д817В	82	60	67	0,18
Д817Г	100	50	75	0,18
КС620А	120	42	150	0,2
КС630А	130	38	180	0,2
КС650А	150	33	255	0,2
КС680А	180	28	330	0,2
Д818А	9	33	25	+0,02
Д818Б	9	33	25	-0,02
Д818В	9	33	25	±0,01
Д818Г	9	33	25	±0,005
Д818Д	9	33	25	±0,002
Д818Е	9	33	25	±0,001
КС133А	3,3	81	65	—
КС139А	3,9	70	60	—
КС147А	4,7	58	56	—
КС156А	5,6	55	46	0,05
КС168А	6,8	45	28	0,06

Примечание. Стабилитроны серий Д815—Д817 и КС620—КС680 с до-
 полнительностью выводов (минус на корпусе при прямом включении).

Максимальный прямой ток, <i>a</i>	Максимальная допустимая мощность, <i>вт</i>	Диапазон рабочих температур, °C		Конструкция (номер рисунка)
		от	до	
—	0,28	—55	+100	IV.6, <i>д</i>
0,1	0,34	—55	+100	IV.6, <i>д</i>
1	8	—60	+100	IV.7, <i>а</i>
1	5	—60	+100	IV.7, <i>а</i>
1	5	—60	+100	IV.7, <i>а</i>
—	0,3	—55	+100	IV.6, <i>д</i>
—	0,3	—55	+100	VI.6, <i>д</i>
—	0,3	—55	+100	VI.6, <i>д</i>

полнительной буквой П в конце обозначения (например, Д817АП) отличаются обратной

Основные данные

Тип	Номинальная емкость, пф (при напряжении 4 в)	Максимальное обратное напряжение, в	Коэффициент перекрытия по емкости	Добротность на частоте 50 Мгц (не менее)
Д901А	22—32	80	4	25
Д901Б	22—32	45	3	30
Д901В	28—38	80	4	25
Д901Г	28—38	45	3	30
Д901Д	34—44	80	4	25
Д901Е	34—44	45	3	30
Д902	6—12	25	—	30

Основные данные управляемых

Тип	Напряжение переключения, в	Ток выключения, ма (не более)	Ток утечки, ма (не более)	Остаточное напряжение, в (не более)	Максимальное обратное напряжение, в	Обратный ток, ма (не более)	Максимальный постоянный ток, а
КУ101А	50	2—25	0,3	2,5	10	—	0,075
КУ101Б	50	0,5—8	0,3	2,5	50		
КУ101Г	80	0,5—8	0,3	2,5	80		
КУ101Е	150	0,5—8	0,3	2,5	150		
КУ201А	25		5	2	Не нормир.		
КУ201Б	25		5	2	25		
КУ201В	50		5	2	Не нормир.		
КУ201Г	50		5	2	50		
КУ201Д	100		5	2	Не нормир.		
КУ201Е	100		5	2	100		
КУ201Ж	200		5	2	Не нормир.		
КУ201И	200		5	2	200		
КУ201К	300		5	2	Не нормир.		
КУ201Л	300		5	2	300		

Режим Б характеризуется наличием внешнего источника напряжения. В темноте через фотодиод течет темновой ток, который зависит от напряжения источника. При освещении фотодиода появляется фототок, который возрастает примерно пропорционально освещенности. Темновое сопротивление увеличивается с ростом приложенного напряжения и резко уменьшается с увеличением температуры. Световое сопротивление при постоянных освещенности и температуре с ростом напряжения увеличивается, а при увеличении освещенности уменьшается. Внутренние шумы фотодиода в режиме Б значительно выше, чем в режиме А.

Основные параметры. Темновой ток — ток через затемненный диод при рабочем напряжении.

Фототок — ток через освещенный диод при рабочем напряжении.

Интегральная чувствительность — отношение величин тока через

Таблица IV.7

кремниевых варикапов

Температурный коэффициент емкости, %/град (не более)	Обратный ток, $\mu\text{а}$ (не более)	Максимальная мощность, вт	Диапазон рабочих температур, $^{\circ}\text{C}$		Конструкция (номер рисунка)
			от	до	
0,05	1	250	-55	+85	IV.6, <i>е</i>
0,05	10	—	-40	+100	IV.6, <i>в</i>

Таблица IV.8

переключающих диодов

Максимальный импульсный ток, а , при $\tau_i = 10 \text{ мксек}$	Время включения, мксек (не более)	Время выключения, мксек (не более)	Ток управления, ма (не более)	Максимальная мощность, вт	Диапазон рабочих температур, $^{\circ}\text{C}$		Конструкция (номер рисунка)
					от	до	
1	2	35	15	0,15	-55	+85	IV.6, <i>ж</i>
10	2	35	200	4	-60	+100	IV.7, <i>д</i>

диод при рабочем напряжении к падающему на фотодиод световому потоку.

Назначение фотодиодов — чувствительные элементы в схемах телеконтроля, автоматических устройств, в фототелеграфии, кинематографии и др. Основные данные фотодиодов приведены в табл. IV.10.

Рекомендации по применению диодов. 1. При монтаже изгибать выводы диодов необходимо на расстоянии, не меньшем 10 мм от корпуса, в специальных зажимах (если нет других указаний). 2. Пайка должна производиться на расстоянии не менее 10 мм от корпуса. Температура плавления припоя не должна превышать 260°C (например, припой ПОС-40). При этом необходимо установить теплоотвод между местом пайки и корпусом диода. Время пайки должно быть минимальным (2—3 сек). 3. Располагать диоды следует возможно дальше от элементов с большим тепловыделением (электронные лампы, силовые трансформаторы и т. д.).

Основные данные

Тип	Ток пика, μA	Отношение тока пика к току впадины	Напряжение пика, B
Герма			
ГИ302А	1,7—2,3	4,5	0,06
ГИ302Б	4,3—5,8	4,5	0,06
ГИ302В	8,5—11,5	4,5	0,06
ГИ302Г	13—17	4,5	0,06
ГИ304А	4,5—5,1	5	0,075
ГИ304Б	4,9—5,5	5	0,075
ГИ305А	9,1—10	5	0,085
ГИ305Б	9,8—11	5	0,085
Арсенид-			
АИ101А	$1 \pm 0,25$	5	0,16
АИ101Б	$1 \pm 0,25$	5	0,16
АИ101В	$2 \pm 0,3$	6	0,16
АИ101Д	$2 \pm 0,3$	6	0,16
АИ101Е	$5 \pm 0,5$	6	0,18
АИ101И	$5 \pm 0,5$	6	0,18
АИ201А	10 ± 1	10	0,18
АИ201В	10 ± 1	10	0,18
АИ201Г	20 ± 2	10	0,2
АИ201Е	20 ± 2	10	0,2
АИ201Ж	50 ± 5	10	0,26
АИ201И	50 ± 5	10	0,26
АИ201К	100 ± 10	10	0,33
АИ201Л	100 ± 10	10	0,33
АИ301А	2	8	0,18
АИ301Б	5	8	0,18
АИ301В	5	8	0,18
АИ301Г	10	8	0,18

Фото

Тип	Рабочее напряжение, B	Темновой ток при рабочем напряжении, μKA	Интегральная чувствительность, mA/LM	Наибольшее значение тока при освещении, μKA	Постоянная времени, сек
ФД-1	15	30	20	800	$1 \cdot 10^{-3}$
ФД-2	30	25	10—20	—	$1 \cdot 10^{-3}$
ФД-3	10	15	20	250	$1 \cdot 10^{-3}$
ФДК-1	20	3	3	—	$1 \cdot 10^{-3}$

Таблица IV.9

туннельных диодов

Напряжение раствора, <i>мв</i>	Емкость, <i>пф</i>	Диапазон рабочих температур, °C		Конструкция (номер рисунка)
		от	до	
индиевые				
—	80	-60	+70	IV.6, <i>к</i>
—	150			
—	180			
—	120			
440	20	-60	+70	IV.6, <i>л</i>
440	20			
450	30			
450	30			
галлиевые				
—	4	-60	+85	IV.6, <i>м</i>
—	2—8			
—	5			
—	2,5—10			
—	8			
—	4,5—13			
—	8	-60	+85	IV.6, <i>м</i>
—	15			
—	10			
—	20			
—	15			
—	30			
—	20			
—	50			
0,65	12	-60	+70	IV.6, <i>м</i>
0,85—1,15	25			
1,0—1,3	25			
0,8	50			

Таблица IV.10

диоды

Напряжение шумов, <i>мв</i>	Максимальное значение рабочего напряжения, <i>в</i>	Максимальная рассеиваемая мощность, <i>вт</i>	Диапазон рабочих температур, °C		Конструкция (номер рисунка)
			от	до	
—	20	15	-5	+40	IV.9, <i>а</i>
—	50	15	-5	+40	IV.9, <i>б</i>
0,5	20	—	—	—	IV.9, <i>в</i>
—	—	—	—	—	IV.9, <i>г</i>

4. Для нормальной работы мощных выпрямительных диодов следует предусмотреть дополнительные теплоотводы в виде металлических пластин (из красной меди или алюминия), металлических шасси, специальных радиаторов. Площадь теплоотводящей пластины, $см^2$, следует выбирать в соответствии со следующими рекомендациями:

При токе, а	Д231—Д233 (+25° С)	Д242—Д248 (+125° С)	Д302—Д305 (+25° С)
1	—	—	—
2	10	50	25
5	25	160	50
10	50	200	200

Толщина радиатора должна быть не менее 3 мм.

У диодов некоторых типов максимальный выпрямленный ток при максимальной рабочей температуре снижается. Величина снижения тока указывается в соответствующих технических условиях.

5. Не рекомендуется располагать диоды ни в постоянных, ни в переменных сильных магнитных полях.

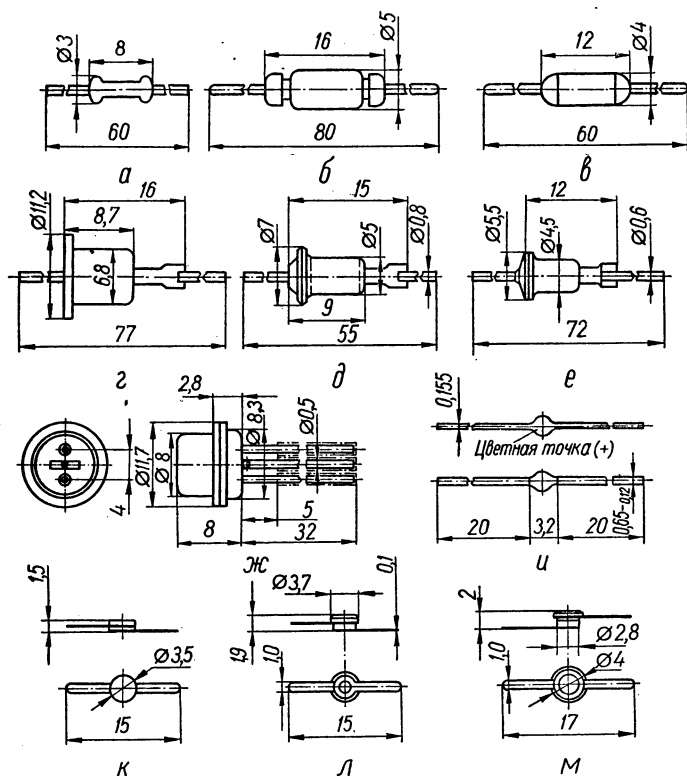


Рис. IV.6. Маломощные полупроводниковые диоды.

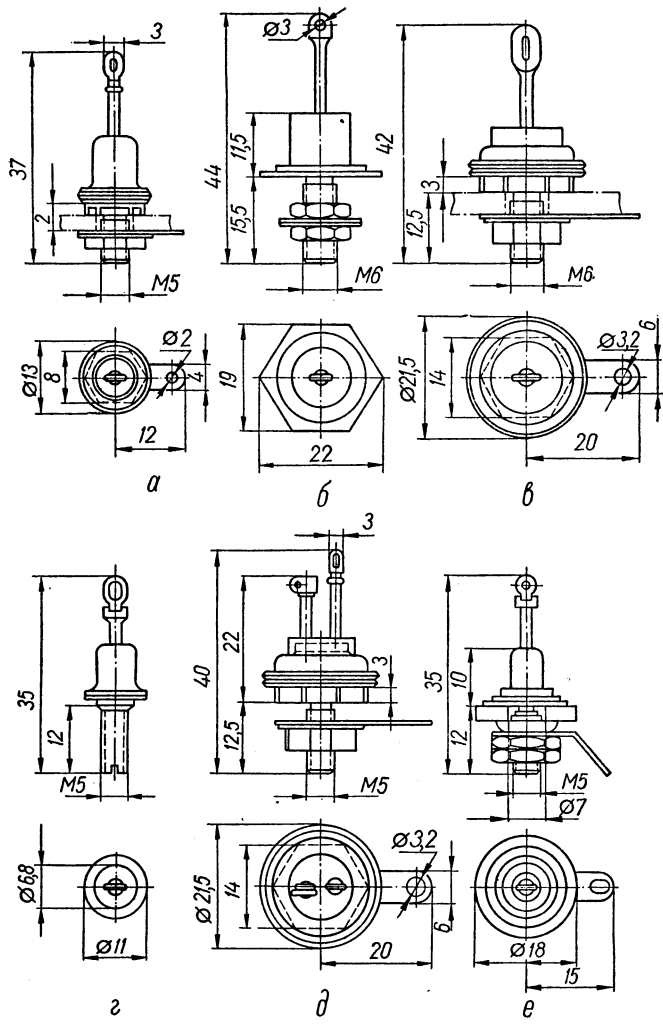


Рис. IV.7. Мощные полупроводниковые диоды.

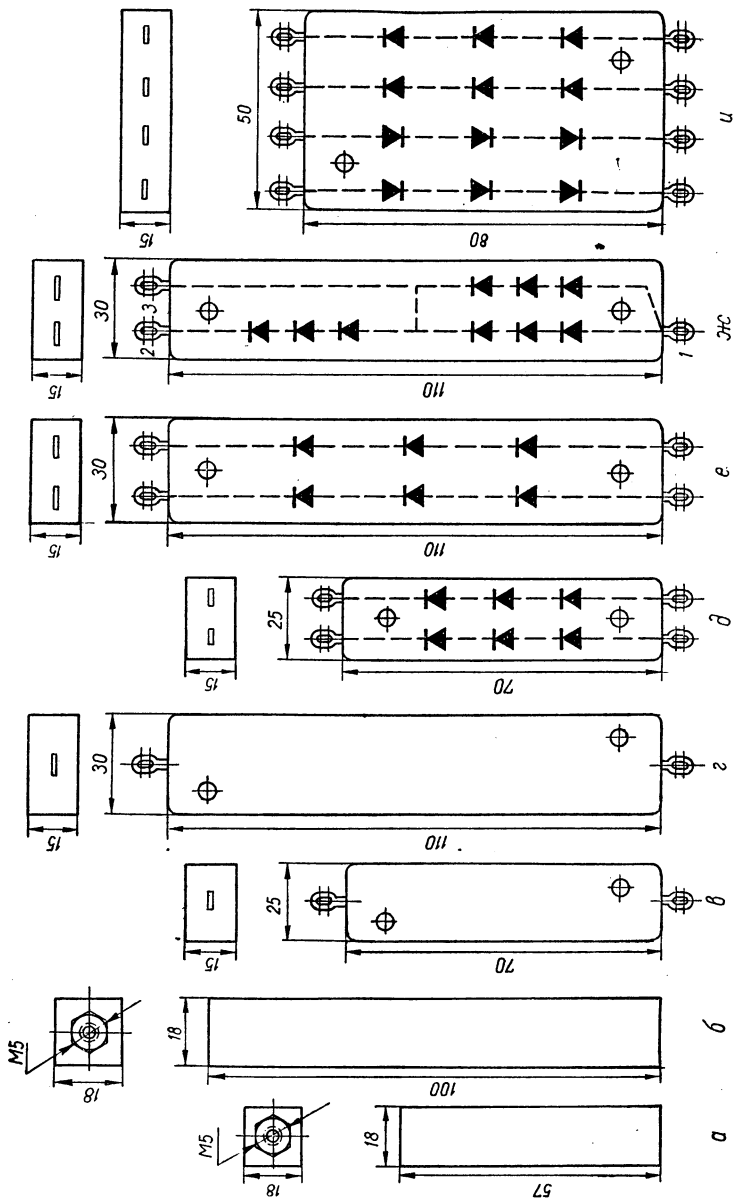


Рис. IV.8. Высоковольтные выпрямительные столбы и блоки.

6. Для повышения надежности не следует использовать диоды в предельных режимах. Рекомендуется ограничивать рабочие токи и напряжения величиной, не превышающей 0,7 предельных величин.

7. При параллельном соединении диодов последовательно с каждым диодом необходимо включать сопротивление (до 10 ом в зависимости от типа диода). При последовательном соединении диодов их необходимо шунтировать сопротивлениями (50—100 ком на каждые 100 в обратного напряжения) или выравнивающими емкостями.

8. Расчет схемы с использованием диодов необходимо производить с учетом максимально возможных изменений параметров в рабочем диапазоне температур и дрейфа параметров в процессе эксплуатации и хранения.

Т а б л и ц а IV.11

Критерий сохранения работоспособности диодов при изменении их параметров

Параметры	Критерий годности (сохранения работоспособности) диодов
Постоянное прямое напряжение Постоянный обратный ток Время восстановления обратного сопротивления Напряжение стабилизации Дифференциальное сопротивление	$U_{пр} < 1,5U_{пр(с)}$ $I_{обр} < 5I_{обр(с)}$ $t_{восст} < 1,5t_{восст(с)}$ $U_{ст} < U_{ст(с)} \pm 10\%$ $R_d < 1,5R_{d(с)}$

Пр и м е ч а н и е. Буква (с) означает стандартную норму по техническим условиям.

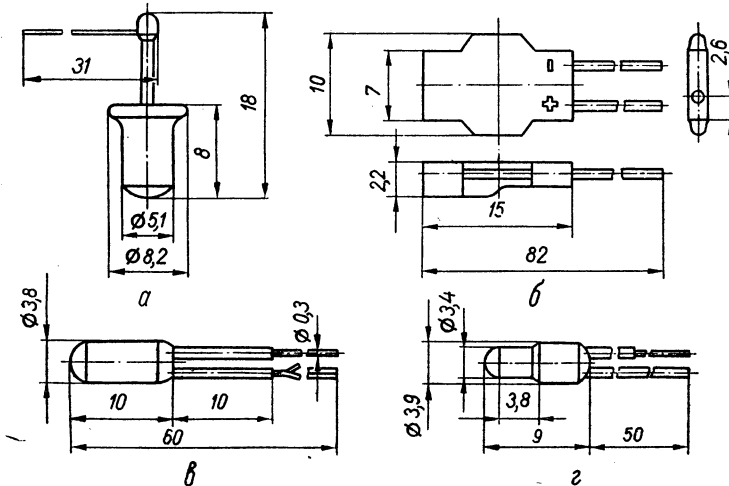


Рис. IV.9. Фотодиоды.

В табл. IV.11 приведены критерии сохранения работоспособности диодов при изменении их параметров. Правильно рассчитанная схема должна оставаться работоспособной при изменении параметров диодов в указанном интервале.

На рис. IV.6 — IV.10 приведены конструкции и обозначение диодов различных типов.

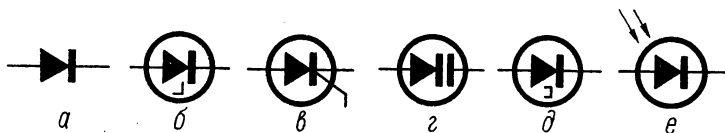


Рис. IV.10. Графические обозначения полупроводниковых диодов: а — диод полупроводниковый; б — опорный диод; в — управляемый переключающий диод; г — варикап; д — туннельный диод; е — фотодиод.

§ 2. Транзисторы

Классификация. По исходному материалу транзисторы делят на две основные группы: германиевые и кремниевые. Германиевые транзисторы могут работать в диапазоне температур от -60 до $70-85^{\circ}\text{C}$, кремниевые — от -50 до $120-150^{\circ}\text{C}$. По диапазону рабочих частот их делят на транзисторы низких, средних и высоких частот. По мощности различают классы транзисторов малой, средней и большой мощности. Транзисторы малой мощности могут быть разделены на шесть групп: усилители низких и высоких частот, малошумящие усилители, переключатели насыщенные, ненасыщенные и малотоковые (прерыватели). Транзисторы большой мощности подразделяют на три группы: усилители, генераторы, переключатели. Каждая группа характеризуется специфическими параметрами.

Т а б л и ц а IV.12

Второй элемент маркировки транзисторов, разработанных до 1964 г.

Частота, Мгц	До 5 (низкочастотные)		Более 5 (высокочастотные)	
	До 0,25 (малая)	Более 0,25 (большая)	До 0,25 (малая)	Более 0,25 (большая)
Германиевые	1—99	201—299	401—499	601—699
Кремниевые	101—199	301—399	501—599	701—799

Маркировка. В настоящее время действуют старая и новая системы маркировки транзисторов. Обозначение типов транзисторов, разработанных до 1964 г., состоит из трех элементов: первый — буква П (полупроводниковый триод, транзистор), второй — цифра (порядковый номер разработки в соответствии с табл. IV.12), третий — буква, соответствующая разновидности транзистора данного типа.

Обозначение типов транзисторов, разработанных в 1964 г. и позднее, состоит из четырех элементов: первый — буква, обозначающая материал, на основе которого выполнен транзистор (Г или I — герма-

ний, К или 2 — кремний), второй — буква Т (транзистор), третий — цифра (порядковый номер разработки в соответствии с табл. IV.13), четвертый — буква, соответствующая разновидности транзистора данного типа. Исключения составляют модернизованные транзисторы МП.

В табл. IV.14 приведены основные параметры транзисторов.

Параметры постоянного тока характеризуют величины неуправляемых токов транзистора, связанных с обратными токами переходов.

Т а б л и ц а IV.13

Третий элемент маркировки транзисторов, разработанных в 1964 г. и позднее

Мощность рассеивания, вт	Частота до 9 Мгц (низкочастотные)	Частота до 30 Мгц (среднечастотные)	Частота свыше 30 Мгц (высокочастотные)
До 0,3 (малая)	101—199	201—299	301—399
До 1,5 (средняя)	401—499	501—599	601—699
Более 1,5 (большая)	701—799	801—899	901—999

Т а б л и ц а IV.14

Основные параметры транзисторов *

Справочник		Технические условия	
Обозначение	Величина	Обозначение	Величина
$I_{к. 60}$	Начальный ток коллекторного перехода	$I_{к. о}$	Обратный ток коллекторного перехода
$I_{э. 60}$	Начальный ток эмиттерного перехода	$I_{э. о}$	Обратный ток эмиттерного перехода
$I_{к. э. к}$	Начальный ток короткого замыкания	$I_{к. н}$	Начальный ток коллекторного перехода
$U_{к. б. о}$	Максимально допустимое напряжение коллектор — база	$U_{к. б. макс}$	Максимально допустимое напряжение коллектор — база
$U_{э. б. о}$	Максимально допустимое напряжение эмиттер — база	$U_{э. б. макс}$	Максимально допустимое напряжение эмиттер — база
$U_{к. э. о}$	Максимально допустимое напряжение коллектор — эмиттер при холостом ходе в цепи базы	U_a	Напряжение коллектор — база, при котором происходит переворот фазы базового тока
$I_{к. э. в}$	Ток закрытого транзистора	$I_{к. з}$	Ток закрытого транзистора
P_m	Максимально допустимая постоянная мощность, рассеиваемая транзистором	P_k	Постоянная мощность, рассеиваемая транзистором
$t'_{бСк}$	Постоянная времени цепи коллектора	$t'_{бСк}$	Постоянная времени обратной связи
$h_{21б}$	Коэффициент передачи по току в схеме с общей базой	α	Коэффициент передачи по току в схеме с общей базой
$h_{21э}$	Коэффициент передачи по току в схеме с общим эмиттером на малом сигнале	β	Коэффициент усиления по току в схеме с общим эмиттером
$h_{21э}$	Коэффициент усиления по току в схеме с общим эмиттером на большом сигнале	$V_{ст}$	Статический коэффициент усиления

* Некоторые величины, их обозначения и определения, приводимые в справочнике, отличаются от принятых в технических условиях на транзисторы.

Начальный ток коллекторного перехода $I_{к.60}$ — ток через обратно смещенный переход коллектор — база при отключенном эмиттере и заданном напряжении на коллекторе (рис. IV.11).

Начальный ток эмиттерного перехода $I_{э.60}$ — ток через обратно смещенный переход эмиттер — база при отключенном коллекторе и заданном напряжении на эмиттере (рис. IV.12).

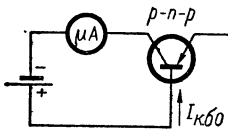


Рис. IV.11. Схема измерения начального тока коллекторного перехода.

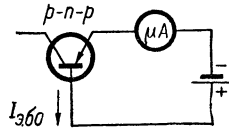


Рис. IV.12. Схема измерения начального тока эмиттерного перехода.

Оба тока зависят от температуры, и поэтому их называют температурными, или неуправляемыми, токами. Ниже приведены зависимости начальных токов от температуры переходов:

$$I_{к.60} = I_{к.60}^{25} e^{k_1 (T_{п} - 25)};$$

$$I_{э.60} = I_{э.60}^{25} e^{k_1 (T_{п} - 25)},$$

где $I_{к.60}^{25}$, $I_{э.60}^{25}$ — начальные токи коллекторного и эмиттерного переходов при температуре 25° С; $T_{п}$ — температура перехода, ° С; k_1 — составляет 6—9 %/град для германия и 8—12 %/град для кремния.

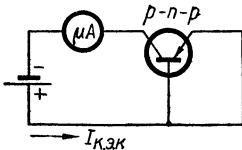


Рис. IV.13. Схема измерения тока короткого замыкания.

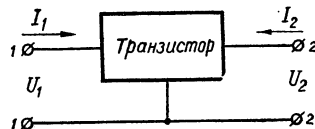


Рис. IV.14. Схема четырех-полосника, эквивалентного транзистору.

Эта зависимость может быть нарушена из-за наличия тока поверхностной утечки, особенно при низких температурах, когда объемные токи $I_{к.60}$, $I_{э.60}$ малы, и при больших напряжениях, когда поверхностный ток достаточно велик. Начальные токи кремниевых транзисторов примерно на порядок ниже начальных токов германиевых транзисторов. Начальный ток коллекторного перехода $I_{к.60}$ является основным дестабилизирующим фактором режима транзистора в реальных схемах.

Начальный ток короткого замыкания $I_{к.э.к}$ — ток в цепи коллектор—эмиттер при замкнутых эмиттере и базе и заданном напряжении на коллекторе (рис. IV.13).

Малосигнальные параметры характеризуют работу транзистора при воздействии малого сигнала. Малым следует считать сигнал, увеличение амплитуды которого на 50% увеличивает измеряемый параметр на малую величину соответственно заданной степени точности. Обычно это увеличение не должно превышать 10%. При этом можно рассматривать транзистор как линейную систему, что облегчает расчет большого класса схем. При воздействии малого сигнала транзистор рассматривают как линейный активный несимметричный четырехполюсник (рис. IV.14). Этот четырехполюсник имеет ту особенность, что у него всегда один из зажимов является общим для цепей входа и выхода. В зависимости от того, какой из электродов транзистора подключен к общему зажиму, различают схемы с общей базой (ОБ), общим эмиттером (ОЭ) и общим коллектором (ОК). Варианты схем включения транзистора приведены на рис. IV.15.

К малосигнальным относятся h -параметры (преимущественно для низких частот) и y -параметры (преимущественно для высоких частот),

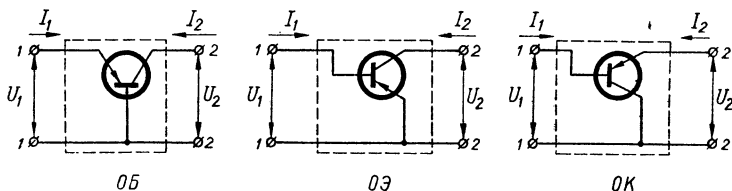


Рис. IV.15. Схемы включения транзистора:

ОБ — с общей базой; ОЭ — с общим эмиттером; ОК — с общим коллектором.

параметры схемы замещения транзистора, предельные и граничные частоты и коэффициент шумов.

В соответствии с теорией четырехполюсников входные и выходные напряжения и токи (U_1 , I_1 и U_2 , I_2) однозначно связаны между собой системой двух уравнений, содержащей четыре параметра четырехполюсника.

Система h -параметров получила наиболее широкое распространение. Она удобна, так как требует воспроизведения холостого хода на входе ($I_1 = 0$) и короткого замыкания на выходе ($U_2 = 0$), что легко осуществимо при измерениях. Уравнения четырехполюсника в этой системе параметров имеют вид:

$$\begin{aligned} U_1 &= h_{11}I_1 + h_{12}U_2; \\ I_2 &= h_{21}I_1 + h_{22}U_2. \end{aligned}$$

Физический смысл h -параметров определяют следующим образом:

$h_{11} = \frac{U_1}{I_1}$ — входное сопротивление транзистора при короткозамкнутом выходе ($U_2 = 0$);

$h_{12} = \frac{U_1}{U_2}$ — коэффициент обратной связи по напряжению при разомкнутом по переменному току входе ($I_1 = 0$);

$h_{21} = \frac{I_2}{I_1}$ — коэффициент передачи тока при короткозамкнутом выходе ($U_2 = 0$);

$h_{22} = \frac{I_2}{U_2}$ — выходная проводимость при разомкнутом по переменному току входе ($I_1 = 0$).

Измерение h -параметров может производиться в трех схемах включения транзистора (ОБ, ОЭ, ОК). Величины h -параметров зависят как от свойств транзисторов, так и от схемы их включения. Связь между h -параметрами в трех схемах включения определяется следующими формулами:

$$\begin{aligned} h_{11б} &= \frac{h_{11э}}{1 + h_{21э}}, & h_{11к} &= h_{11э}, \\ h_{12б} &= \frac{h_{11э}h_{22э}}{1 + h_{21э}}, & h_{12к} &= \frac{1}{1 + h_{12э}}, \\ h_{21б} &= -\frac{h_{11э}}{1 + h_{21э}}, & h_{21к} &= -(1 + h_{21э}), \\ h_{22б} &= \frac{h_{22э}}{1 + h_{21э}}, & h_{22к} &= h_{22э}. \end{aligned}$$

Для наиболее часто используемых параметров (коэффициенты усиления по току в схемах с ОБ и ОЭ) приняты особые обозначения:

$$h_{21б} = -\alpha, \quad h_{21э} = \beta.$$

Зависимость между α и β определяется следующим выражением:

$$\beta = \frac{\alpha}{1 - \alpha}.$$

Так как малосигнальные параметры измеряются на низкой частоте (в основном 270 и 1000 $\mu\text{ц}$), то все h -параметры являются действительными величинами.

Система y -параметров используется преимущественно при расчете работы транзисторов на высоких частотах. По способу определения y -параметры являются параметрами короткого замыкания,

$$\begin{aligned} I_1 &= y_{11}U_1 + y_{22}U_2, \\ I_2 &= y_{21}U_1 + y_{12}U_2. \end{aligned}$$

Связь между h - и y -параметрами выражается следующими формулами:

$$\begin{aligned} h_{11} &= \frac{1}{y_{11}}, & y_{11} &= \frac{1}{h_{11}}, \\ h_{12} &= -\frac{y_{12}}{y_{11}}, & y_{12} &= -\frac{h_{12}}{h_{21}}, \\ h_{21} &= \frac{y_{21}}{y_{11}}, & y_{21} &= \frac{h_{21}}{h_{11}}, \\ h_{22} &= y_{22} - \frac{y_{12}y_{21}}{y_{11}}, & y_{22} &= h_{22} - \frac{h_{12}h_{21}}{h_{11}}. \end{aligned}$$

Высокочастотные параметры характеризуют работу транзисторов на высоких частотах. Предельные частоты определяются по значению параметра, соответствующему пределу, выше которого транзистор не может быть использован как усилительный элемент.

Предельная частота f_T коэффициента усиления по току в схеме с общим эмиттером определяется значением частоты, при которой модуль $h_{21э} = 1$.

Предельная частота $f_{\text{макс}}$ коэффициента усиления по мощности определяется значением частоты, при которой усиление транзистора по мощности становится равным единице.

Предельная частота $f_{\text{ш}}$ коэффициента шумов определяется значением частоты, выше которой начинается резкое возрастание уровня внутренних шумов транзистора.

Частоты $f_{\text{макс}}$ и $f_{\text{ш}}$ могут быть определены по значению предельной частоты f_T по следующим формулам:

$$f_{\text{макс}} = \sqrt{\frac{f_T}{8\pi r'_0 C_K}},$$

$$f_{\text{ш}} = \frac{f_T}{\sqrt{h_{21э}}}.$$

Граничные частоты определяются по значению параметра, который уменьшился с частотой до определенной величины, по сравнению с его первоначальной (низкочастотной) величиной.

Граничная частота $f_{h_{21б}}$ коэффициента передачи по току в схеме с общей базой определяется значением частоты, при которой коэффициент усиления по току ($h_{21б}$) уменьшился в 1,41 раза по сравнению с его значением, измеренным на низкой частоте.

Граничная частота $f_{h_{21э}}$ коэффициента передачи по току в схеме с общим эмиттером определяется значением частоты, при которой коэффициент усиления по току ($h_{21э}$) уменьшился в 1,41 раза по сравнению с его значением, измеренным на низкой частоте.

Граничные частоты $f_{h_{21б}}$ и $f_{h_{21э}}$ могут быть определены по значению предельной частоты f_T по следующим формулам:

$$f_{h_{21б}} = m f_T,$$

$$f_{h_{21э}} = \frac{f_T}{1 + h_{21э}},$$

где $m = 1,2-1,6$.

На частотах, не превышающих граничные, абсолютные значения коэффициентов усиления по току могут быть определены по следующим формулам:

$$h_{21б} = \frac{h_{21б0}}{\sqrt{1 + \left(\frac{f}{f_{h_{21б}}}\right)^2}},$$

$$h_{21э} = \frac{h_{21э0}}{\sqrt{1 + \left(\frac{f}{f_{h_{21э}}}\right)^2}},$$

где $h_{21б0}$, $h_{21э0}$ — коэффициенты усиления по току, измеренные на низкой частоте; f — рабочая частота.

Граничные частоты указывают область, в которой можно считать, что малосигнальные параметры транзистора соответствуют с достаточным приближением значениям, измеренным на низкой частоте.

Емкость коллекторного перехода C_k — это емкость, измеренная между обратным смещенным переходом коллектор — база при отключенном эмиттере и заданном напряжении на коллекторе. C_k возрастает с увеличением $U_{к.б.}$

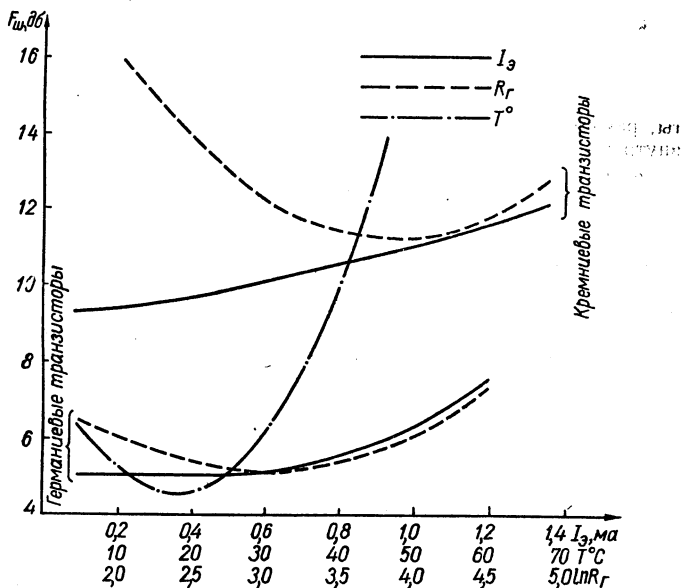


Рис. IV.16. Усредненные зависимости коэффициента шума от тока эмиттера, температуры окружающей среды и выходного сопротивления источника сигнала.

Емкость эмиттерного перехода $C_э$ — это емкость, измеренная между обратным смещенным переходом эмиттер — база транзистора при отключенном коллекторе и заданном напряжении на эмиттере.

Высокочастотное сопротивление базы $r'_б$ — это предел, к которому стремится сопротивление между базой и эмиттером на достаточно высокой частоте. Величина $r'_б$ определяется путем измерения на достаточно высокой частоте входного сопротивления $h_{11э}$:

$$r'_б = |h_{11э}|.$$

Постоянная времени коллекторной цепи $r'_б C_k$ характеризует качество транзистора как высокочастотного элемента. Эта величина входит в выражения для всех y -параметров, которые при необходимости с ее помощью могут быть рассчитаны. В справочнике приводятся C_k , $C_э$, $r'_б C_k$, измеренные при определенном режиме.

У транзисторов некоторых типов вместо граничной частоты коэффициента усиления по току указывается максимальная частота генерации f_{Γ} (максимальная частота возбуждения генератора, собранного на данном транзисторе). Она связана с высокочастотными параметрами транзистора следующим выражением:

$$f_{\Gamma} \approx 180 \sqrt{\frac{f_{h216}}{r_{б6}' C_{к}}} \text{ МГц.}$$

Коэффициент шума транзистора $F_{ш}$ показывает, во сколько раз уменьшается отношение сигнал/шум при усилении сигнала данным транзистором. $F_{ш}$ обычно приводится в децибеллах. Коэффициент шума существенно зависит от частоты, режима транзистора ($U_{к}$, $I_{э}$), внутреннего сопротивления источника сигнала и температуры. В справочнике приводятся гарантируемые максимальные значения $F_{ш}$ в определенном, не наивыгоднейшем, режиме и только для малошумящих транзисторов. Для получения минимальных шумов важнейшее значение имеет отыскание наивыгоднейшего режима по току и напряжению при оптимальном сопротивлении источника сигнала. На рис. IV.16 приведены усредненные зависимости $F_{ш}$ от тока, температуры и сопротивления источника для германиевых и кремниевых транзисторов, а на рис. IV.17 — зависимости $F_{ш}$ от частоты. Уровень собственных шумов транзисторов сравнительно высок. Для обеспечения работы усилителя в «малошумящем» режиме необходимо, чтобы первые каскады его использовались при малых токах эмиттера (0,1—0,5 мА) и небольшом напряжении на коллекторе (0,5—2,5 в), а также была по возможности сужена полоса рабочих частот.

Параметры большого сигнала характеризуют работу транзистора при изменениях токов и напряжений в широких пределах.

Коэффициент усиления по току в схеме с общим эмиттером при большом сигнале $h_{21Э}$ определяет свойства транзистора как усилителя и переключателя

$$h_{21Э} = \frac{I_{к} - I_{к.60}}{I_{б} + I_{к.60}},$$

где $I_{к}$ — ток коллектора, $I_{б}$ — ток базы.

Крутизна переходной вольтамперной характеристики $y_{21Э}$ определяется как отношение тока коллектора к напряжению на входе транзистора

$$y_{21Э} = \frac{I_{к} - I_{к.60}}{U_{э.б}},$$

где $U_{э.б}$ — напряжение на входе транзистора в схеме с общим эмиттером.

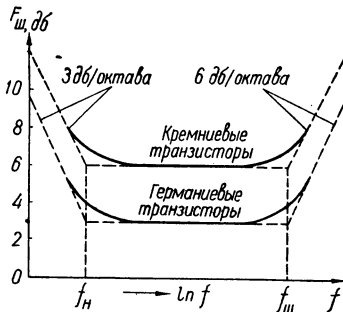


Рис. IV.17. Зависимость коэффициента шума транзистора от частоты.

Крутизна переходной вольтамперной характеристики используется для расчета схем с генератором напряжения на входе (например, в мощных усилительных каскадах) и почти не зависит от схемы включения транзистора.

Предельные параметры ограничивают область допустимых режимов работы транзисторов. Превышение предельных параметров приводит к резкому снижению надежности работы транзисторов.

Максимальная мощность P_m — значение предельной мощности, рассеиваемой транзистором, при котором обеспечивается заданная надежность при длительной работе.

Максимальная импульсная мощность P_M — значение предельной импульсной мощности, рассеиваемой транзистором, при котором обеспечивается заданная надежность. Величина P_M зависит от длительности импульсов, их скважности и формы.

Максимальный постоянный ток коллектора $I_{км}$ ограничивается максимальной мощностью P_m (максимальной температурой перехода) и может быть определен по формуле

$$I_{км} = \frac{P_m}{U_k},$$

где U_k — напряжение между коллектором и базой ($U_{к.б.}$) или коллектором и эмиттером ($U_{к.э.}$).

Максимальный импульсный ток коллектора $I_{к.м}$ определяется допустимым разогревом отдельных участков перехода и снижением коэффициента усиления по току ($h_{21э}$).

Максимальное обратное напряжение коллектор — база $U_{к.б.о}$ — напряжение между коллектором и базой при $I_э = 0$, при котором обеспечивается заданная надежность. Этот параметр используется для расчета режима работы закрытого транзистора или при включении его по схеме с общей базой.

Максимальное обратное напряжение эмиттер — база $U_{э.б.о}$ используется для расчета режима работы транзистора в схемах, где на входе действует запирающее напряжение (различные импульсные схемы, усилители в режиме В).

Максимально допустимое напряжение коллектор — эмиттер $U_{к.э.о}$ ($U_{к.э.Р}$) — значение предельного напряжения между коллектором и эмиттером при $I_б = 0$ ($U_{к.э.Р}$ при наличии сопротивления в цепи базы). Значение $U_{к.э.о}$ существенно зависит от тока коллектора и может быть определено по формуле

$$U_{к.э.о} = \frac{U_{к.б.о}}{\sqrt[n]{h_{21э}}},$$

где $n = 3$ для кремниевых и $p-n-p$ -германиевых транзисторов; $n = 5$ для $n-p-n$ -германиевых транзисторов. Значение $U_{к.э.Р}$ зависит от величины сопротивления в цепи базы и может быть определено по формуле

$$U_{к.э.Р} = \frac{U_{к.б.о}}{\sqrt[n]{S_n}},$$

где S_n — коэффициент нестабильности схемы.

В справочных данных приводятся значения $U_{к.б.о}$, $U_{э.б.о}$, $U_{к.э.о}$ или $U_{к.э.Р}$ для определенных температур перехода и диапазонов темпера-

тур окружающей среды. При повышении температуры эти напряжения снижаются.

Тепловые параметры транзисторов характеризуют устойчивость их при работе в широком диапазоне температур и определяют связь между рассеиваемой электрической мощностью и температурой определенных областей приборов.

Максимальная температура перехода $T_{\text{макс}}$ — значение предельной положительной температуры перехода, при которой обеспечивается заданная надежность. $T_{\text{макс}}$ устанавливается с определенным коэффициентом запаса. Для германия $T_{\text{макс}}$ составляет 80—100° С, для кремния 150—200° С.

Минимальная температура перехода (окружающей среды) $T_{\text{мин}}$ — значение предельной отрицательной температуры перехода, при которой обеспечивается заданная надежность. Величина $T_{\text{мин}}$ определяется разрушающими механическими усилиями, возникающими между отдельными элементами транзистора при его охлаждении.

Тепловое сопротивление переход — среда $R_{\text{п. с}}$ определяется как отношение разности температур перехода и окружающей среды к рассеиваемой мощности

$$R_{\text{п. с}} = \frac{T_{\text{п}} - T_{\text{с}}}{P_{\text{п}}},$$

где $T_{\text{п}}$ — температура перехода, ° С; $T_{\text{с}}$ — температура окружающей среды, ° С; $P_{\text{п}}$ — мощность, рассеиваемая на переходе.

Тепловое сопротивление переход — корпус $R_{\text{п. к}}$ определяется как отношение разности температур перехода и корпуса транзистора к рассеиваемой мощности:

$$R_{\text{п. к}} = \frac{T_{\text{п}} - T_{\text{к}}}{P_{\text{п}}},$$

где $T_{\text{к}}$ — температура корпуса транзистора, ° С.

Максимальная допустимая мощность рассеяния P_m с ростом температуры снижается и для каждого конкретного случая может быть определена по следующим формулам:

$$P_m = \frac{T_{\text{макс}} - T_{\text{п}}}{R_{\text{п. с}}} \quad (\text{для маломощных транзисторов});$$

$$P_m = \frac{T_{\text{макс}} - T_{\text{к}}}{R_{\text{п. к}}} \quad (\text{для мощных транзисторов без теплоотвода});$$

$$P_m^{\text{Г}} = \frac{T_{\text{макс}} - T_{\text{с}}}{R_{\text{п. к}} + R_{\text{к. с}}} \quad (\text{для мощных транзисторов с теплоотводом}),$$

где $R_{\text{к. с}}$ — тепловое сопротивление корпус — среда, °С/вт (определяется качеством радиатора).

Для транзисторов малой мощности без теплоотвода в справочные данные включается значение $R_{\text{п. с}}$, а для мощных транзисторов — $R_{\text{п. к}}$.

Отвод тепла является одной из главных задач при конструировании радиоаппаратуры. Теплоотводящие элементы должны рассчитываться таким образом, чтобы их тепловое сопротивление обеспечивало нормальную теплопередачу от корпуса транзистора к окружающей среде, а температура перехода транзистора не превышала допустимую. При свобод-

ной компоновке элементов внутри аппаратуры целесообразно использовать специальные радиаторы или располагать транзисторы непосредственно на шасси прибора. Радиаторы бывают пластинчатыми, ребристыми односторонними (рис. IV.18) и ребристыми двусторонними (рис. IV.19). В табл. IV.15 приведены размеры радиаторов для транзисторов, рассчитанных на различные рассеиваемые мощности при температуре окружающей среды до 60° С.

При плотной компоновке элементов внутри аппаратуры или больших мощностях рассеивания в приборе применение радиаторов, расположенных внутри блока, становится малоэффективным. В этом случае целесообразно располагать мощные транзисторы непосредственно на корпусе прибора или на специальных радиаторах, контактирующих с внешней средой.

При креплении транзисторов к радиатору необходимо обеспечить надежный тепловой контакт. Контактующая с транзистором поверх-

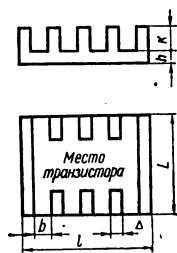


Рис. IV.18. Ребристый радиатор односторонний.



Рис. IV.19. Ребристый радиатор двусторонний.

ность радиатора должна иметь хорошую плоскостность, не иметь заусениц или царапин. Для каждого вывода транзистора следует просверливать отдельное отверстие минимального диаметра. Крепление транзистора к радиатору должно производиться с использованием всех предусмотренных средств (болты, фланцы, резьбовые отверстия). Для электрической изоляции транзистора от радиатора можно использовать прокладки из слюды, фторопластовой пленки толщиной в несколько десятков микрон, металлокерамические прокладки, а также радиаторы с глубоким анодированием. Во всех случаях необходимо стремиться к электрической изоляции радиатора от корпуса прибора, а не к изоляции транзистора от радиатора.

Если в схеме используется несколько транзисторов, включенных параллельно, необходимо обеспечить хороший тепловой контакт между ними. Только в этом случае тепловой режим приборов будет устойчивым и идентичным. Располагать такие транзисторы необходимо на общем теплоотводе. В противном случае случайный перегрев одного из транзисторов приведет к увеличению мощности, рассеиваемой этим прибором за счет уменьшения нагрузки на остальных.

Вольтамперные характеристики транзистора содержат в себе информацию о его свойствах во всех режимах работы на больших и малых сигналах и о связях параметров между собой. По вольтамперным характеристикам можно определить ряд параметров, не приводимых в справочной литературе, а также произвести расчеты цепей смещения, ста-

Размеры радиаторов

Тип радиатора	Тип транзистора	Рассеиваемая мощность, <i>вт</i>	Размеры теплоотвода, <i>мм</i>					Число ребер	
			$L \times l$	h	k	Δ	b		
Пластичный	П302	5	90×90	4	—	—	—	—	
		6	100×100	4	—	—	—	—	
	П601	1	50×50	3	—	—	—	—	
		2	75×75	3	—	—	—	—	
		3	100×100	3	—	—	—	—	
		4	110×110	3	—	—	—	—	
	П213 — П215	1	40×40	4	—	—	—	—	
		2	50×50	3	—	—	—	—	
		3	65×65	3	—	—	—	—	
		4	90×90	3	—	—	—	—	
	Ребристый односторонний	П213 — П215	4	60×60	3	12	4	7	7
			6	80×80	3	20	5	7	9
8			100×100	3	20	4	10	9	
4			60×60	3	12	4	7	7	

билизацию режима, оценку работы транзистора в широком диапазоне импульсных и постоянных токов, мощностей и напряжений. Чаще всего используются два семейства статических вольтамперных характеристик: входные и выходные.

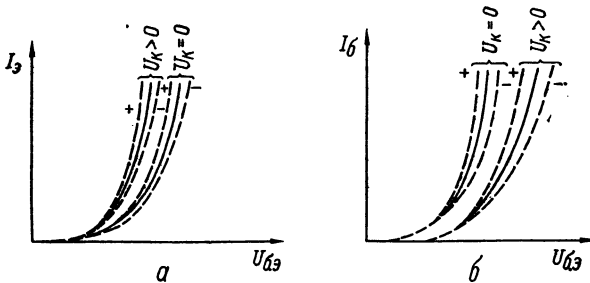


Рис. IV.20. Входные характеристики транзистора:

a — в схеме с общей базой; *б* — в схеме с общим эмиттером.

Входные характеристики отражают зависимость входного тока (ток базы или эмиттера) от напряжения между базой и эмиттером при фиксированных значениях напряжения на коллекторе.

Входные характеристики транзисторов (рис. IV.20) аналогичны характеристикам диодов в прямом направлении с экспоненциальным возрастанием тока при увеличении напряжения. При $U_K > 0$ входные характеристики мало зависят от напряжения на коллекторе. При понижении или повышении температуры переходов транзистора вход-

ные характеристики смещаются в область больших или меньших входных напряжений соответственно.

Выходные характеристики отражают зависимость тока коллектора от напряжения на коллекторе при фиксированных значениях тока базы или эмиттера (в зависимости от способа включения транзистора).

Выходные характеристики транзистора приведены на рис. IV.21. Отличительной особенностью выходных характеристик транзистора, включенного по схеме с общей базой, является слабая зависимость тока коллектора от напряжения $U_{к.б.}$ При напряжении $U_{к.б.}$ выше определенной величины происходит пробой коллекторного перехода. Ток коллектора, включенного по схеме с общим эмиттером, в большей мере

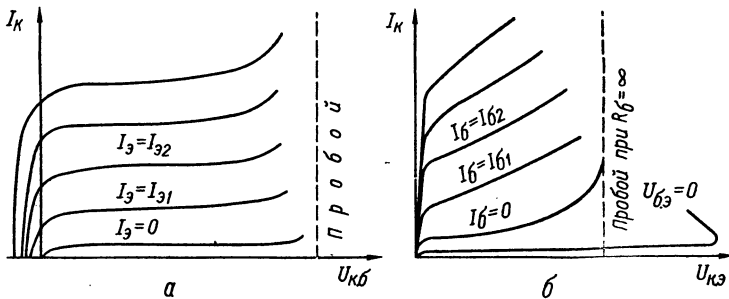


Рис. IV.21. Выходные характеристики транзистора:
а — в схеме с общей базой; б — в схеме с общим эмиттером.

зависит от напряжения на коллекторе. Резкое возрастание тока коллектора начинается при меньшем напряжении на коллекторе, чем при включении транзистора по схеме с общей базой. Только при закрытом транзисторе ($U_{б.э.} = 0$) напряжение пробоя приближается к напряжению пробоя транзистора, включенного по схеме с общей базой. При повышенной температуре переходов выходные характеристики смещаются в сторону больших токов из-за увеличения начального тока коллекторного перехода $I_{к.б.}$

Статические вольтамперные характеристики транзисторов на постоянном токе строятся по точкам или получаются с помощью специальных характеристик, позволяющих избежать сильного нагрева транзисторов.

Стабилизация работы схем с транзисторами. Для обеспечения устойчивой работы схем на транзисторах при изменении температуры окружающей среды должна быть обязательно предусмотрена стабилизация режима по постоянному току. Кроме этого желательно обеспечить стабильность положения рабочей точки при разбросе параметров транзисторов, что делает схему устойчивой к смене транзисторов и к дрейфу их параметров в процессе эксплуатации. Это достигается применением отрицательной обратной связи по постоянному току или постоянному напряжению, либо комбинированной обратной связи одновременно по постоянному току и постоянному напряжению.

Термостабильность каскада на транзисторе принято оценивать коэффициентом нестабильности

$$S_{\text{н}} = \frac{\Delta I_{\text{к}}}{\Delta I_{\text{к.б.}}}$$

который характеризует изменение коллекторного тока при изменении начального тока коллектора $I_{к.60}$ вследствие изменения температуры или дрейфа во времени.

Существует два типа схем питания транзистора: схема с одним общим источником тока (рис. IV.22) и схема с двумя отдельными источниками — эмиттерным и коллекторным (рис. IV.23). Коэффициент нестабильности S_H этих схем определяется по формуле:

$$S_H = 1 + \frac{h_{216} \cdot R'_6}{(1 - h_{216}) R'_6 + R'_9} \approx 1 + \frac{R'_6}{R'_9},$$

где

$$R'_6 = R_4 \left(1 + \frac{R_3}{R_4} + \frac{R_2 + R_8}{R_1} \right);$$

$$R'_9 = R_9 \left(1 + \frac{R_3}{R_9} + \frac{R_2 + R_8}{R_1} \right).$$

Здесь R'_6 — приведенное сопротивление в цепи базы; R'_9 — приведенное сопротивление в цепи эмиттера.

Приравнявая нулю или бесконечности соответствующие сопротивления в схемах, можно получить любую из возможных схем питания транзисторов и соответственно формулу для расчета коэффициента S_H .

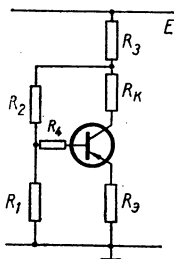


Рис. IV.22. Схема питания транзистора с одним источником тока.

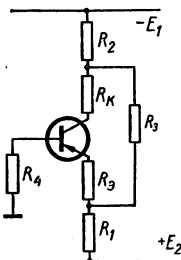


Рис. IV.23. Схема питания транзистора с двумя источниками тока.

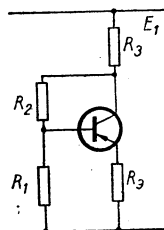


Рис. IV.24. Комбинированная схема питания транзистора с обратными связями по току и напряжению.

При питании от одного источника наибольшее распространение получили три схемы: схема с обратной связью по току ($R_4 = R_3 = 0$), схема с обратной связью по напряжению ($R_1 = \infty$, $R_9 = R_4 = R_k = 0$), комбинированная схема с обратными связями по току и напряжению ($R_4 = R_k = 0$). Из всех схем с одним источником питания наиболее стабильна последняя (рис. IV.24). Коэффициент нестабильности этой схемы определяется по формуле:

$$S_H \approx 1 + \frac{R_2}{R_9 \left(1 + \frac{R_3}{R_9} + \frac{R_2 + R_8}{R_1} \right)}$$

При питании от двух источников наиболее распространена схема с сопротивлениями в цепях эмиттера и коллектора (при $R_4 = 0$ и $R_3 = \infty$). Эта схема наиболее стабильна и имеет $S_H \approx 1$. Рекомендуется брать $S_H = 1,5-2$ при высоких требованиях к стабильности; в радиодлюбительской практике приемлемо $S_H = 2-5$. При желании получить $S_H \approx 1$ следует применять схему с двумя источниками питания.

Совмещая методы стабилизации рабочей точки транзистора при помощи отрицательных обратных связей по току и напряжению с применением термозависимых элементов (терморезисторов, диодов, смещенных в обратном направлении), возможно получить коэффициент нестабильности $S_H = 1$ и даже меньше.

Схемы с применением термозависимых элементов обладают большим КПД, входным сопротивлением и усилением по сравнению с обычными схемами термостабилизации и могут быть использованы для работы в более широком диапазоне температур.

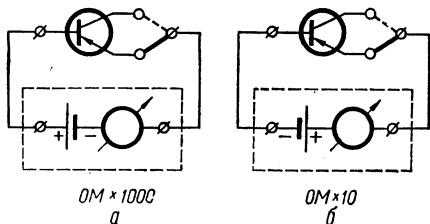


Рис. IV.25. Схема измерения сопротивления переходов транзистора:
а — обратного; б — прямого.

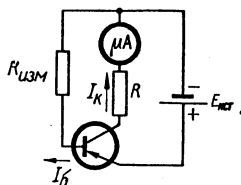


Рис. IV.26. Схема проверки транзистора.

Следовательно, при проектировании высокостабильных схем необходимо выполнение следующих рекомендаций:

1. Включение в цепь эмиттера резистора. При достаточно большем сопротивлении этого резистора ток в цепи коллектора не будет зависеть от параметров транзистора.

2. Включение в цепь базы (между базой и эмиттером) резистора минимально возможной величины. Для транзисторов малой мощности величина сопротивления не должна превышать нескольких килоомов, для мощных транзисторов — нескольких омв (если нет особых указаний).

3. Введение в усилительные каскады отрицательной обратной связи, стабилизирующей выходные параметры схемы.

4. Использование в схемах специальных элементов (терморезисторов или диодов) для компенсации температурных изменений параметров. Необходимо, чтобы термокомпенсирующие элементы располагались в непосредственной близости от тех транзисторов, изменение параметров которых компенсируется.

Проверка работоспособности транзисторов может быть проведена измерением токов, протекающих через переходы в прямом и обратном направлениях.

Проверка с помощью омметра. Если к базе транзистора $p-n-p$ -типа подключить положительный полюс внутренней батареи омметра, то переходы будут закрыты и омметр покажет большое сопротивление между базой и коллектором или базой и эмиттером (рис. IV.25, а). Если же к базе подключить отрицательный полюс источника, омметр

покажет малое сопротивление между базой и коллектором или эмиттером (рис. IV.25, б). Для транзисторов $n-p-n$ -типа полярности меняются на обратные.

Прямое сопротивление перехода имеет обычно величину порядка десятков или сотен омов, обратное — сотен килоомов или единиц мегомов. У кремниевых маломощных транзисторов оба сопротивления могут быть выше, а у мощных германиевых — ниже.

Необходимо учесть, что предельно допустимое напряжение на переходах для ряда транзисторов (в основном высокочастотных, например П401—П403) меньше, чем напряжение батареи некоторых авометров. Для проверки этих транзисторов необходимо применять авометры с напряжением батареи не более 1 в. Проверка большинства низкочастотных транзисторов, у которых допустимые напряжения на переходах составляют 10—20 в, может производиться обычными авометрами.

Проверка с помощью батареи и миллиамперметра. Этим методом возможно ориентировочно измерить усиление транзистора по току в схеме с общим эмиттером $h_{21э}$ (β). Для этой цели необходимо собрать схему (рис. IV.26). При подключении источника напряжения E (1,5—4,5 в) через миллиамперметр будет протекать ток I_k . Коэффициент усиления определяется следующим выражением:

$$h_{21э} = \frac{I_k}{I_б}$$

Ток базы можно определить по формуле

$$I_б = \frac{E_{ист} - U_{б.э}}{R_{изм}}$$

Отсюда

$$h_{21э} = I_k \frac{R_{изм}}{E_{ист} - U_{б.э}}$$

Величина $U_{б.э}$ равна примерно 0,2—0,3 в.

Если $E_{ист} = 4,5$ в (напряжение свежей батареи КБС-0,5), а $R_{изм}$ выбрать равным, например, 43 ком, то

$$h_{21э} = I_k \times 10.$$

Рекомендуется начинать измерения с больших величин $R_{изм}$ (например, 220 ком). При этом

$$h_{21э} = I_k \times 50.$$

Если показания миллиамперметра окажутся малыми, переходят к меньшим величинам $R_{изм}$.

Резистор R предназначен для предохранения прибора на случай замыкания внутри проверяемого транзистора. Его сопротивление составляет 330 ом. При $E_{ист} = 1,5$ в значения $R_{изм}$ и R соответственно уменьшают.

Для радиолюбительских целей можно рекомендовать портативный испытатель транзисторов Л2-1 для измерения коэффициента усиления в схеме с общей базой.

Рекомендации по применению транзисторов. Выбор транзисторов должен производиться в соответствии с их назначением. В предварительных каскадах усилителей низкой частоты могут применяться лю-

бье низкочастотные транзисторы. Только в первом каскаде высокочувствительных усилителей рекомендуется использовать специальные малошумящие транзисторы.

В схемах, работающих в области высоких частот, рекомендуется использовать транзисторы, у которых предельная частота f_T в 3—5 раз больше максимальной рабочей частоты каскада.

Мощные транзисторы не рекомендуется использовать в маломощных режимах при малых токах коллектора (их работа будет неустойчивой).

В каскадах, работающих в ключевых и импульсных режимах, следует применять транзисторы соответствующих типов.

Расчет схем и выбор режима транзисторов должны производиться с учетом температурных и временных изменений их параметров. В табл. IV.16 приведены критерии годности транзисторов в процессе эксплуатации и хранения.

Т а б л и ц а IV.16

Критерий годности транзисторов при изменении их параметров

Параметр	Критерий годности транзистора
Начальный ток коллекторного перехода	$I_{к.60} < 5I_{к.60}(с)$
Начальный ток эмиттерного перехода	$I_{э.60} < 5I_{э.60}(с)$
Коэффициент усиления по току	$0,7h_{21э. мин}(с) < h_{21э} < 1,5h_{21э. макс}$
Коэффициент усиления по току при большом сигнале	$0,7h_{21э. мин}(с) < h_{21э} < 1,5h_{21э. макс}(с)$
Коэффициент шума	$F_{ш} < F_{ш}(с) + 3дб$

Примечание. Буква «с» обозначает сдочную норму по ТУ.

Необходимым условием устойчивой работы транзистора является большое сопротивление постоянному току в цепи эмиттера и малое — в цепи базы (между базой и эмиттером).

Для повышения надежности и долговечности транзисторов следует:

1. Снижать рабочую температуру транзисторов. Оптимальным является диапазон температур от -5 до $40^{\circ}C$.
2. Снижать рабочие напряжения и токи до величин, не превышающих $0,7$ предельных. Недопустимо использовать транзисторы в предельных режимах по двум параметрам одновременно.
3. Защищать транзисторы от перенапряжений, применяя стабилизаторы, демфирующие цепи, ограничивающие диоды, а также от перегрузок по току, включая последовательно с выводами эмиттера и коллектора токоограничивающие сопротивления.
4. Не допускать работы транзистора хотя бы с временно отключенной базой.

Правила установки и включения транзисторов.

1. Крепление транзисторов производить за корпус (мощные транзисторы крепить при помощи предусмотренных конструкцией средств: болтов, специальных фланцев).
2. Изгиб выводов производить на расстоянии не менее 10 мм от корпуса (если нет других указаний). Изгиб жестких выводов мощных транзисторов запрещается.
3. Не располагать транзисторы вблизи элементов с большим тепловыделением (мощных электронных ламп, силовых трансформаторов и т. д.).

4. Не устанавливать транзисторы в сильных магнитных полях как постоянных, так и переменных.

5. Пайку производить не ближе 10 мм от корпуса транзистора. Необходимо обеспечить теплоотвод между местом пайки и корпусом. Время пайки должно быть минимальным (2—3 сек). Следует применять низкотемпературные припой. Температура припоя не должна превышать 260° С (например, припой ПОС-40).

6. Выводы базы включать в схему первыми и отключать последними. Запрещается подавать напряжение на транзистор с отключенной базой.

7. Замену транзисторов в схеме производить только при выключенных источниках питания.

Основные данные транзисторов приведены в табл. IV.17—IV.24.

§ 3. Полевые транзисторы

Полевые транзисторы — универсальные активные приборы, применяемые в широком классе радиоэлектронных устройств. Существует две разновидности полевых транзисторов: униполярные полевые транзисторы, или полевые транзисторы с $p-n$ -переходом (применяется еще название *канальные полевые транзисторы*), и транзисторы со структурой металл — диэлектрик (окисел) — полупроводник, так называемые МДП (МОП) транзисторы (применяется название *полевые транзисторы с изолированным затвором*).

Работа полевых приборов основана на движении основных носителей в полупроводнике. Управление током в выходной цепи осуществляется управляющим напряжением, поэтому их усилительные свойства, как и у электронных ламп, характеризуются крутизной. Они обладают высоким входным сопротивлением. Входное сопротивление по

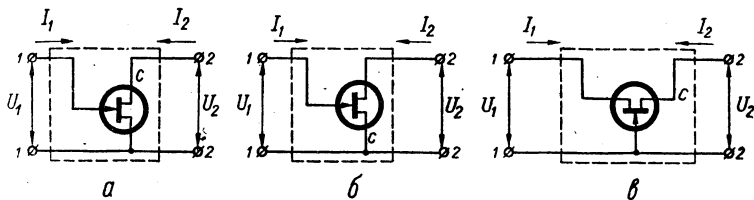


Рис. IV.27. Схемы включения полевого транзистора:
а — с общим истоком; б — с общим стоком; в — с общим затвором.

постоянному току у германиевых канальных полевых транзисторов достигает $1 \cdot 10^8$ ом, у кремниевых — $1 \cdot 10^9$ ом, у полевых транзисторов с изолированным затвором — $1 \cdot 10^{15}$ ом.

Полевой транзистор в качестве элемента схемы представляет собой активный несимметричный четырехполюсник, у которого один из зажимов является общим для цепей входа и выхода. В зависимости от того, какой из электродов полевого транзистора подключен к общему выводу, различают схемы:

- с общим истоком и входом на затвор;
- с общим стоком и входом на затвор;
- с общим затвором и входом на исток.

Варианты схем включения полевого транзистора показаны на рис. IV.27.

По аналогии с ламповой электроникой, где за типовую принята схема с общим катодом, для полевых транзисторов типовой является схема с общим истоком, и характеристики элементов четырехполюсника удобнее всего определять в системе проводимостей, или y -параметров. В общем виде уравнения четырехполюсника в системе y -параметров записываются так:

$$\begin{aligned} I_1 &= y_{11}U_1 + y_{12}U_2, \\ I_2 &= y_{21}U_1 + y_{22}U_2, \end{aligned}$$

где I_1, I_2, U_1, U_2 — соответственно малые приращения токов и напряжений на входе и выходе четырехполюсника.

Эквивалентная схема полевого транзистора, элементы которой выражены через y -параметры, приведена на рис. IV.28. При таком подключении каждая из проводимостей имеет точный физический смысл.

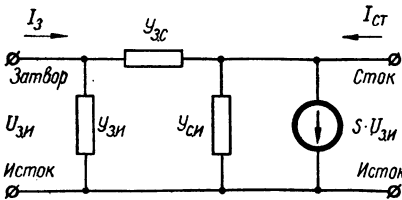


Рис. IV.28. Эквивалентная схема полевого транзистора.

Входная проводимость определяется проводимостью участка затвор—исток $y_{з.и} = y_{11} + y_{12}$.

Выходная проводимость определяется проводимостью участка сток—исток $y_{с.и} = y_{22} + y_{21}$.

Функция прямой передачи определяется крутизной

вольтамперной характеристики $S = y_{21} - y_{12}$.

Функция обратной передачи определяется проходной проводимостью $y_{з.и} = y_{12}$.

Эти параметры принимаются за первичные параметры полевого транзистора, используемого в качестве четырехполюсника. Если первичные параметры четырехполюсника для схемы с общим истоком определены, то можно произвести расчет параметров для любой другой схемы включения полевого транзистора.

В настоящее время наряду с y -параметрами полевых транзисторов часто приводятся значения максимального тока стока I_m , напряжения отсечки U_0 и крутизны S .

Максимальный ток стока I_m — ток стока при напряжении на стоке, равном напряжению насыщения, и нулевом напряжении смещения на затворе.

Напряжение насыщения U_n — напряжение на стоке, при котором наступает насыщение тока стока при нулевом смещении на затворе.

Напряжение отсечки U_0 — напряжение на затворе, при котором ток стока равен нулю.

Максимальное напряжение между стоком и затвором $U_{ст. макс.}$ При превышении этого напряжения возможен пробой между стоком и затвором.

Пороговое напряжение U_n — напряжение на затворе, при котором возникает ток стока. Является характеристическим параметром полевого транзистора с изолированным затвором.

Информацию об усилительных свойствах полевого транзистора можно получить из рассмотрения семейства статических вольтамперных характеристик (см. рис. IV. 29). Методика снятия этих характеристик

не отличается от аналогичной методики для вакуумных ламп. Самым простым методом является снятие характеристик по точкам.

По семейству вольтамперных характеристик легко определить величину I_m и зависимость тока стока от напряжения на затворе. При определении U_0 и S встречается ряд затруднений. Так как трудно определить напряжение, при котором $I_{ст} = 0$, то при определении U_0 принимают ток стока равным 0,1—1% I_m . При этом ошибка в определении U_0 не превышает 3—10% соответственно.

Из семейства вольтамперных характеристик стока можно определить усредненное значение крутизны, равное $\Delta I_{ст} / \Delta U_з$. Так как существует резкая зависимость крутизны от напряжения на затворе,

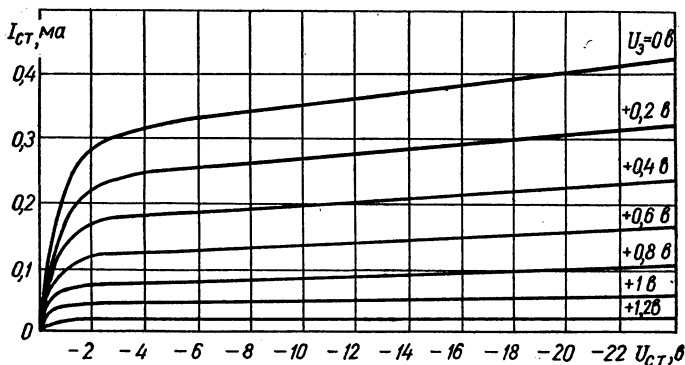


Рис. IV.29. Семейство стоковых вольтамперных характеристик полевого транзистора КП102Е.

измерения необходимо производить при малых $\Delta U_з$. Обычно измерение проводится при малом сигнале (20—40 мВ) на переменном токе низкой частоты.

При изменении температуры свойства полупроводниковых материалов изменяются. Это приводит к изменению параметров полевых транзисторов и в первую очередь к изменению тока стока, крутизны и обратного тока затвора. Зависимость изменения тока стока от температуры определяется двумя факторами: контактной разностью потенциалов p — n -перехода и изменением подвижности основных носителей в канале. При повышении температуры контактная разность потенциалов уменьшается, сопротивление канала падает, а ток увеличивается. С другой стороны, повышение температуры приводит к уменьшению подвижности носителей в канале и уменьшению тока стока.

При определенных условиях действие этих двух факторов взаимно компенсируется и ток стока полевого транзистора перестает зависеть от температуры. На рис. IV.30 показано расположение термостабильной точки у полевого транзистора КП102Е. Положение термостабильной точки соответствует для этого типа транзисторов напряжению на затворе, меньшему напряжения отсечки примерно на 0,65 в.

С ростом температуры крутизна характеристики полевых транзисторов обычно уменьшается, а ток затвора увеличивается. Хотя увели-

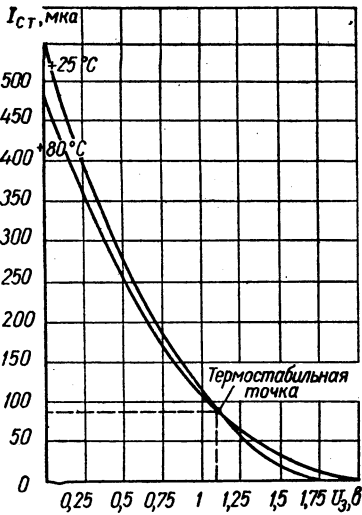


Рис. IV.30. Сток-затворные характеристики полевого транзистора КП102Е при различной температуре и $U_{ст} = -10$ в.

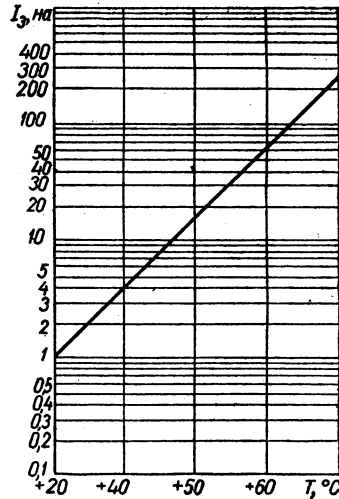


Рис. IV.31. Зависимость обратного тока затвора полевых транзисторов КП102 от температуры при $U_{ст} = -10$ в, $U_3 = +1$ в.

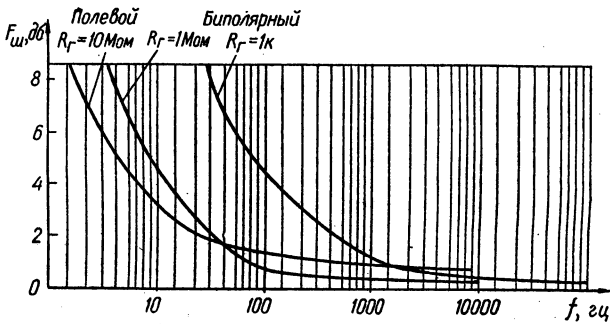


Рис. IV.32. Зависимость коэффициента шума полевого транзистора от частоты и выходного сопротивления источника сигнала.

чение тока затвора в абсолютных величинах и незначительно, его надо учитывать в схемах, где в цепи затвора стоит большое сопротивление смещения, так как в этом случае изменение обратного тока может вызвать существенное изменение напряжения на затворе полевого транзистора. Температурная зависимость обратного тока затвора кремниевого полевого транзистора представлена на рис. IV.31.

Частотные свойства полевых транзисторов определяются постоянной времени RC цепи затвора. Поскольку величина C_3 у канальных полевых транзисторов велика (несколько десятков пикофарад), работа в усилительных каскадах с большим входным сопротивлением ограничивает применение полевых транзисторов частотами в несколько десятков или в крайнем случае сотен килогерц. При работе в переключающих схемах скорость переключения полностью определяется постоянной времени RC цепи затвора.

У транзисторов с изолированным затвором значение входной емкости значительно меньше, поэтому частотные свойства их намного лучше, чем у канальных полевых транзисторов.

Шумовые свойства. В биполярных транзисторах основными причинами шумов являются процессы генерации и рекомбинации носителей заряда в базе. В канале полевого транзистора роль этих процессов и связанных с ним шумов незначительна. В связи с этим коэффициент шума у полевых транзисторов значительно ниже, чем у биполярных. На рис. IV.32 представлена типичная зависимость коэффициента шума полевого транзистора от частоты.

Из рис. IV.32 видно, что шумы полевого транзистора, по сравнению с шумами биполярных транзисторов, значительно меньше в области низких частот и при значительно больших сопротивлениях источника сигнала.

Рекомендации по использованию и эксплуатации полевых транзисторов. Полевые транзисторы имеют вольтамперные характеристики, подобные ламповым, и обладают всеми принципиальными преимуществами транзисторов. Это позволяет применять их в ряде схем, где в большинстве случаев использовались электронные лампы, например в усилителях постоянного тока с высокоомным входом, в истоковых повторителях с особо высокоомным входом, в электрометрических усилителях, в различных схемах реле времени, в RC -генераторах синусоидальных колебаний низких и инфранизких частот, в генераторах пилообразных колебаний, в усилителях низкой частоты, работающих от источников с большим внутренним сопротивлением, в активных RC -фильтрах низких частот.

В рекомендации по эксплуатации транзисторов для случая полевых транзисторов следует внести дополнения:

1. На затвор полевых транзисторов с $p-n$ -каналом запрещается подавать отрицательное напряжение.

2. Полевые транзисторы с изолированным затвором должны храниться с закороченными выводами. При включении транзисторов в схему должны быть приняты все меры (заземление паяльника, прибора и т. д.) для снятия статических зарядов. В противном случае возможен пробой полевого транзистора. Целесообразно производить подсоединение полевого транзистора к схеме, предварительно закоротив его выводы.

Основные данные полевых транзисторов приведены в табл. IV.25. На рис. 33—40 приведены конструкции транзисторов различных типов.

Основные данные транзисторов малой мощности низкочастотных

Наименование параметра	Обозначение	Единица измерения	Тип транзистора					
			МП9А	МП10	МП10А	МП10Б	МП11	МП11А
Параметры постоянного тока * начальный ток коллекторного перехода при напряжении на коллекторе, ϑ	$I_{к. 60}$	мкА	20/25	20/15	30/30	30/30	20/15	20/15
начальный ток эмиттерного перехода при напряжении $U_{э}, \vartheta$	$I_{э. 60}$	мкА	30/15	30/15	30/30	30/30	30/15	30/15
Режим измерения параметров напряжение на коллекторе	$U_{к}$	ϑ	5	5	5	5	5	5
ток коллектора	$I_{к}$	мА	1	1	1	1	1	1
Малосигнальные параметры входное сопротивление	h_{110}	ом	—	—	—	—	—	—
коэффициент передачи тока	$h_{21э}$	—	15—45	15—30	15—30	25—50	25—50	45—100
коэффициент обратной связи	$h_{12б}$	—	—	—	—	—	—	—
выходная проводимость	$h_{22б}$	мксм/м	2,5	2,5	2,5	2,5	3,3	3,3
Высокочастотные параметры границная частота коэффициента передачи тока	$f_{г21б}$	МГц	1	1	1	1	2	2
емкость коллектора	$C_{к}$	пФ	60	60	60	60	60	60
постоянная времени цепи коллектора	$\tau_{бСк}$	нсек	—	—	—	—	—	—

Коэффициент шума	$F_{ш}$	$\delta\beta$	10	—	—	—	—	—	—
Предельные параметры напряжение коллектор — база при х. х. в цепи эмиттера	$U_{к. б. о}$	e	15	15	30	30	15	15	15
напряжение коллектор — эмиттер при сопро- тивлении в цепи базы	$U_{к. эR}$	e	25	25	30	30	25	25	25
постоянный ток коллектора	$I_{кт}$	$ма$	20	20	20	20	20	20	20
ток коллектора в импульсном режиме	$I_{кМ}$	$ма$	150	150	150	150	150	150	150
постоянная мощность, рассеиваемая транс- стором без теплоотвода	$P_{т}$	$мвт$	150	150	150	150	150	150	150
Тепловые параметры максимальная температура перехода	$T_{макс}$	$^{\circ}C$	+85	+85	+85	+85	+85	+85	+85
минимальная температура перехода	$T_{мин}$	$^{\circ}C$	-55	-55	-55	-55	-55	-55	-55
тепловое сопротивление переход — среда	$R_{п. с}$	$^{\circ}C/мвт$	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Тип перехода, материал	Переход, материал $n-p-n$, германий								
Конструкция и расположение выводов	Рисунок IV.33, а								
Основное назначение	Усиление и генерирование сигналов низких и промежуточных частот								
									IV.33, о
									Усиление и генериро- вание электрических сигналов в диапазоне до 2 МГц

* Числитель дроби — ток, знаменатель — напряжение.

$F_{\text{ш}}$	—	12	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—			
$U_{\text{к. б.о}}$	е	15	15	30	30	15	15	15	15	15	15	15	30			
$U_{\text{к. эР}}$	е	15	15	30	30	15	15	15	15	15	15	15	20			
$I_{\text{кп}}$	ма	20	20	20	20	20	20	20	20	20	50	50	50			
$I_{\text{кМ}}$	ма	150	150	150	150	150	150	150	150	300	300	300	300			
$P_{\text{п}}$	мвт	150	150	150	150	150	150	150	150	200	200	200	150			
$T_{\text{макс}}$	° С	+85	+85	+85	+85	+85	+85	+85	+85	+85	+85	+85	+85			
$T_{\text{мин}}$	° С	-55	-55	-55	-55	-55	-55	-55	-55	-60	-60	-60	-55			
$R_{\text{п. с}}$	° С/мвт	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,33			
Переход, материал											р-п-р, германий			р-п-р, германий		
Рисунок		IV.33, а											IV.33, а		IV.33, а	
Назначение		Усиление и генерирование электрических сигналов в диапазоне до 2 МГц											Работа в переключающих устройствах		Работа в импульсных схемах, усиление и генерирование электрических колебаний	

Обозначение	Единица измерения	Тип транзистора													
		МП21В	МП21Г	МП21Д	МП21Е	МП25	МП25А	МП25Б	МП26	МП26А	МП26Б	П27	П27А		
<i>I_к</i> , 60	мкА	50/40	50/60	50/50	50/70	75/40	75/40	75/40	60/35	60/35	60/35	60/35	60/35	3/5	
<i>I_с</i> , 60	мкА	50/40	50/60	50/50	50/70	75/40	75/40	75/40	75/40	75/40	75/40	75/40	75/40	—	
<i>U_к</i>	В	5	5	5	5	20	20	20	20	20	20	20	20	5	
<i>I_к</i>	мА	5	5	5	5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	0,5	
<i>P₁₁₆</i>	ом	20	20	20	25	25	25	25	25	25	25	25	25	50	
<i>P_{21э}</i>	—	20—100	20—80	60—200	30—150	13—25	20—40	30—80	13—25	20—40	30—80	10—200	20—170	—	
<i>P₁₂₆</i>	—	—	—	—	—	4·10 ⁻³	4·10 ⁻³	4·10 ⁻³	4·10 ⁻³	4·10 ⁻³	4·10 ⁻³	4·10 ⁻³	4·10 ⁻³	—	
<i>P₂₂₆</i>	мкс/мм	2,5	2,5	2,5	2,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	2	
<i>f_{н216}</i>	Мгц	1,5	1,0	1,0	0,7	0,2	0,2	0,5	0,2	0,2	0,2	0,5	1,0	1,0	
<i>C_к</i>	пф	30	30	30	30	70	70	70	50	50	50	50	50	50	
<i>r_{бс}к</i>	нсек	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	

$F_{ш}$	<i>дб</i>	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	10	5
$U_{к. б. о}$	<i>в</i>	40	60	50	70	40	40	40	40	40	40	40	70	70	70	70	70	5	5
$U_{к. 9 R}$	<i>в</i>	30	35	30	35	40	40	40	40	40	40	40	70	70	70	70	70	5	5
$I_{кт}$	<i>ма</i>	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	6	6
$I_{кМ}$	<i>ма</i>	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	400	400	400	400	400	—	—
$P_{т}$	<i>мвт</i>	150	150	150	150	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	30	30
$T_{макс}$	<i>°C</i>	+85	+85	+85	+85	+75	+75	+75	+75	+75	+75	+75	+75	+75	+75	+75	+75	+85	+85
$T_{мин}$	<i>°C</i>	-55	-55	-55	-55	-55	-55	-55	-55	-55	-55	-55	-55	-55	-55	-55	-55	-55	-55
$R_{г. с}$	<i>°C/мвт</i>	0,33	0,33	0,33	0,33	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	—	—
Переход, материал		<i>p-n-p, германий</i>																	
Рисунок		<i>IV. 33, а</i>						<i>VI. 33, а</i>						<i>IV. 33, а</i>					
Назначение		Работа в импульсных схемах, усиление и генерирование электрических колебаний						Усиление и генерирование электрических колебаний, работа в импульсных схемах						Работа в малощумящих усилителях					

Обозначение	Единица измерения	Тип транзистора													
		П28	МП35	МП36А	МП37	МП37А	МП37Б	МП38	МП38А	МП39	МП39Б	МП40	МП40А		
$I_{к.60}$	мкА	3/5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	15/5	15/5	15/5	15/5
$I_{э.60}$	мкА	—	15/5	15/5	15/5	15/5	15/5	15/5	15/5	15/5	30/5	30/5	30/5	30/5	30/5
$U_{к}$	В	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
$I_{к}$	мА	0,5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
h_{116}	ОМ	50	26	26	26	26	26	26	26	26	26	25	25	25	25
h_{219}	—	20—200	10—125	15—45	15—30	15—30	15—30	25—50	25—55	45—100	20—60	20—40	20—40	20—40	20—40
h_{126}	—	—	3·10 ⁻⁴	3·10 ⁻⁴	3·10 ⁻⁴	3·10 ⁻⁴	3·10 ⁻⁴	3·10 ⁻⁴	3·10 ⁻⁴	3·10 ⁻⁴	5·10 ⁻³	5·10 ⁻³	5·10 ⁻³	5·10 ⁻³	5·10 ⁻³
h_{226}	мксек	1	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3
f_{h216}	Мгц	5,0	0,5	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	2,0	2,0	0,5	0,5	1,0	1,0	1,0
$C_{к}$	пФ	50	50	50	50	50	50	50	50	50	60	60	60	60	60
$r_{δC_{к}}$	нсек	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

$F_{ш}$	дБ	5	—	12	—	—	—	—	—	12	—	—
$U_{к.б.о}$	е	5	15	15	30	30	15	15	15	10	10	30
$U_{к.эR}$	е	5	15	15	30	30	15	15	15	15	15	30
$I_{кпз}$	мА	6	20	20	20	20	20	20	20	40	40	40
$I_{кМ}$	мА	—	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
$P_{т}$	мВт	30	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
$T_{макс}$	°С	+85	+85	+85	+85	+85	+85	+85	+85	+85	+85	+85
$T_{мин}$	°С	-55	-55	-55	-55	-55	-55	-55	-55	-20	-20	-20
$R_{п.с}$	°С/мВт	—	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Переход, материал	$p-n-p$, германий	$n-p-n$, германий										
Рисунок	IV.33, а	IV.33, а										
Назначение	Работа в маломощных усилителях	Работа в радиотехнической аппаратуре и аппаратуре связи широкого применения										
		Работа в каскадах радиовещательных приемников, в схемах переключения и в аппаратуре народного хозяйственного назначения										

Обозначение	Единица измерения	Тип транзистора													
		МП41	МП41А	МП42	МП42А	МП42Б	МП101	МП101А	МП101Б	МП102	МП103	МП103А	МП104		
$I_{к, 60}$	мкА	15/5	15/5	—	—	—	—	50/10	50/5	50/10	50/5	50/5	50/5	50/5	400/30
$I_{с, 60}$	мкА	30/5	30/5	—	—	—	3/20	3/10	3/10	3/20	3/10	3/10	3/10	3/10	200/10
$U_{к}$	В	5	5	1	1	1	5	5	5	5	5	5	5	5	5
$I_{к}$	мА	1	1	10	10	10	1	1	1	1	1	1	1	1	1
P_{116}	мВт	25	25	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	300
$P_{21э}$	—	30—60	50—100	20—35	30—50	45—100	10—25	10—30	15—45	15—45	15—45	15—45	15—45	30—75	9
P_{126}	—	5·10 ⁻³	5·10 ⁻³	—	—	—	3·10 ⁻³	3·10 ⁻³	3·10 ⁻³	3·10 ⁻³	3·10 ⁻³	3·10 ⁻³	3·10 ⁻³	3·10 ⁻³	—
P_{226}	мкВт	3,3	3,3	—	—	—	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	—
f_{h216}	МГц	1,0	1,0	1,0	1,0	2,0	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	1,0	0,1
$C_{к}$	пФ	60	60	—	—	—	150	150	150	150	150	150	150	150	—
$g_{6C_{к}}$	нСек	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

$F_{ш}$	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
$U_{к.б.о}$	e	10	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	
$U_{к.эR}$	e	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	
$I_{кт}$	$ма$	40	40	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
$I_{кМ}$	$ма$	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	
P_m	$мет$	150	150	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	
$T_{макс}$	$° C$	+85	+85	+85	+85	+150	+150	+150	+150	+150	+150	+150	+150	
$T_{мин}$	$° C$	-20	-20	-60	-60	-60	-60	-60	-60	-60	-60	-60	-60	
$R_{г.с}$	$° C/мет$	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	
Переход, материал	$p-n-p$, германий	$p-n-p$, германий												
Рисунок	IV.33, а	IV.33, а						IV.33, а						IV.33, а
Назначение	Работа в каскадах радиопередательных приемников, в схемах переключения и в аппаратуре народного хозяйства нового значения	Работа в переключающих схемах						Работа в каскадах усиления и генерирования низкой частоты						Усиление и генерирование сигналов низкой частоты

$F_{ш}$	дБ	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
$U_{к. б. о}$	в	30	15	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
$U_{к. эР}$	в	30	15	10	10	10	10	10	10	10	10	6	6	6	6	6	6	6	6
$I_{кт}$	ма	10	10	50	50	50	50	50	50	50	20	20	20	20	20	20	20	20	20
$I_{кИ}$	ма	50	50	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
$P_{т}$	вт	150	150	75	75	75	75	75	75	75	30	30	30	30	30	30	30	30	30
$T_{макс}$	°С	+150	+150	+80	+80	+80	+80	+80	+80	+80	+55	+55	+55	+55	+55	+55	+55	+55	+55
$T_{мин}$	°С	-55	-55	-20	-20	-20	-20	-20	-20	-20	-20	-20	-20	-20	-20	-20	-20	-20	-20
$R_{п. с}$	°С/мет	—	—	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Переход, материал		р-п-р, германий																	
Рисунок		IV.33, б																	
Назначение		Усиление и генерирование колебаний в каскадах малогабаритных радиовещательных приемников																	
		р-п-р, германий																	
		IV.33, в																	
		Усиление и генерирование колебаний в каскадах малогабаритных радиоприемников. ГТ109Д,Е — в медицинской аппаратуре.																	

Обозначение	Единица измерения	Тип транзистора										
		ГТ109Ж	ГТ109И	МП111	МП11А	МП11Б	МП112	МП113	МП113А	МП114	МП115	МП116
$I_{к.60}$	мкА	1/1,5	5/5	3/10	3/10	3/10	3/10	3/10	3/10	10/30	10/15	10/10
$I_{э.60}$	мкА	5/1,5	5/5	3/20	3/20	3/20	3/20	3/20	3/20	10/10	10/10	10/10
$U_{к}$	е	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
$I_{к}$	мА	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
h_{116}	ом	27	27	40	40	40	40	40	40	35	35	35
$h_{21э}$	—	100	20—80	10—25	10—30	15—45	15—45	30—75	30—75	9	9—45	15—100
h_{126}	—	0,5 · 10 ⁻³	0,5 · 10 ⁻³	3 · 10 ⁻³	3 · 10 ⁻³	3 · 10 ⁻³	3 · 10 ⁻³	3 · 10 ⁻³	3 · 10 ⁻³	3 · 10 ⁻³	3 · 10 ⁻³	3 · 10 ⁻³
h_{226}	мкс/м	3,3	3,3	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	3,3	3,3	2,0
f_{h216}	Мгц	5	1	0,5	0,5	0,5	0,5	1,0	1,0	0,1	0,1	0,5
$C_{к}$	пф	30	30	150	150	150	150	150	150	80	80	30
$r_{6Cк}$	нсек	5000	5000	—	—	—	—	—	—	—	—	—
$F_{ш}$	дБ	—	12	—	18	—	—	—	—	—	—	—
$U_{к.6.0}$	е	10	10	20	10	20	10	10	10	60	30	15

$U_{к. эР}$	ϵ	6	6	20	10	20	10	20	10	60	30	15
$I_{кт}$	$ма$	20	20	20	20	20	20	20	20	10	10	10
$I_{кМ}$	$ма$	—	—	100	100	100	100	100	100	—	—	—
$P_{т}$	$вт$	30	30	150	150	150	150	150	150	150	150	150
$T_{макс}$	$^{\circ}C$	+55	+55	+150	+150	+150	+150	+150	+150	+150	+150	+150
$T_{мин}$	$^{\circ}C$	-20	-20	-55	-55	-55	-55	-55	-55	-55	-55	-55
$R_{п. с}$	$^{\circ}C/вт$	—	—	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,5	0,5	0,5
Переход, материал		$p-n-p$, германий										
Рисунок		IV.33, ϵ										
Назначение		Работа в каскадах малогабаритных радиовещательных приемников. ГТ109Ж — в часовых механизмах										
		Усиление и генерирование сигналов низких частот. Работа в малоточковых переключателях, модуляторах и импульсных схемах										
		$p-n-p$, кремний										
		IV.33, a										
		Усиление и генерирование колебаний низких частот										

• Цислитель дроби — ток, знаменатель — напряжение.

Основные данные транзисторов малой мощности среднечастотных

Наименование параметра	Обозначение	Единица измерения	Тип транзистора									
			П29	П29А	П30	П307	П307А	П307Б	П307В	П307Г	П308	П309
Параметры постоянного тока * начальный ток коллекторного перехода при напряжении на коллекторе, ϵ	$I_{к.60}$	мкА	4/12	4/12	4/12	20/80	20/80	20/80	20/80	20/60	20/120	20/120
начальный ток эмиттерного перехода при напряжении $U_{э, 60}$	$I_{э.60}$	мкА	4/12	4/12	4/12	10/3	10/3	10/3	10/3	50/60	50/120	50/120
Режим измерения параметров напряжение на коллекторе	$U_{к}$	ϵ	0,5	0,5	0,5	20	20	20	20	20	20	20
ток коллектора	$I_{к}$	мА	20	20	20	10	10	10	10	10	10	10
Малосигнальные параметры входное сопротивление	R_{116}	Ом	—	—	—	70	70	70	70	70	70	70
коэффициент передачи тока	$\beta_{21э}$	—	20—50	40—100	80—180	16—50	30—90	50—150	50—150	16—50	30—90	16—50
коэффициент обратной связи	β_{126}	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
выходная проводимость	β_{226}	максим	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Высокочастотные параметры границая частота коэффициента передачи тока	$f_{г216}$	МГц	5,0	5,0	10	20	20	20	20	20	20	20
емкость коллектора	$C_{к}$	пф	20	20	20	—	—	—	—	—	—	—

постоянная времени цепи коллектора	$t_{\text{б.с.к}}$	псек	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Коэффициент шума	$F_{\text{ш}}$	дБ	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Пределные параметры напряжение коллектор — база при х. х. в цепи эмиттера	$U_{\text{к.б.о}}$	в	12	12	12	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	120
напряжение коллектор — эмиттер при сопротивлении в цепи базы	$U_{\text{к.эR}}$	в	10	10	10	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	120
постоянный ток коллектора	$I_{\text{кт}}$	ма	—	—	—	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
ток коллектора в импульсном режиме	$I_{\text{кМ}}$	ма	100	100	100	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120
постоянная мощность, рассеиваемая транзистором без теплоотвода	$P_{\text{т}}$	мвт	30	30	30	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250
Тепловые параметры	$T_{\text{макс}}$	°С	+85	+85	+85	+85	+85	+85	+85	+85	+85	+85	+85	+85	+85	+85	+85	+85
максимальная температура перехода	$T_{\text{мин}}$	°С	-55	-55	-55	-40	-40	-40	-40	-40	-40	-40	-40	-40	-40	-40	-40	-40
минимальная температура перехода	$R_{\text{п.с}}$	°С/мвт	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
тепловое сопротивление перехода — среда	Переход, материал		p-n-p, германий															
Тип перехода, материал	Рисунок		IV.33, а															
Конструкция и расположение выводов			IV.33, а															
Основное назначение	Назначение		Работа в импульсных схемах, переключателях и модуляторах															

* Числитель дроби — ток, знаменатель — напряжение.

Работа в широкополосных и высоковольтных усилителях

Основные данные транзисторов малой мощности высокочастотных

Наименование параметра	Обозначение	Единица измерения	Тип транзистора				
			П401	П402	П403	П403А*	П410
Параметры постоянного тока* начальный ток коллекторного перехода при напряжении на коллекторе, ϵ	$I_{к, 60}$	мкА	10/5	5/5	5/5	5/5	2/5
начальный ток эмиттерного перехода при напряжении $U_{э, 60}$, ϵ	$I_{э, 60}$	мкА	100/0,75	100/0,75	100/1	100/0,75	—
Режим измерения параметров напряжение на коллекторе	$U_{к}$	ϵ	5	5	5	5	5
ток коллектора	$I_{к}$	мА	5	5	5	5	5
Малосигнальные параметры входное сопротивление	h_{116}	ом	15	15	15	15	—
коэффициент передачи тока	$h_{21э}$	—	16—300	16—250	30—100	16—200	27—120
коэффициент обратной связи	$h_{12б}$	—	—	—	—	—	—
выходная проводимость	$h_{22б}$	мкс/м	5	5	5	5	10
Высокочастотные параметры предельная частота коэффициента передачи тока	f_T	МГц	30**	60**	120**	200**	200**
емкость коллектора	$C_{к}$	пФ	15	10	10	10	5
постоянная времени цепи коллектора	$\tau_{бC_{к}}$	нсек	3500	1000	500	500	300

Коэффициент шума	$F_{ш}$	дБ	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Пределные параметры напряжение коллектор — база при х. цепи эмиттера	$U_{к.б.о}$	В	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	5
	$U_{к.эR}$	В	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	8
постоянный ток коллектора	$I_{кп}$	мА	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
	$I_{кМ}$	мА	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
постоянная мощность, рассеиваемая транзистором без теплоотвода	$P_{п}$	мВт	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	$T_{макс}$	°С	+85	+85	+85	+85	+85	+85	+85	+85	+85	+85	+85
Тепловые параметры максимальная температура перехода	$T_{мин}$	°С	-50	-50	-50	-50	-50	-50	-50	-50	-50	-50	-55
	$R_{п.с}$	°С/мВт	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	—
Тип перехода, материал	Переход, материал $p-n-p$, германий												
Конструкция и расположение выводов	Рисунок IV.33, г												
Основное назначение	Назначение Усиление и генерирование электрических сигналов в диапазоне коротких волн												
											Работа в схемах усилителей и генераторов на СВЧ		

Обозначение	Единица измерения	Тип транзистора											
		П410А	П411	П411А	П416	П416А	П416Б	П417	П417А	КТ301	КТ301А	КТ301Б	КТ301В
$I_k, 60$	мкА	2/5	2/5	2/5	3/10	3/10	3/10	3/10	3/10	40/20	40/20	40/30	40/30
$I_s, 60$	мкА	—	—	—	150/2	150/2	150/2	30/0,5	30/0,5	50/3	50/3	50/3	50/3
U_k	е	5	5	5	5	5	5	5	5	10	10	10	10
I_k	мА	5	5	5	5	5	5	5	5	3	3	3	3
h_{116}	ом	—	—	—	—	—	—	10	10	—	—	—	—
h_{219}	—	80—250	27—120	80—250	20—80	60—125	90—250	24—10	65—20	20—60	40—120	10—32	20—60
h_{126}	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
β_{226}	мксим	10	10	10	5	5	5	10	10	3	3	3	3
f_T	МГц	200**	400**	400**	40	60	80	200**	200**	30**	30**	30**	30**
C_k	пф	5	5	5	8	18	8	5	5	10	10	10	10

$\tau_{\text{ГК}}$	псек	300	200	200	500	500	500	400	400	2000	2000	4500	4500
$F_{\text{ш}}$	дБ	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
$U_{\text{к. б. о}}$	е	5	5	5	10	10	10	—	—	20	20	30	30
$U_{\text{к. эР}}$	е	8	8	8	12	12	12	8	8	20	20	30	30
$I_{\text{кТ}}$	мА	20	20	20	25	25	25	10	10	10	10	10	10
$I_{\text{кМ}}$	мА	—	—	—	120	120	120	—	—	—	—	—	—
$P_{\text{т}}$	мвт	100	100	100	100	100	100	50	50	150	150	150	150
$T_{\text{макс}}$	°С	+85	+85	+85	+85	+85	+85	+85	+85	+85***	+85***	+85***	+85***
$T_{\text{мин}}$	°С	-55	-55	-55	-55	-55	-55	-55	-55	-55	-55	-55	-55
$R_{\text{л. с}}$	°С/мвт	—	—	—	0,4	0,4	0,4	0,5	0,5	0,6	0,6	0,6	0,6
Переход, материал		$p-n-p$, германий			$p-n-p$, германий			$p-n-p$, германий			$n-p-n$, кремний		
Рисунок		IV.33, б			IV.33, в			IV.33, е			IV.33, ж		
Назначение		Работа в схемах усилителей и генераторов на СВЧ			Усиление и генерирование электрических колебаний, работа в импульсных схемах			Усиление и генерирование сигналов СВЧ			Усиление и генерирование электрических сигналов на частотах до 60 МГц		

Обозначение	Единица измерения	Тип трансистора											
		КТ301Г	КТ301Д	КТ301Е	КТ301Ж	ГТ308А	ГТ308Б	ГТ308В	ГТ309А	ГТ309Б	ГТ309В	ГТ309Г	ГТ309Д
$I_{к. 60}$	мкА	40/20	40/20	40/20	40/20	5/15	5/15	5/15	5/15	5/5	5/5	5/5	5/5
$I_{с. 60}$	мкА	50/3	50/3	50/3	50/3	50/2	50/2	50/2	30/1,5	30/1,5	30/1,5	30/1,5	30/1,5
$U_{к}$	е	10	10	10	10	5	5	5	5	5	5	5	5
$I_{к}$	мА	3	3	3	3	5	5	5	1	1	1	1	1
h_{116}	ом	—	—	—	—	30	30	30	38	38	38	38	38
$h_{21э}$	—	10—32	20—60	40—120	80—300	20—25	50—120	80—200	20—70	60—180	20—70	60—180	20—70
h_{126}	—	—	—	—	—	$1 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-3}$	—	—	—	—	—
h_{226}	мкс/см	3	3	3	3	4,5	4,5	4,5	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
f_T	МГц	60 **	60 **	60 **	60 **	90	120	120	120	80	80	80	40
$C_{к}$	пФ	10	10	10	10	8	8	8	10	10	10	10	10

$t_{\text{с.к}}$	лсек	2000	2000	2000	2000	400	400	500	500	500	1000	1000	1000
$F_{\text{ш}}$	дб	—	—	—	—	—	—	8	—	6	—	6	—
$U_{\text{к.б.о}}$	е	20	20	20	20	20	20	20	10	10	10	10	10
$U_{\text{к.эR}}$	е	20	20	20	20	12	12	12	10	10	10	10	10
$I_{\text{кп}}$	ма	10	10	10	10	50	50	50	10	10	10	10	10
$I_{\text{кМ}}$	ма	—	—	—	—	120	120	120	—	—	—	—	—
$P_{\text{т}}$	вт	150	150	150	150	150	150	150	50	50	50	50	50
$T_{\text{макс}}$	°С	+85***	+85***	+85***	+85***	+85	+85	+85	+70	+70	+70	+70	+70
$T_{\text{мин}}$	°С	-55	-55	-55	-55	-55	-55	-55	-25	-25	-25	-25	-25
$R_{\text{п.с}}$	°С/вт	0,6	0,6	0,6	0,6	0,25	0,25	0,25	1	1	1	1	1
Переход, материал		<i>п-р-п, кремний</i>											
Рисунок		<i>IV.33, ж</i>											
Назначение		Усиление и генерирование электрических сигналов на частотах до 60 МГц											
		Усиление и генерирование электрических колебаний, работа в импульсных схемах											
		Работа в каскадах усиления и гетеродинах радиовещательных приемников											
		<i>IV.34, а</i>											
		<i>IV.34, б</i>											

р-п-р, германий

IV.34, б

р-п-р, германий

IV.34, а

п-р-п, кремний

IV.33, ж

р-п-р, германий

IV.34, а

р-п-р, германий

IV.34, б

Обозначение	Единица измерения	Тип транзистора											
		ГТ309Е	ГТ310А	ГТ310Б	ГТ310В	ГТ310Г	ГТ310Д	ГТ310Е	ГТ311Е	ГТ311Ж	ГТ311И	КТ312А	КТ312Б
<i>I_к</i> , 60	мкА	5/5	5/5	5/5	5/5	5/5	5/5	5/5	5/5	10/12	10/12	10/15	10/15
<i>I_с</i> , 60	мкА	30/1,5	—	—	—	—	—	—	—	15/2	15/2	10/4	10/4
<i>U_к</i>	е	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	2	2
<i>I_к</i>	мА	1	1	1	1	1	1	1	1	5	5	20	20
<i>h₁₁₆</i>	ом	38	38	38	38	38	38	38	38	29	29	—	—
<i>h_{21э}</i>	—	60—180	20—70	60—180	20—70	60—180	20—70	60—180	15—80	50—200	100—300	10—100	25—100
<i>h₁₂₆</i>	—	—	—	—	—	—	—	—	1,5·10 ⁻³	1,5·10 ⁻³	1,5·10 ⁻³	—	—
<i>h₂₂₆</i>	мкс/м	5,0	3	3	3	3	3	3	2	2	2	—	—
<i>f_т</i>	МГц	40	160	160	120	120	80	80	250	300	450	80	120
<i>C_к</i>	пФ	10	4	4	5	5	5	5	2,5	2,5	2,5	5	5
<i>r_{бСк}</i>	псек	1000	300	300	300	300	500	500	75	100	75	500	500

$F_{ш}$	дБ	—	3	3	4	4	4	4	—	—	—	—
$U_{к. б.о}$	е	10	12	12	12	12	12	12	12	12	10	15
$U_{к. эR}$	е	10	10	10	10	10	10	10	12	12	10	15
$I_{кп}$	ма	10	10	10	10	10	10	10	50	50	50	30
$I_{кМ}$	ма	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
$P_{п}$	мвт	50	20	20	20	20	20	20	150	150	150	225
$T_{макс}$	°С	+70	+75	+75	+75	+75	+75	+75	+75	+75	+75	+85 ***
$T_{мин}$	°С	-25	-20	-20	-20	-20	-20	-20	-40	-40	-40	-40
$R_{п, с}$	°С/мвт	1	2	2	2	2	2	2	0,3	0,3	0,3	—
Переход, материал	$p-n-p$, германий	$p-n-p$, германий										
Рисунок	IV.34, б	IV.33, в										
Назначение	Работа в каскадах усиления и гетеродинах радиовещательных приемников	Усиление, генерирование и преобразование электрических колебаний высокой частоты в радиовещательных приемниках					Работа в радиоприемной аппаратуре на высоких частотах			Работа в видеоусилителях телевизоров и устройств вычислительной техники		

Обозначение	Единица измерения	Тип транзистора											
		КТ312В	ГТ313А	ГТ313Б	КТ315А	КТ315Б	КТ315В	КТ315Г	ГТ320А	ГТ320Б	ГТ320В	ГТ321А	
$I_{к.60}$	мкА	10/15	3/12	3/12	1/25	1/40	1/20	1/35	2/5	2/5	2/5	50/60	
$I_{э.60}$	мкА	10/4	10/0,25	10/0,25	—	—	—	—	100/2	100/2	100/2	—	
$U_{к}$	В	2	5	5	10	10	10	10	5	5	5	3	
$I_{к}$	мА	20	5	5	5	5	5	5	5	5	5	500	
h_{116}	ом	—	30	30	—	—	—	—	7	7	7	—	
$h_{21э}$	—	50—280	20—250	20—250	20—90	20—90	70—350	70—350	30—100	50—120	80—250	20—60	
h_{126}	—	—	2,5·10 ⁻³	2,5·10 ⁻³	—	—	—	—	1,2·10 ⁻³	1,2·10 ⁻³	1,2·10 ⁻³	—	
h_{226}	мкс/м	—	5	5	—	—	—	—	3	3	3	—	
$I_{Т}$	МГц	120	300	450	250	250	250	250	80	80	80	60	
$C_{к}$	пФ	5	2,5	2	7	—	—	—	8	8	8	80	

$r_{C_{\text{к}}}$	псек	500	75	75	300	500	500	500	500	500	500	600	600
$F_{\text{ш}}$	дб	—	—	7	—	—	—	—	—	—	—	—	—
$U_{\text{к. б. о}}$	е	15	15	15	—	—	—	—	—	20	20	20	60
$U_{\text{к. сR}}$	е	15	15	15	25	40	20	35	12	11	9	9	50
$I_{\text{кп}}$	ма	30	10	10	100	100	100	100	150	150	150	150	200
$I_{\text{кM}}$	ма	—	—	—	—	—	—	—	300	300	300	300	2000
$P_{\text{т}}$	мвт	225	100	100	150	150	150	150	200	200	200	200	160
$T_{\text{макс}}$	°C	+85***	+75	+75	+100***	+100***	+100***	+100***	+70	+70	+70	+70	+85
$T_{\text{мин}}$	°C	-40	-20	-20	-55	-55	-55	-55	-55	-55	-55	-55	-55
$R_{\text{п. с}}$	°C/мвт	—	—	—	—	—	—	—	0,225	0,225	0,225	0,225	0,25

Переход, материал — л — р — л, кремний р — л — р, германий

Рисунок	IV.34, з	IV.34, е	IV.34, д	IV.34, а
Назначение	Работа в видеоусилителях телевизоров и устройствах вычислительной техники	Работа в усилителях, гетеродинных и преобразователях телевизионных и радиовещательных приемников	Работа в усилителях, гетеродинных и преобразователях телевизионных и радиовещательных приемников	Усиление и генерирование электрических колебаний высокой частоты, работа в импульсных схемах

Обозначение	Единица измерения	Тип транзистора											
		ГТ321Б	ГТ321В	ГТ321Г	ГТ321Д	ГТ321Е	ГТ322А	ГТ322Б	ГТ322В	ГТ322Г	ГТ322Д	ГТ322Е	
I_k , 60	мкА	500/60	500/60	500/45	500/45	500/45	4/10	4/10	4/10	4/10	4/10	4/10	4/10
I_s , 60	мкА	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
U_k	е	3	3	3	3	3	5	5	5	5	5	5	5
I_k	мА	500	500	500	500	500	1	1	1	1	1	1	1
β_{116}	ом	—	—	—	—	—	30	30	30	30	30	30	30
β_{219}	—	40—120	80—200	20—60	40—120	80—200	20—70	50—120	20—70	50—120	20—70	50—120	50—120
β_{126}	—	—	—	—	—	—	6·10 ⁻³	6·10 ⁻³	6·10 ⁻³	6·10 ⁻³	6·10 ⁻³	6·10 ⁻³	6·10 ⁻³
β_{226}	мксим	—	—	—	—	—	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
f_T	МГц	60	60	60	60	60	80	80	80	80	80	80	80
C_K	пф	80	80	80	80	80	1,8	1,8	2,5	2,5	1,8	1,8	1,8

$t_{\text{Ск}}$	сек	600	600	600	600	600	600	200	200	200	200	200	200
$F_{\text{ш}}$	дБ	—	—	—	—	—	—	4	4	4	4	4	4
$U_{\text{к.б.о}}$	в	60	45	45	45	45	15	15	15	15	15	15	15
$U_{\text{к.эR}}$	в	50	40	40	40	40	10	10	10	10	10	10	6
$I_{\text{кп}}$	ма	200	200	200	200	200	5	5	5	5	5	5	5
$I_{\text{к.М}}$	ма	2000	2000	2000	2000	2000	14	14	14	14	14	14	14
$P_{\text{т}}$	мвт	160	160	160	160	160	50	50	50	50	50	50	50
$T_{\text{макс}}$	°С	+85	+85	+85	+85	+85	+85	+60	+60	+60	+60	+60	+60
$T_{\text{мин}}$	°С	-55	-55	-55	-55	-55	-55	-40	-40	-40	-40	-40	-40
$R_{\text{т.с}}$	°С/мвт	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
Переход, материал													$P - n - P$, германий
Рисунок													IV.34, а
Усиление и генерирование электрических колебаний высокой частоты и работа в импульсных схемах													IV.34, б
Назначение													Работа в УПЧ радиовещательных приемников и приемо-усилительной аппаратуре различного назначения

• Числитель дроби — ток, знаменатель — напряжение. ** Частота генерации $f_{\text{г}}$. *** Температура окружающей среды.

Основные данные транзисторов средней мощности низкочастотных

Наименование параметра	Обозначение	Единица измерения	Тип транзистора					
			П201Э	П201АЭ	П202Э	П203Э		
Параметры постоянного тока* входной ток коллекторного перехода при напряжении на коллекторе, θ	$I_{к. 60}$	мкА	400/20	400/20	400/20	400/20	100/35	100/60
начальный ток эмиттерного перехода при напряжении $U_{э. б. \theta}$	$I_{э. 60}$	мкА	400/10	400/10	400/10	400/10	1000/35	1000/60
Режим измерения параметров напряжение на коллекторе	$U_{к}$	θ	10	10	10	10	10	10
ток коллектора	$I_{к}$	мА	200	200	200	200	120	120
Усиленные параметры коэффициент передачи тока	$\beta_{21\theta}$	—	>20	>40	>20	**	10—35	>6
Граничная частота усиления по току	$f_{H21\theta}$	кГц	100	200	100	200	200	100
Предельные параметры напряжение коллектор — база при х. х. в цепи эмиттера	$U_{к. б. о}$	θ	45	45	70	70	35	60
напряжение коллектор — эмиттер при сопротивлении в цепи базы	$U_{к. эР}$	θ	30	30	55	55	35	60

напряжение эмиттер — база	$U_{э.б}$	е	—	—	—	—	—	6	10
постоянный ток коллектора	$I_{кп}$	а	1,5	1,5	2,0	—	—	0,5	0,5
постоянный ток базы	$I_{бп}$	а	—	—	—	—	—	0,2	0,2
постоянная мощность, рассеиваемая транзистором без теплоотвода	$P_{п}$	вт	1,0	1,0	1,0	—	—	1,0	1,0
постоянная мощность, рассеиваемая транзистором с теплоотводом	$P_{п}^T$	вт	10	10	10	—	—	7	10
Тепловые параметры	$T_{макс}$	°С	+85	+85	+85	—	—	+125	+125
максимальная температура перехода	$T_{мин}$	°С	—55	—55	—55	—	—	—55	—55
минимальная температура перехода	$R_{п.к}$	°С/вт	3,5	3,5	3,5	—	—	10	10
тепловое сопротивление переход — корпус	$R_{п.с}$	°С/вт	—	—	—	—	—	100	100
тепловое сопротивление переход — среда	Переход, материал								
Тип перехода, материал	р-п-р, германий								
Конструкция и расположение выводов	Рисунок								
Основное назначение	Назначение								
	Усиление мощности на низких частотах, преобразование напряжения и тока								
	Работа в низкочастотных усилителях мощностей, переключающих и преобразовательных напряжения и тока								

Обозначение	Единица измерения	Тип транзистора											
		П303А	П304	П306	П306А	ГТ403А	ГТ403Б	ГТ403В	ГТ403Г	ГТ403Д	ГТ403Е	ГТ403Ж	ГТ403И
$I_{к. б}$	мкА	100/60	100/80	100/60	100/80	50/45	50/45	50/60	50/60	50/60	50/60	40/80	70/80
$I_{э. б}$	мкА	1000/60	1000/60	1000/60	1000/80	50/30	50/30	50/45	50/45	50/45	50/45	70/80	70/80
$U_{к}$	е	10	10	10	10	5	5	6	5	5	5	5	5
$I_{к}$	мА	120	120	120	120	100	100	100	100	100	100	100	100
$h_{21э}$	—	≥ 6	> 5	7—30	5—50	20—60	50—150	20—60	50—150	50—150	30***	20—60	50—150
$f_{h21э}$	кГц	100	50	50	50	160	400	160	300	300	240	160	400
$U_{к. б. о}$	е	60	80	60	80	45	45	60	60	60	60	80	80
$U_{к. эR}$	е	60	80	60	80	30	30	45	45	45	45	60	60
$U_{э. б}$	е	2,5	10	6	4	20	20	20	20	20	20	20	20
$I_{кR}$	а	0,5	0,5	0,4	0,4	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25
$I_{бR}$	а	0,2	0,2	—	—	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4

P_m	вт	1	1	1	1	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
P_m^T	вт	10	10	10	10	4,0	4,0	5,0	4,0	4,0	5,0	4,0	5,0	4,0
T_{\max}	°С	+125	+125	+125	+125	+85	+85	+85	+85	+85	+85	+85	+85	+85
T_{\min}	°С	-55	-55	-55	-55	-60	-60	-60	-60	-60	-60	-60	-60	-60
$R_{п.к}$	°С/вт	10	10	10	10	15	15	15	15	15	15	15	15	15
$R_{п.с}$	°С/вт	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

р — п — р, германий

IV.35,б

Работа в схемах переключения, выходных каскадах усилителей НЧ, преобразователях и стабилизаторах напряжения и тока

р — п — р, кремний

IV.35,в

Работа в низкочастотных усилителях мощности, переключателях и преобразователях напряжения и тока

* Числитель дробей — ток, знаменатель — напряжение. ** Крутизна переходной вольт-амперной характеристики $\mu_{213} = 1,2 - 1,8$ а/в.
 *** При $U_k = 5$ в и $I_k = 450$ ма.

Основные данные транзисторов средней мощности среднечастотных

Наименование параметра	Обозначение	Единица измерения	Тип транзистора										
			П601И	П601АИ	П601БИ	П602И	П602АИ	П605	П605А	А606	П606А	П701	П701А
Параметры постоянного тока * начальный ток коллекторного перехода при напряжении $U_{к.б.в}$	$I_{к.б.в}$	мА	0,2/10	0,1/10	0,13/10	0,1/10	0,13/10	2/45	2/45	2/35	2/35	0,1/40	0,5/60
начальный ток эмиттерного перехода при напряжении $U_{э.б.в}$	$I_{э.б.в}$	мА	1/0,5	1/0,5	1/0,5	1/0,5	1/0,5	1/1	1/1	1/0,5	1/0,5	3/3	3/3
Режим измерения параметров напряжение на коллекторе	$U_{к}$	В	3	3	3	3	3	3	3	3	3	10	10
ток коллектора	$I_{к}$	А	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Усижительные параметры коэффициент передачи тока	$h_{21э}$		20	40—100	80—200	40—100	80—200	20—60	40—120	20—60	40—120	10—40	15—60
пределная частота усиления по току в схеме с общим эмиттером	f_T	МГц	20	20	20	30	30	—	—	—	30	7,5	7,5
емкость коллекторного перехода	$C_{к}$	пФ	170	170	170	170	170	130	130	130	130	150	150
емкость эмиттерного перехода	$C_{э}$	пФ	2500	2500	2500	2500	2500	2000	2000	2000	2000	—	—
постоянная времени цепи коллектора	$\tau_{Ск}$	пек	750	750	750	750	750	500	500	500	500	8500	8500
Предельные параметры напряжение коллектор — база при х. х. в цепи эмиттера	$U_{к.б.о}$	В	25	30	30	30	25	45	45	35	35	40	60

напряжение коллектор-эмиттер при сопротивлении цепи базы	$U_{к. эR}$	θ	25	30	30	30	25	40	40	25	25	30	60
напряжение эмиттер — база	$U_{э, б}$	θ	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	1	1	0,5	0,5	2	2
постоянный ток коллектора	$I_{кт}$	α	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0,5	0,5
импульсный ток коллектора	$I_{к. М}$	α	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,0	1,0
постоянный ток базы	$I_{бт}$	α	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
импульсный ток базы	$I_{б. М}$	α	—	—	—	—	—	0,5	0,5	0,5	0,5	—	—
постоянная мощность, рассеиваемая транзистором с теплоотводом	$P_{т}$	$\alpha т$	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	1	1
постоянная мощность, рассеиваемая транзистором с теплоотводом	$P_{т}^*$	$\alpha т$	3	3	3	3	3	3	3	3	3	10	10
Тепловые параметры													
максимальная температура перехода	T_{\max}	$^{\circ}C$	+85	+85	+85	+85	+85	+85	+85	+85	+85	+150	+150
минимальная температура перехода	T_{\min}	$^{\circ}C$	-50	-50	-50	-50	-50	-60	-60	-60	-60	-55	-55
тепловое сопротивление переход-корпус	$R_{п. к}$	$^{\circ}C/вт$	15	15	15	15	15	15	15	15	15	10	10
тепловое сопротивление переход — среда	$R_{п. с}$	$^{\circ}C/вт$	50	50	50	50	50	50	50	50	50	85	85
Тип перехода, материал		Переход, материал	$P-n-p$, германий										$n-p-n$, кремний
Конструкция и расположение выводов		Рисунок	IV.36, а										IV.36, б
Основное назначение		Назначение	Работа в высокочастотных и импульсных схемах										Работа в усилителях, генераторах и импульсных схемах на частотах до 30 МГц

* Числитель дроби — ток, знаменатель — напряжение.

Основные данные транзисторов средней мощности высокочастотных

Наименование параметра	Обозначение	Единица измерения	Тип транзистора				
			КТ601А	КТ602А	КТ602Б	КТ602В	
Параметры постоянного тока * начальный ток коллекторного перехода при напряжении на коллекторе $U_K, \text{ в}$	$I_K, \text{ мА}$	мкА	—	70/120	70/120	70/80	70/80
	$I_3, \text{ мА}$	мкА	50/2	50/5	50/5	50/5	50/5
начальный ток эмиттерного перехода при напряжении $U_3, \text{ в}$							
Режим измерения параметров напряжение на коллекторе	U_K	в	20	10	10	10	10
ток коллектора	I_K	мА	10	10	10	10	10
Усиленные параметры коэффициент передачи тока	$\beta_{21з}$	—	> 16	20—80	> 50	15—80	> 50
предельная частота усиления по току в схеме с общим эмиттером	f_T	МГц	40	150	150	150	150
емкость коллекторного перехода	C_K	пф	15	4	4	4	4
емкость эмиттерного перехода	C_3	пф	—	25	25	25	25
постоянная времени цепи коллектора	τ_{0C_K}	нсек	600	300	300	300	300

Пределы параметры напряжение коллектор — база при х. х. в цепи эмиттера	$U_{к. б. о}$	ϵ	100	120	120	80	80
	$U_{к. эR}$	ϵ	100	100	100	70	70
напряжение эмиттер — база	$U_{э. б}$	ϵ	2	5	5	5	5
	$I_{кп}$	$ма$	30	75	75	75	75
импульсный ток коллектора	$I_{к. М}$	$ма$	—	500	500	500	500
	$I_{бп}$	$ма$	—	—	—	—	—
импульсный ток базы	$I_{б. М}$	$ма$	—	—	—	—	—
	$P_{п}$	$вт$	0,5	0,85	0,85	0,85	0,85
постоянная мощность, рассеиваемая транзистором без теплоотвода	$P_{т}$	$вт$	—	2,8	2,8	2,8	2,8
	$T_{макс}$	$^{\circ}C$	+150	+120	+120	+120	+120
Тепловые параметры	$T_{мин}$	$^{\circ}C$	-20	-40	-40	-40	-40
	$R_{п. к}$	$^{\circ}C/вт$	—	45	45	45	45
тепловое сопротивление переход — корпус	$R_{п. с}$	$^{\circ}C/вт$	250	150	150	150	150
	Тип перехода, материал	Переход, материал	$n-p-n$, кремний	$n-p-n$, кремний			
Конструкция и расположение выводов	Рисунок	IV.37, а	IV.37, б				
Основное назначение	Назначение	Работа в виде каскадах телеприемников	Генерирование и усиление сигналов на частотах до 150 МГц				

* Числитель дроби — ток, знаменатель — напряжение.

Обозначение	Единица измерения	Тип транзистора									
		П1607	П1607А	П1608	П1608А	П1608Б	П1609	П1609А	П1609Б		
I_k , 60	мкА	300/30	300/30	300/30	300/30	500/50	300/30	300/30	500/50	500/50	
I_s , 60	мкА	500/1,5	500/1,5	500/1,5	500/1,5	500/1,5	500/1,5	500/1,5	500/1,5	500/1,5	
U_k	е	3	3	3	3	3	3	3	3	3	
I_k	мА	250	250	250	250	250	250	250	250	250	
$h_{21э}$	—	20—80	60—200	40—120	80—240	40—120	40—120	40—120	80—240	80—240	
f_T	МГц	60	60	90	90	90	120	120	120	120	
C_k	пФ	50	50	50	50	50	50	50	50	50	
C_s	пФ	500	500	500	500	500	550	500	500	500	
$r_{бк}$	псек	500	500	500	500	500	500	500	500	500	

$U_{к. б. с}$	в	30	30	30	50	30	30	30	50
$U_{к. з. R}$	в	25	25	25	40	25	25	25	40
$U_{з. с}$		1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
$I_{к. т}$	мА	300	300	300	300	300	300	300	300
$I_{к. M}$	мА	600	600	600	600	600	600	600	600
$I_{б. т}$	мА	—	—	—	—	—	—	—	—
$I_{б. M}$	мА	150	150	150	150	150	150	150	150
P_m	мВт	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
ρ^T т	вт	—	—	—	—	—	—	—	—
$I_{макс}$	°С	+85	+85	+85	+85	+85	+85	+85	+85
$I_{мин}$	°С	-50	-50	-50	-50	-50	-50	-50	-50
$R_{п. к}$	°С/вт	2	2	2	2	2	2	2	2
$R_{п. с}$	°С/вт	—	—	—	—	—	—	—	—
Перезащ, материал									
Резистор									
IV. 37, а									
с — п — р, германий									

Работа в генераторах коротких и ультракоротких волн и импульсных схемах

• Числитель дроби — ток, знаменатель — напряжение.

постоянный ток базы	$I_{бт}$	a	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	0,5	0,5
постоянная мощность, рассеиваемая транзистором без теплоотвода	$P_{т}$	$вт$	2	2	2	2	2	—	—
постоянная мощность, рассеиваемая транзистором с теплоотводом	$P_{т}^T$	$вт$	20	20	20	20	20	11,5	10
Тепловые параметры	$T_{макс}$	$^{\circ}C$	+85	+85	+85	+85	+85	+85	+85
максимальная температура перехода	$T_{мин}$	$^{\circ}C$	-55	-55	-55	-55	-55	-60	-60
минимальная температура перехода	$R_{п.к}$	$^{\circ}C/вт$	2	2	2	2	2	3,5	4,0
тепловое сопротивление переход — корпус	$R_{п.с}$	$^{\circ}C/вт$	—	—	—	—	—	35	35
тепловое сопротивление переход — среда	Переход, материал $p-n-p$, германий								
Тип перехода, материал	Рисунок								
Конструкция и расположение выводов	Рисунок			IV, 38, а			IV, 38, б		
Основное назначение	Назначение			Работа в схемах переключения выходных каскадах усилителей звуковых частот			Работа в схемах переключения, выходных каскадах усилителей НЧ, преобразователей и стабилизаторов постоянного напряжения		

Обозначение	Тип транзистора													
	Единица измерения	П213Б	П214	П214А	П214Б	П214В	П214Г	П215	П216Б	П216В	П216Г	П216Д	П217В	П217Г
I_k , мА	мА	1/45	0,3/60	0,3/60	0,15/60	1,5/60	1,5/60	0,3/80	1,5/85	2/35	2,5/50	2/50	3/60	3/60
$I_{с.60}$	мА	0,4/10	0,3/15	0,3/15	0,3/15	0,4/10	0,4/10	0,3/15	0,75/15	0,75/15	0,75/15	0,75/15	0,75/15	0,75/15
U_k	е	5	5	5	5	5	5	5	3	3	3	3	3	3
I_k	а	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	2	2	2	2	2	2
$h_{21э}$	—	>40	20—60	50—150	50—150	>20	—**	20—150	>10	>30	>5	15—30	15—40	15—40
h_{216}	к24	150	150	150	150	150	150	150	100	100	100	100	100	100
$U_{к.6.0}$	е	45	60	60	60	60	60	80	35	35	50	50	60	60
$U_{к.эR}$	е	—	45	45	45	—	—	60	35	35	50	50	60	60
$U_{с.6}$	е	10	15	15	15	10	10	15	15	15	15	15	15	15
$I_{ктп}$	а	5	5	5	5	5	5	5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5
$I_{6тп}$	а	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75

P_m	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
P_m^T	10	10	10	11,5	10	10	10	10	10	10	24	24	24	24	24	24	24
T_{\max}	+85	+85	+85	+85	+85	+85	+85	+85	+85	+85	+85	+85	+85	+85	+85	+85	+85
T_{\min}	-60	-60	-60	-60	-60	-60	-60	-60	-60	-60	-60	-60	-60	-60	-60	-60	-60
$R_{п.к}$	4,0	4,0	4,0	3,5	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
$R_{п.с}$	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35

Переход, материал	$p-n-p$, германий															
Рисунок	IV. 38. б								IV. 38. б							

Назначение	Работа в схемах переключения, выходных каскадах усилителей НЧ, преобразователях постоянного напряжения	Работа в схемах переключения, выходных каскадах усилителей НЧ, преобразователях и стабилизаторах напряжения и тока
------------	--	--

* Числитель дроби — ток, знаменатель — напряжение ** Крутизна переходной характеристики $\mu_{21\%} = 1.4-2.1$ а/в.

Основные данные транзисторов большой мощности среднечастотных

Наименование параметра	Обозначение	Единица измерения	Тип транзистора									
			П702	П702А	КТ801А	КТ801В	КТ802А	ПТ804А	ПТ804В	КТ805А	КТ805В	
Параметры постоянного тока* начальный ток коллекторного перехода при напряжении на коллекторе, ϵ	$I_{к.60}$	ма	5/70	5/70	10/80	10/60	60/150	5/100	4/140	3,5/190	10/160	10/135
			5/3	5/3	2/2,5	2/2,5	40/3	3/0,5	3/0,5	3/0,5	100/5	100/5
начальный ток эмиттерного перехода при напряжении $U_э, \epsilon$	$I_{э.60}$	ма										
Режим измерения параметров напряжение на коллекторе	$U_{к}$	ϵ	10	10	5	5	10	10	10	10	10	10
	$I_{к}$	а	1	1	1	1	2	5	5	5	2	2
Усилительные параметры коэффициент передачи тока	$h_{21э}$		>25	>10	13—50	20—100	>15	20—50	20—50	20—50	>15	>15
	граничная частота усиления по току	Мгц	4**	4**	10***	10***	10***	10	10	10	20**	20**
Пределные параметры напряжение коллектор — база при х.х. в цепи эмиттера	$U_{к.б.о}$	ϵ	60	60	80	60	150	100	140	190	180	135

напряжение коллектор — эмиттер при сопротивлении в цепи базы	$U_{к.эR}$	ϵ	60	60	80	60	120	100	140	190	160	135
напряжение эмиттер — база	$U_{э.б}$	ϵ	3	3	2,5	2,5	3	2	2	2	5	5
постоянный ток коллектора	$I_{кп}$	a	2	2	2	2	5	10	10	10	5	5
постоянный ток базы	$I_{бп}$	a	0,5	0,5	0,4	0,4	1	2	2	2	2	2
постоянная мощность, рассеиваемая транзистором без теплоотвода	$P_{п}$	ϵm	4	4	—	—	3	1,2	1,2	1,2	3	3
постоянная мощность, рассеиваемая транзистором с теплоотводом	$P_{п}^T$	ϵm	40	40	5	5	50	15	15	15	30	30
Тепловые параметры	$T_{макс}$	$^{\circ}C$	+120	+120	+150	+150	+150	+65	+65	+65	+150	+150
максимальная температура перехода	$T_{мин}$	$^{\circ}C$	-55	-55	-60	-60	-20	-25	-25	-25	-55	-55
тепловое сопротивление переход — корпус	$R_{п.к}$	$^{\circ}C/\epsilon m$	2,5	2,5	2	2	2,5	2	2	2	3,3	3,3
тепловое сопротивление переход — среда	$R_{п.с}$	$^{\circ}C/\epsilon m^+$	33	33	—	—	30	40	40	40	30	30
Тип перехода, материал	Переход, материал	$n-p-n$, кремний	$n-p-n$, кремний	$n-p-n$, кремний	$n-p-n$, кремний	$n-p-n$, кремний	$n-p-n$, кремний	$p-n-p$, германий	$p-n-p$, германий	$n-p-n$, кремний	$n-p-n$, кремний	$n-p-n$, кремний
Конструкция и расположение выводов	Рисунок	IV.39, а	IV.39, б	IV.39, в	IV.39, г	IV.39, д	IV.39, е	IV.39, з	IV.39, и	IV.39, к	IV.39, л	IV.39, м
Основное назначение	Назначение	Работа в усилительных и генераторных схемах на частотах до 5 МГц	Работа в кадровой и строчной развертке телевизоров	Работа в выходных каскадах стальной развертки телевизоров, преобразователях и импульсных схемах								

* Числитель дроби — ток, знаменатель — напряжение. ** Предельная частота усиления по току f_{T} . *** Граничная частота усиления по току f_{h2} [э].

Основные данные

Наименование параметра	Обозначение	Единица измерения	Тип				
			КП101Г	КП101Д	КП101Е	КП102Е	КП102Ж
Максимальный ток стока*	I_m	ма	2	5	5	0,55	1,0
Крутизна характеристики тока стока*	S	ма/в	0,15	0,3	0,3	0,25—0,7	0,3—0,5
Напряжение отсечки**	U_0	в	5	10	10	2,8	4,0
Ток затвора***	I_3	ма	10	50	50	15	15
Коэффициент шума****	$F_{ш}$	дб	5	10	—	10	10
Входная емкость	$C_{вх}$	пф	12	12	12	10	10
Проходная емкость	$C_{пр}$	пф	5	5	5	5	5
Максимальное напряжение между стоком и затвором	$U_{ст. макс}$	в	-10	-10	-10	-20	-20
Максимальное отрицательное напряжение на затворе	$U_3, макс$	в	Не допускается			Не допу	
Максимальная температура окружающей среды	$T_{ср. макс}$	°С	+85	+85	+85	+70	+70
Минимальная температура окружающей среды	$T_{ср. мин.}$	°С	-40	-40	-40	-55	-55
Тип перехода, материал	Переход, материал		р-п, кремний			р-п,	
Конструкция и расположение выводов	Рисунок		IV.40, а			IV.40, б;	
Основное назначение	Назначение		Работа во входных каскадах усилителей НЧ			Работа во усилителях НЧ тока	

* При $U_{ст} = -5$ в и $U_3 = 0$ для КП101, $U_{ст} = -10$ в и $U_3 = 0$ для КП103. *** При $U_3 = +5$ в для КП101, $U_3 = +10$ в для КП102, КП103. 20 кГц при закороченном затворе.

Таблица IV.25

полевых транзисторов

транзистора								
КП102И	КП102К	КП102Л	КП103Е	КП103Ж	КП103И	КП103К	КП103Л	КП103М
1,8	3,0	6,0	0,3—0,7	0,55—1,2	1,0—2,1	1,7—3,8	3,0—6,6	5,4—12
0,35—1,0	0,45—1,2	0,65—1,3	0,4—1,8	0,7—2,1	0,8—2,6	1,4—3,5	1,8—3,8	2,0—4,4
5,5	7,5	10	1,5	2,2	3,0	4,0	6,0	7,0
15	15	15	20	20	20	20	20	20
10	10	10	3	3	3	3	3	3
10	10	10	17	17	17	17	17	17
5	5	5	8	8	8	8	8	8
-20	-20	-20	-15	-15	-15	-15	-17	-17
скается			-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5
+70	+70	+70	+70	+70	+70	+70	+70	+70
-55	-55	-55	-55	-55	-55	-55	-55	-55
кремний			p-n, кремний					
IV.40, а			IV.40, б; IV.40, в					
входных каскадах и усилителей постоянного			Работа во входных каскадах усилителей НЧ и усилителей постоянного тока					

КП102, КП103. ** При $I_{CT} = 1$ мкА для КП101 и $I_{CT} = 10$ мкА для КП102,
 **** Для КП102 приводится напряжение шумов в мкВ в диапазоне частот 20 гц—

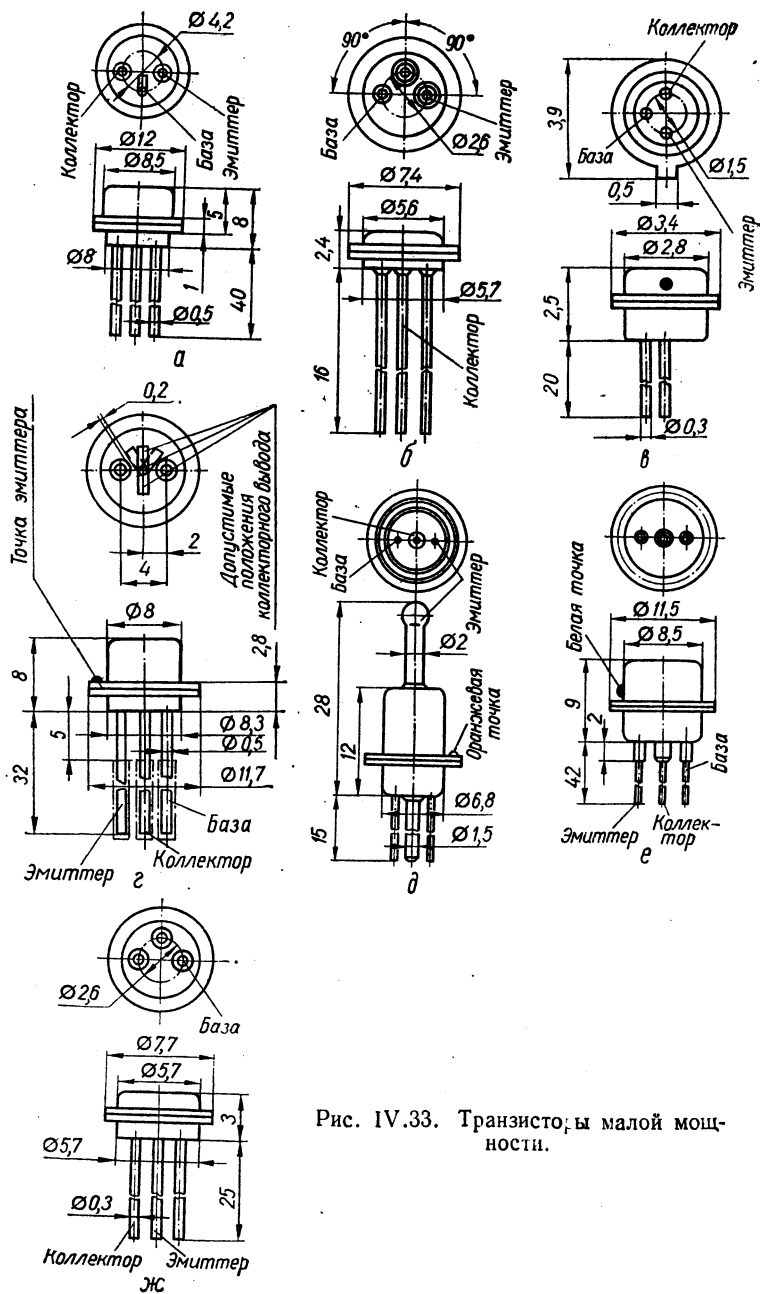


Рис. IV.33. Транзисторы малой мощности.

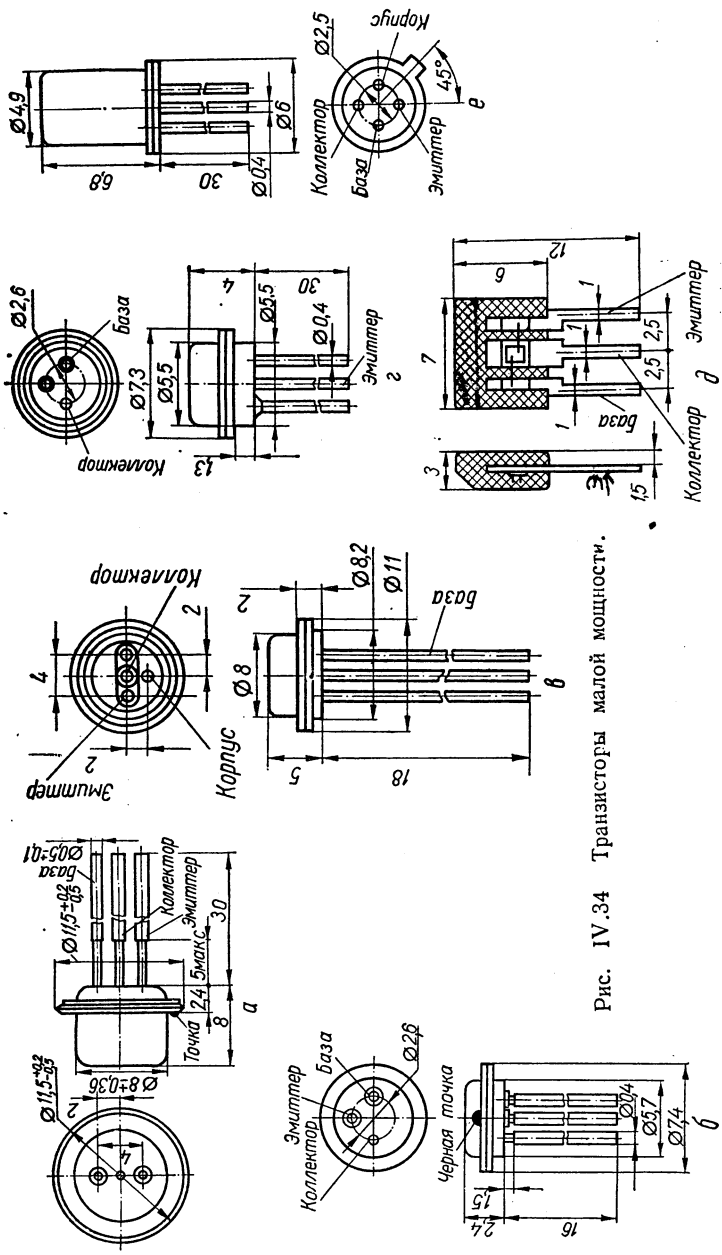


Рис. IV.34 Транзисторы малой мощности.

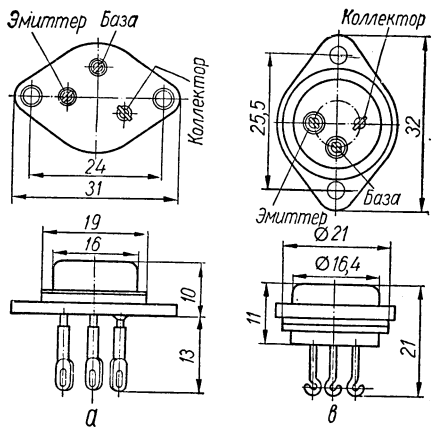


Рис. IV.35. Низкочастотные транзисторы средней мощности.

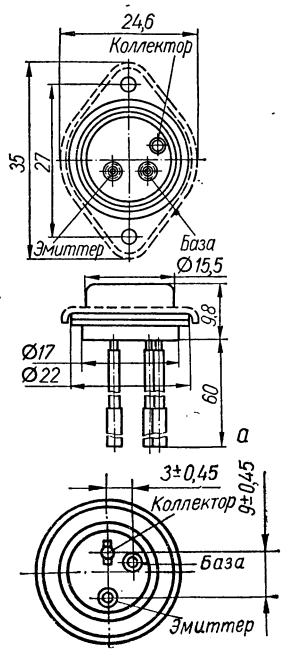
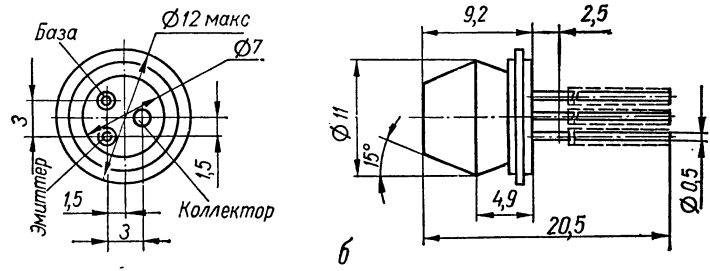
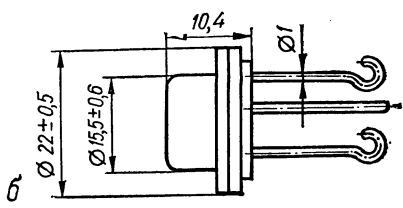


Рис. IV.36. Среднечастотные транзисторы средней мощности.



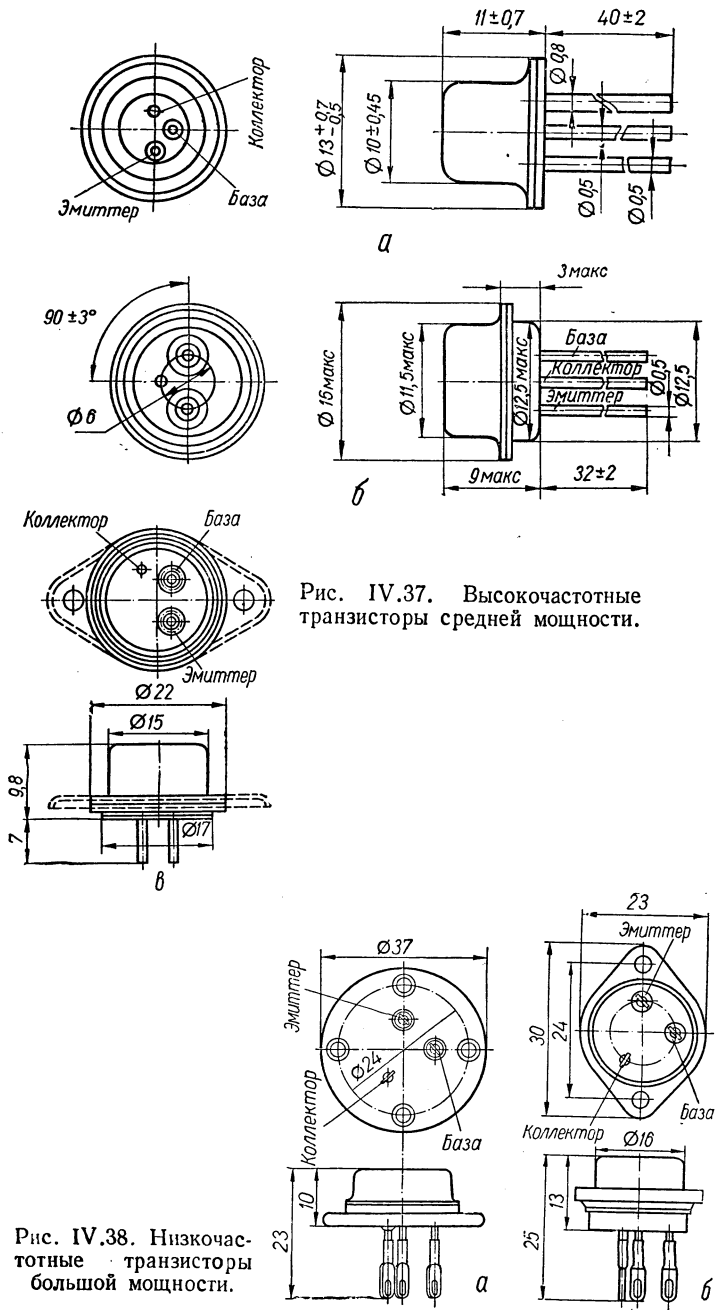


Рис. IV.37. Высокочастотные транзисторы средней мощности.

Рис. IV.38. Низкочастотные транзисторы большой мощности.

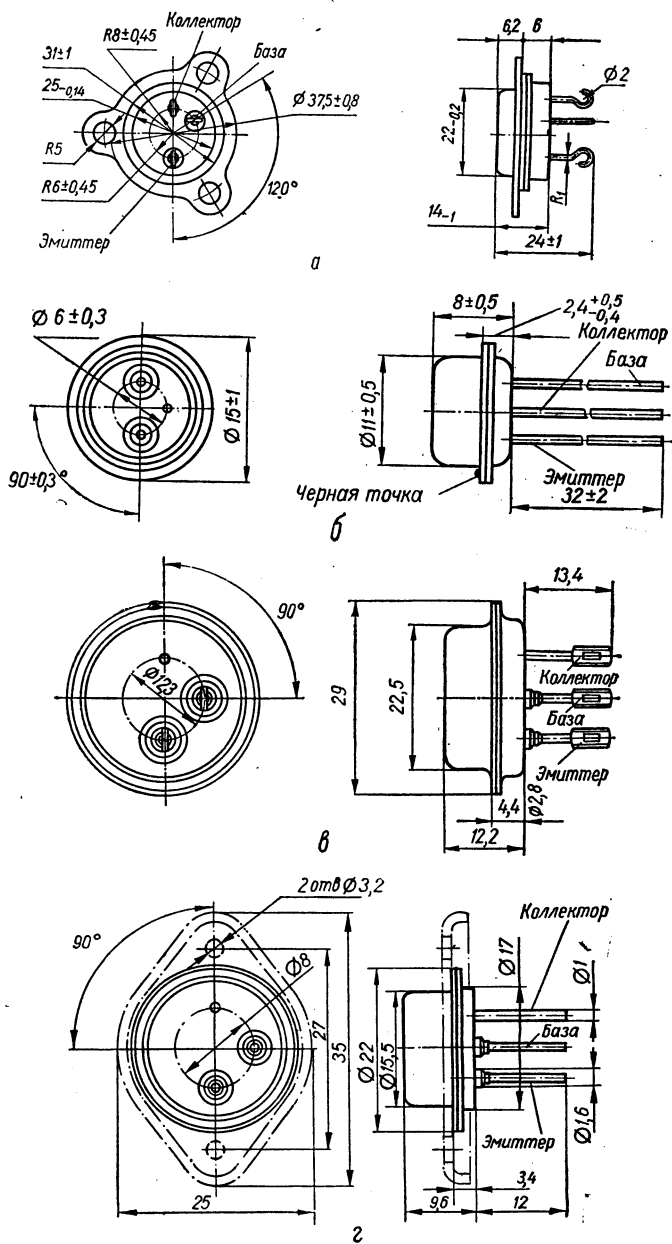


Рис. IV.39. Среднечастотные транзисторы большой мощности.

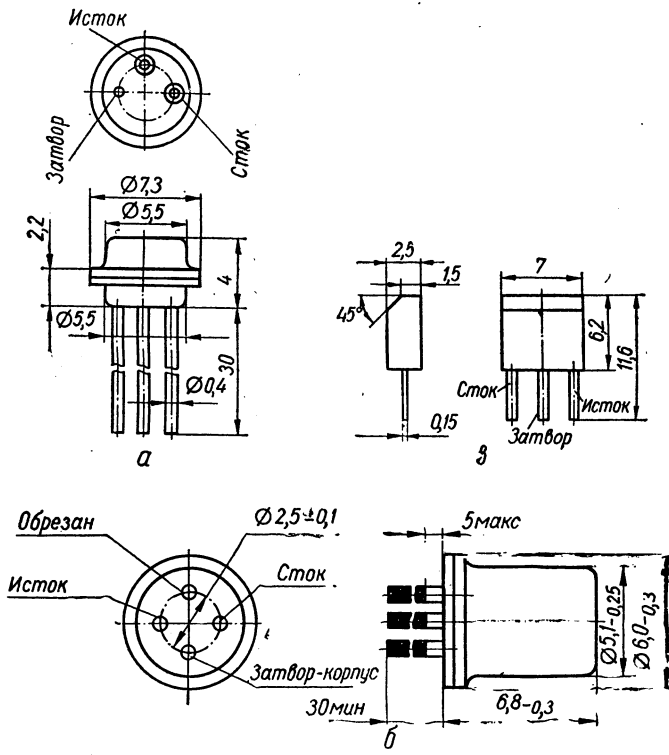


Рис. IV.40. Полевые транзисторы.

Глава V.

МАЛОГАБАРИТНЫЕ МИКРОФОНЫ, ГРОМКОГОВОРИТЕЛИ И ТЕЛЕФОНЫ

§ 1. Микрофоны

Электроакустические характеристики микрофонов. Чувствительность характеризуется выходным уровнем отдачи (уровнем мощности в нагрузке) на частоте 1000 *гц* при звуковом давлении 0,1 *н/м²*. Уровень отдачи определяется в децибеллах по отношению к 1 *мвт*.

Чувствительность микрофона может быть выражена отношением величины напряжения, развиваемого микрофоном на номинальной нагрузке, к величине звукового давления, воздействующего на диафрагму микрофона.

По известному уровню отдачи микрофона определяют напряжение на нагрузке. Для этого децибеллы переводят в отношение мощностей и определяют мощность *P*, *мвт*, выделяющуюся на нагрузке микрофона, разделив 1 *мвт* на полученное отношение. Затем по формуле находят напряжение на нагрузке:

$$U = \sqrt{10^3 PR} \text{ мв,}$$

где *R* — сопротивление нагрузки, *ом*.

Пр и м е р. Выходной уровень отдачи микрофона при номинальной нагрузке 600 *ом* равен 70 *дб*. Определить напряжение на нагрузке.

70 *дб* соответствуют отношению мощностей 10⁷. Мощность на нагрузке

$$P = \frac{1}{10^7} = 10^{-7} \text{ мвт.}$$

Напряжение на нагрузке

$$U = \sqrt{10^3 \cdot 10^{-7} \cdot 600} = 0,24 \text{ мв.}$$

Частотная характеристика — графическое изображение зависимости чувствительности от частоты. Неравномерность частотной характеристики — это отношение максимального значения чувствительности к минимальному значению в рабочем диапазоне частот, выраженное в децибеллах.

Номинальное сопротивление нагрузки — сопротивление нагрузки, при котором обеспечиваются заданные параметры микрофона. Обычно номинальное сопротивление нагрузки микрофона равно его внутреннему сопротивлению, поскольку при этом в нагрузку отдается максимальная мощность.

Характеристика направленности — графическое изображение зависимости чувствительности микрофона на данной частоте от угла между акустической (рабочей) осью и направлением на источник звука.

Эффективность односторонне направленных микрофонов определяется отношением «фронт—тыл», т. е. отношением значений фронтальной и тыловой чувствительностей микрофона.

Уровень собственных шумов определяется обычно относительно эффективного напряжения U_0 , развиваемого микрофоном под действием звукового сигнала $0,1 \text{ н/м}^2$ (эффективное значение), по формуле

$$N = 20 \lg \frac{U_{\text{ш}}}{U_0}.$$

Микрофоны для малогабаритных устройств. К микрофонам, применяемым в малогабаритных переносных устройствах, предъявляют обычно невысокие требования: они должны лишь обеспечить достаточную разборчивость речи. Этому удовлетворяют весьма простые по конструкции малогабаритные микрофоны с металлической диафрагмой (мембраной), работающие обычно в аппаратуре местной и междугородной телефонной связи и других специальных устройствах, например, в слуховых аппаратах для тугоухих. Основные данные малогабаритных микрофонов приведены в табл. V.1.

Таблица V.1

Основные данные малогабаритных микрофонов

Тип	Система*	Чувствительность, мв/н/м ²	Рабочий диапазон частот, гц	Неравномерность частотной характеристики, db	Номинальное сопротивление нагрузки, ком	Размеры, мм	Вес, г
МПЭ-3 «Звук» «Кристалл»	П	10 50—100	100—5000 100—4000	20 10	1000 5000 3000	— ∅35×6 23×16×6	— — 15
M1 M2	Э	2,5** 2**	400—3000	20	2 3	24×16×8 —	9 4
ДЭМ-4М МК-10 МК-59	ЭД У У	10 1000*** 100—200	300—3000	— 25	500 — —	∅55×30 ∅51×25 ∅37×15	125 60 15

* П — пьезоэлектрическая; Э — электромагнитная; ЭД — электромагнитная дифференциальная; У — угольная. ** На частоте 1 кГц. *** На частоте 2 кГц.

Пьезоэлектрические микрофоны. Принцип действия этих микрофонов основан на пьезоэлектрическом эффекте. Они характеризуются простотой конструкции, высокой чувствительностью и небольшой стоимостью. К недостаткам пьезоэлектрических микрофонов следует отнести высокое внутреннее сопротивление емкостного характера, значительную неравномерность частотной характеристики и недостаточную надежность. Большое внутреннее сопротивление пьезоэлектрических микрофонов создает неудобства при подключении их к транзисторным усилителям, входное сопротивление которых сравнительно мало.

Электромагнитные микрофоны. Мембрана таких микрофонов (или связанный с ней якорь) колеблется возле полюсов постоянного магнита, изменяя воздушный зазор. Возникающие при этом колебания магнит-

ного потока вызывают появление э. д. с. в катушке, расположенной на магните.

Электромагнитные микрофоны характеризуются простой конструкцией, высокой надежностью и небольшой стоимостью. Качественные показатели их невысокие.

Широкое применение получили дифференциальные электромагнитные микрофоны, устройство которых схематически представлено на рис. V.1. Мембрана такого микрофона открыта с обеих сторон, поэтому чувствительность его равна нулю, если направление звука совпадает с плоскостью мембраны. Чувствительность дифференциального микрофона на 20—25 дБ ниже чувствительности обычного микрофона.

Электромагнитные микрофоны можно использовать и как телефоны.

Угольные микрофоны. Принцип действия таких микрофонов основан на свойстве угольного порошка изменять сопротивление в зависимости от силы сжатия зерен, составляющих порошок.

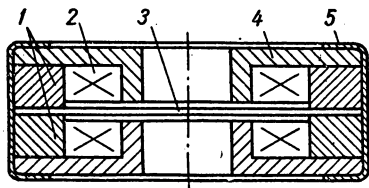


Рис. V.1. Устройство дифференциального электромагнитного микрофона:

- 1 — кольцевые магниты; 2 — катушка;
3 — мембрана; 4 — фланцы; 5 — обояма.

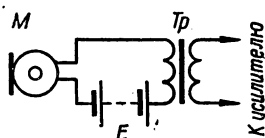


Рис. V.2. Схема включения угольного микрофона.

Схема включения угольного микрофона представлена на рис. V.2. Из схемы видно,

что угольный микрофон *М* управляет величиной тока в цепи батареи *Е*. Поэтому в цепи угольного микрофона можно получить мощность больше, чем мощность звука.

Чувствительность угольного микрофона выше чувствительности других микрофонов; остальные качественные показатели значительно ниже.

В зависимости от динамического сопротивления угольные микрофоны подразделяются на низкоомные (около 50 ом), среднеомные (70—150 ом) и высокоомные (150—300 ом). Первые работают при токе питания до 80 ма, вторые — при токе питания не более 50 ма и третьи — при токе питания не более 25 ма. При большом токе угольный порошок начинает спекаться и портиться, появляются нелинейные искажения; при очень малом токе резко снижается чувствительность.

В малогабаритной радиотехнической аппаратуре эффективно работают угольные микрофонные капсулы от микрофонных трубок и гарнитур, используемые в городской телефонной сети. Капсюль МК-10 имеет штампованный металлический корпус, ко дну которого крепится неподвижный латунный электрод в виде диска с наружной поверхностью, покрытой тонким слоем палладия. Неподвижный электрод при помощи изоляционной втулки и двух шайб электрически изолирован от корпуса. Дно корпуса сплошь засыпается угольным порошком. Подвижный электрод, выполненный из тонкой латуни в виде чашечки, прикреплен к легкой металлической фигурной диафрагме, края которой при помощи кольца крепятся на краю корпуса. Чашечка, покрытая снаружи слоем палладия, погружается в угольный порошок.

Между диафрагмой и угольным порошком находится тонкая шайба из эластичной пленки, сверху прикрепленная к подвижному электроду и ограничивающая засыпку порошка. Корпус закрыт крышкой, завальцованной по краю, в которой сделаны отверстия для прохода звуковых колебаний, а сверху укреплен фигурный диск, предохраняющий при разговоре внутреннюю часть корпуса от попадания влаги и испарений.

Угольные капсулы могут работать и при пониженном токе питания, особенно с усилителями. Снижение чувствительности легко компенсируется повышением коэффициента усиления. При этом улучшается частотная характеристика, значительно снижается уровень шумов, повышаются стабильность и надежность работы.

§ 2. Громкоговорители и телефоны

Электроакустические характеристики громкоговорителей. *Номинальная мощность* — наибольшая мощность, подводимая к громкоговорителю, при которой нелинейные искажения не превышают норм, предусмотренных стандартом или техническими условиями на громкоговоритель (обычно не более 7—10% на низшей частоте). Номинальная мощность громкоговорителей выражается в вольт-амперах.

Стандартное звуковое давление — звуковое давление на рабочей оси громкоговорителя, расположенного на расстоянии 1 м от измерительного микрофона, при подведении к нему напряжения, соответствующего мощности 0,1 в при частоте 1000 гц.

Среднее стандартное звуковое давление — среднее арифметическое из значений стандартного звукового давления, измеренного для частот следующего ряда (100, 200, 400, 600, 1000, 1200, 1500, 2000, 2500, 3000, 3500, 4500, 5500, 6500, 8000, 10000, 12000, 15000 гц), входящих в полосу воспроизводимых.

Частотная характеристика громкоговорителя — графическое изображение зависимости звукового давления от частоты подводимого к громкоговорителю напряжения. Неравномерность частотной характеристики определяют как разность уровней (в децибеллах) наибольшего и наименьшего давлений.

Полоса воспроизводимых частот — диапазон частот, в пределах которого неравномерность частотной характеристики не превышает заданной величины.

Нелинейные искажения оцениваются величиной коэффициента гармоник. С увеличением искажений этот коэффициент возрастает. Может появиться хрип, дребезжание и т. п. Нелинейные искажения чаще всего проявляются на низких частотах.

Полное электрическое сопротивление громкоговорителя — сопротивление синусoidalному переменному току, измеренное на зажимах громкоговорителя (на звуковой катушке) или входных зажимах дополнительных устройств (согласующего трансформатора, разделительного фильтра и т. п.), если они являются неотъемлемой частью конструкции громкоговорителя. Измеряется обычно на частоте 1000 гц.

Резонансная частота подвижной системы громкоговорителя — частота, при которой полное сопротивление достигает максимальной величины.

Громкоговорители для малогабаритных приемников. В малогабаритных приемниках применяются главным образом диффузорные электродинамические громкоговорители. Основные данные громкоговорителей, которые могут быть использованы в карманных и переносных приемниках, приведены в табл. V.2.

Таблица V.2

Основные данные малогабаритных электродинамических громкоговорителей

Тип	Номинальная мощность, ватт	Полоса воспроизводимых частот, гц	Неравномерность частотной характеристики (не более), db	Среднее стандартное звуковое давление, н/м ²	Резонансная частота подвижной системы, гц	Полное сопротивление катушки на частоте 1000 гц, ом	Магнит		Размеры, мм	Вес, г
							Тип	Материал		
0,025ГД-1	0,025	600—4000	18	0,15	500±50	6,0±0,6	Керновой	ЮНДК-25	Ø40×16,5	17
0,025ГД-2	0,025	—	—	0,075	—	60	»	—	Ø40×16,5	16
0,1ГД-1БЭФ	0,1	450—3000	—	0,13	500±50	3,5±0,5	Керновой	АНКО-4	Ø50×24	35
0,1ГД-3	0,1	400—3000	16	0,23	400±40	6,5±0,7	»	АНКО-4	Ø30×24	60
0,1ГД-6	0,1	450—3000	18	0,16	400±40	10,0±1,5	»	АНКО-4	Ø50×21,5	40
0,1ГД-8	0,1	400—8000	18	0,15	—	10,0±1,5	»	АНКО-4	Ø60×22	50
0,15ГД-1	0,15	150—5000	15	0,15	—	6,0±0,6	»	—	—	—
0,15ГД-3	0,15	200—4000	—	0,18	—	6,0±0,6	Керновой	АНКО-4	Ø30×25	50
0,21ГД-1	0,2	300—10000	18	0,2	300±30	8,0±0,8	»	АНКО-4	Ø72×34	120
0,25ГД-1	0,25	300—3000	18	0,2	300±30	6,5±0,5	Кольцевой	МБА	Ø72×29	120
0,25ГД-2	0,25	300—3000	18	0,2	—	2,6	—	—	—	—
0,25ГД-3	0,25	300—3000	15	0,28	150±30	10,0±1,5	Керновой	АНКО-4	Ø70×36	120
0,25ГД-9	0,25	300—3500	14	0,23	150±30	5,0±0,5	»	АНКО-4	Ø105×50	150
0,5ГД-10	0,5	150—7000	15	0,23	150±30	5,0±0,5	Кольцевой	МБА	Ø105×35	150
0,5ГД-11	0,5	150—7000	15	0,23	150±30	4,5±0,7	»	ЗБА-2	Ø105×37	250
0,5ГД-12	0,5	150—7000	15	0,23	200±30	28,0±3,0	Керновой	АНКО-4	Ø102×60	130
0,5ГД-14	0,5	200—8500	15	0,35	400±70	8,0±0,8	»	2БА	106×70×37	150
0,5ГД-17*	0,5	250—5000	15	0,23	—	8,0±0,5	»	—	—	—
0,5ГД-21	0,5	200—4000	14	0,23	240±40	6,5±0,7	Керновой	АНКО-4	Ø90×57	200
1ГД-1БЭФ	1,0	4000—13000	15	0,4	1200±500	10,0±1,0	»	АНКО-4	Ø105×80	200
1ГД-1РР3	1,0	100—7000	15	0,2	150±15	6,5±0,7	Керновой	АНКО-4	156×98×56	250
1ГД-9*	1,0	200—10 000	14	0,25	150±30	5,0±0,5	Кольцевой	МБА	156×98×41	200
1ГД-12*	1,0	200—10 000	14	0,25	175±15	5,0±0,5	»	МБА	Ø126×45	180
1ГД-14	1,0	150—10 000	15	0,23	90±120	6,5±0,7	Керновой	АНКО-4	156×98×48	160
1ГД-18*	1,0	100—10 000	15	0,3	150±30	5,5±1,0	»	АНКО-4	156×98×60	240
1ГД-20*	1,0	150—70 000	15	0,2	90—120	5,5±0,7	»	—	156×98×42	200
1ГД-28*	1,0	100—10 000	15	0,2	—	—	—	—	—	—

* Овальный громкоговоритель.

Принцип действия электродинамических громкоговорителей основан на взаимодействии постоянного магнитного поля, образующегося в зазоре магнитной системы, с переменным электрическим током, протекающим через звуковую катушку. Несмотря на то что электродинамические громкоговорители характеризуются малым к. п. д. и значительными частотными искажениями, они являются лучшими по качеству воспроизведения звука. В малогабаритных конструкциях недостатки электродинамических громкоговорителей проявляются больше.

На рис. V.3, а показан малогабаритный громкоговоритель, имеющий открытую магнитную систему прямоугольной формы, диффузор диаметром 60 мм с криволинейной образующей и низкоомную звуковую катушку (13 ом).

Магнитопровод громкоговорителя (рис. V.4) состоит из двух уголков (а и б), диска (в) и магнита стержневого типа (г). Уголки изготавливаются из стали марки Ст.10. Места стыков уголков тщательно подгоняются шлифовкой. Используется готовый магнит громкоговорителя 1ГД-9 (укороченный). Торцевые поверхности необходимо тщательно отшлифовать. Уголки и диск должны быть термически обработаны. Для этого их выдерживают в течение 50—60 мин

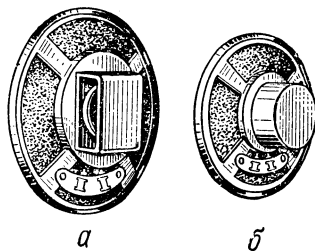


Рис. V.3. Малогабаритные громкоговорители:

а — с открытой магнитной системой; б — с закрытой магнитной системой.

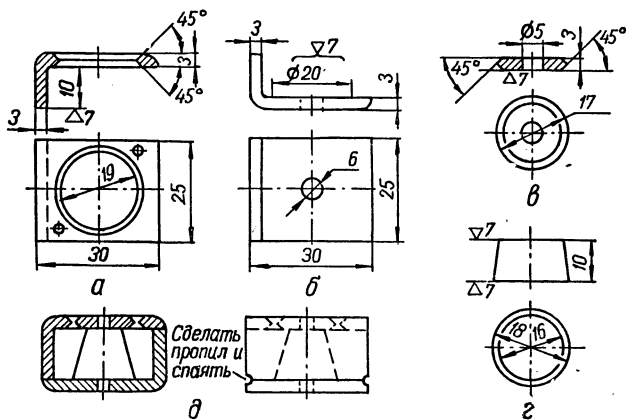


Рис. V.4. Детали громкоговорителя с открытой магнитной системой:

а, б — уголки; в — диск; г — магнит.

при температуре красного каления и затем очень медленно охлаждают до комнатной температуры. После термообработки поверхности стыков очищают от окалины мелкой наждачной бумагой. Детали магнитопровода склеивают при помощи клея БФ-2 и в сжатом состоянии несколько

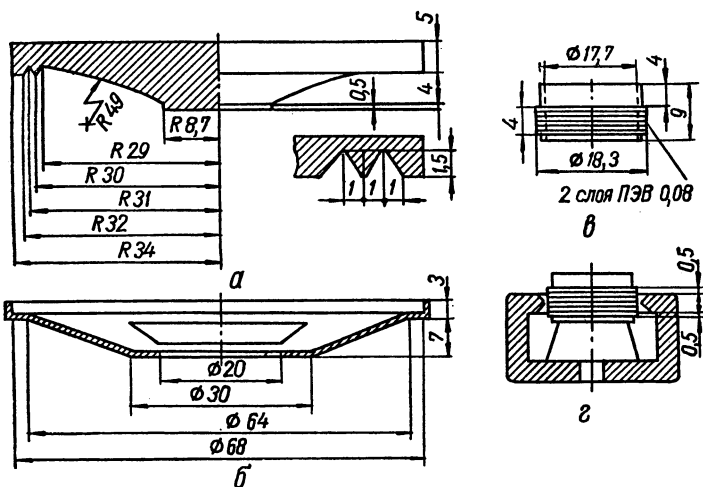


Рис. V.5. Детали громкоговорителя с открытой магнитной системой:

a — пуансон для изготовления диффузора; *б* — диффузордержатель; *в* — звуковая катушка; *г* — расположение катушки в зазоре магнитной системы.

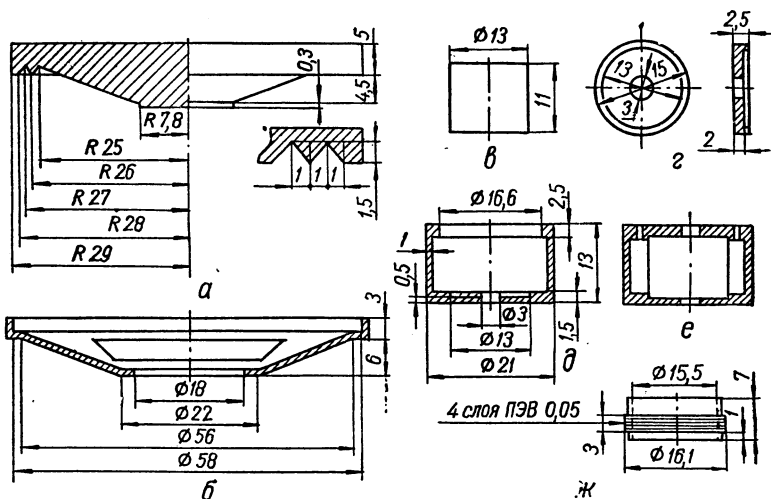


Рис. V.6. Детали громкоговорителя с закрытой магнитной системой: *a* — пуансон для изготовления диффузора; *б* — диффузордержатель; *в* — керн; *г* — диск; *д* — стакан; *е* — магнитная система в сборе; *ж* — катушка.

Таблица V. 3

Основные электроакустические данные телефонов

Тип	Система*	Полоса воспроизводимых частот, гц	Неравномерность частотной характеристики, дб	Среднее звуковое давление (не менее), н/м**	Полное электрическое сопротивление на частоте 1000 гц, ком	Коэффициент гармоник, не более, %
ВТМ	Э	400—3000	18	6,4	0,18	—
Т2			20	4,5	0,4	—
ТА-4		300—3000	13	6,0	0,26—0,36	5
ТА-56М					8,5—12	
			ТГ-7М	5,5	0,24—0,36	8
8—12						
ТД-6	Д	50—5000	13	20,0	—	—
ТМ-2	Э	300—3000	27	5,0	0,24—0,36	—
ТОН-2			35	4,0	6	—
ТПК-56	П	300—3500	20	14,0	10	2
ТПК-571		50—9000	16	4,0	20	
ТПК-572		300—3500	20	5,0	15	

* Э — электромагнитная; Д — динамическая; П — пьезоэлектрическая. ** На расстоянии 1 см при подведении мощности 1 мва.

раз нагревают до температуры 100°С. При вклейке магнита с диском в магнитопровод следует пользоваться каким-либо центрирующим кольцом. После сборки магнитопровода необходимо произвести намагничивание магнита.

На рис. V.5 приведены размеры пуансона для изготовления диффузора (а), диффузордержателя (б) и звуковой катушки (в), а также показано расположение катушки в зазоре магнитной системы (г). По пуансону желательно изготовить матрицу.

Диффузордержатель выполняется из листового алюминия толщиной 0,8—1,0 мм; диффузор — из фильтровальной бумаги толщиной 0,15—0,20 мм и пропитывается 10%-ным раствором резинового клея в бензине. Центральная часть пропитывается в два приема. Звуковая катушка наматывается на гильзу из кабельной бумаги толщиной 0,05 мм и пропитывается лаком «Цапон» или другим нитролаком. Катушка

приклеивается к диффузору с помощью клея БФ-2. Выводы ее выполняются гибким многожильным проводом диаметром 0,2—0,3 мм.

Диффузородержатель крепится к магнитопроводу клеем БФ-2. При этом необходимо обеспечить центровку звуковой катушки в зазоре магнитной системы (с помощью соответствующих прокладок).

Громкоговоритель, показанный на рис. V.3, б, имеет закрытую магнитную систему и отличается несколько меньшими размерами, чем громкоговоритель, показанный на рис. V.3, а. Он изготавливается из тех же материалов, что и громкоговоритель, представленный на рис. V.3, а. Магнит может быть выполнен из сплава АНКО-4. Чертежи отдельных деталей громкоговорителя приведены на рис. V.6.

Более подробные сведения о конструкциях самодельных громкоговорителей приведены в работах [2, 4, 5].

Телефоны используются для воспроизведения звука в портативных связанных радиостанциях, для контроля передач и записи звуковых программ, а также в измерительной аппаратуре.

Наиболее распространены электромагнитные телефоны, в которых мембрана колеблется под действием электромагнита, когда через его катушку протекает переменный ток звуковой частоты. Широко применяются пьезоэлектрические телефоны и значительно реже электродинамические.

В зависимости от диаметра провода, которым намотаны катушки, электромагнитные телефоны бывают высокоомными (более 2000 ом при частоте 1000 гц на пару телефонов) и низкоомными (обычно 600 ом при частоте 1000 гц на пару телефонов).

Основные данные телефонов приведены в табл. V.3. Миниатюрные телефоны типов ВТМ и Т2 предназначены для слуховых аппаратов. Вес телефона ВТМ составляет 6,5 г, а телефона Т2 — 3,5 г.

Глава VI.

УСИЛИТЕЛИ ЗВУКОВЫХ ЧАСТОТ НА ТРАНЗИСТОРАХ

§ 1. Основные характеристики усилителей звуковых частот

Коэффициент усиления по напряжению — отношение напряжения на выходе усилителя к напряжению, подведенному к его входу. Это один из основных показателей, характеризующих работу усилителей напряжения. Для усилителей мощности более важным показателем является выходная мощность.

Для многокаскадного усилителя общий коэффициент усиления равен произведению коэффициентов усиления всех каскадов (ступеней).

Часто коэффициент усиления измеряется в логарифмических единицах — децибеллах. Коэффициент усиления по напряжению, выраженный в децибеллах,

$$K = 20 \lg K = 20 \lg \frac{U_{\text{вых}}}{U_{\text{вх}}}.$$

Если коэффициенты усиления выражены в децибеллах, то коэффициент усиления всего усилителя равен сумме коэффициентов усиления каскадов.

Кроме коэффициента усиления по напряжению иногда пользуются коэффициентами усиления по току и мощности.

Выходная мощность — одна из основных величин, характеризующих оконечные каскады (усилители мощности). Максимальная мощность на выходе усилителя ограничена искажениями, возникающими за счет нелинейности характеристик усилительных элементов при больших амплитудах сигналов.

Номинальная выходная мощность — наибольшая мощность, при которой искажения не превышают допустимой величины.

Номинальное входное напряжение — напряжение, которое нужно подвести ко входу усилителя, чтобы получить номинальную выходную мощность.

Диапазон усиливаемых частот (или полоса пропускания) — область частот, в которой коэффициент усиления изменяется не больше, чем это допустимо по техническим условиям.

Приводим граничные частоты полосы пропускания для некоторых трактов передачи, гц.

Телефония	300—2500
Радиовещание на ДВ, СВ и КВ	50 ÷ 100—5000
Радиовещание на УКВ	50—15000
Высококачественная звукозапись	30—15000

Динамический диапазон амплитуд — отношение (в децибеллах) амплитуд наиболее сильного и наиболее слабого сигналов. Уровень

самого слабого передаваемого сигнала ограничивается в усилителе его собственными шумами или уровнем помех. Величина максимального передаваемого напряжения ограничена искажениями, возникающими в усилителе в результате нелинейности характеристик усилительных элементов. Передача будет хорошей, если соотношение воспроизводимых мощностей составляет 10%, что соответствует отношению напряжений, равному 10³ (динамический диапазон 60 дБ).

Искажения в усилителях звуковых частот. Искажения, возникающие в усилителях звуковых частот вследствие нелинейности характеристик усилительных элементов и характеристик намагничивания сердечников трансформаторов называются *нелинейными*. При этих искажениях на выходе усилителя возникают новые частоты, отсутствующие на входе.

Коэффициент нелинейных искажений (коэффициент гармоник) определяют по формуле

$$k_r = \frac{\sqrt{U_2^2 + U_3^2 + \dots}}{U_1},$$

где U_1 — напряжение основной частоты, U_2, U_3, \dots — напряжение гармоник.

Практически значение имеют только вторая и третья гармоники. Обычно коэффициент нелинейных искажений выражают в процентах. В усилителях для радиоприемников и магнитофонов коэффициент нелинейных искажений не должен превышать 5—7%, а в телефонии — 15%.

Комбинационные тона получаются тогда, когда на вход усилителя, вносящего нелинейные искажения, подводятся одновременно колебания нескольких частот. В этом случае на выходе, кроме подведенных ко входу частот и их гармоник, появляются суммарные и разностные частотные комбинации из любой гармоники одной частоты и любой гармоники другой частоты.

Искажения, обусловленные изменением коэффициента усиления на разных частотах, называются *частотными*. Частотные искажения можно оценивать по частотной характеристике усилителя, представляющей собой графическое изображение зависимости коэффициента усиления (или его отклонения от среднего значения) от частоты.

Коэффициент частотных искажений — отношение коэффициента усиления на средней частоте к коэффициенту усиления на данной частоте. Для частотных искажений в области низких частот

$$M_n = \frac{K_0}{K_n};$$

для частотных искажений в области высоких частот

$$M_v = \frac{K_0}{K_v}.$$

Здесь K_0, K_n и K_v — коэффициенты усиления на средних, низких и высоких частотах соответственно.

Фазовые искажения — искажения, возникающие вследствие сдвига фазы составляющих выходного напряжения относительно составляющих входного напряжения. Для того чтобы в усилителе не возникали фазовые искажения, его фазовая характеристика должна быть линейной.

Интермодуляционные искажения обусловлены модуляцией верхних звуковых частот нижними за счет нелинейности тракта усилителя и акустической системы. При этом образуются комбинационные составляющие, которые ухудшают звучание.

Переходные искажения появляются в результате наложения на воспроизводимый сигнал колебаний, обусловленных неустановившимися процессами. Особенно значительными оказываются неустановившиеся процессы в подвижной системе громкоговорителей. Для уменьшения переходных искажений следует уменьшить выходное сопротивление усилителя.

Микрофонные помехи (микрофонный эффект) — наведение в цепях усилителя мешающего напряжения в результате воздействия на шасси и усилительные элементы механических колебаний в виде звуковых волн, вибраций, ударов и т. п.

§ 2. Питание цепей транзисторов и стабилизация рабочей точки

Схемы включения транзисторов приведены на рис. VI.1. Включение с общей базой (ОБ) обеспечивает усиление только по напряжению. Коэффициент усиления по току при таком включении меньше единицы и мало изменяется при изменении режима работы, температуры и замене транзисторов. Коэффициент усиления по мощности сравнительно невелик, однако при замене транзисторов, их старении и изменении температуры изменяется значительно меньше, чем при других способах включения.

Входное сопротивление транзистора при схеме с ОБ меньше, чем при других схемах включения, и находится в пределах от десятых долей ома (для мощных транзисторов) до десятков омов (для маломощных).

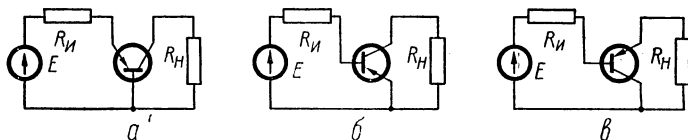


Рис. VI.1. Схемы включения транзисторов:

а — с общей базой; *б* — с общим эмиттером; *в* — с общим коллектором.

При увеличении сопротивления нагрузки входное сопротивление возрастает. Выходное сопротивление при включении по схеме с общей базой больше, чем при других схемах включения, и растет при увеличении сопротивления источника сигнала.

Коэффициент гармоник при включении транзистора по схеме с общей базой обычно не превышает нескольких процентов при полном использовании транзистора. Поэтому включение с общей базой довольно часто применяют в выходных каскадах усилителей звуковых частот.

Схема включения с общим эмиттером (ОЭ) обеспечивает усиление как тока, так и напряжения сигнала. Усиление мощности при такой схеме наибольшее, однако сильно изменяется при изменении режима транзистора, температуры и замене транзисторов.

Входное сопротивление транзистора при включении по схеме с общим эмиттером значительно выше, чем при включении по схеме с ОБ, и лежит в пределах от нескольких омов (для мощных транзисторов) до тысяч омов (для маломощных). При увеличении сопротивления

нагрузки входное сопротивление уменьшается. Выходное сопротивление ниже, чем при схеме с ОБ, и уменьшается при увеличении сопротивления источника сигнала.

Коэффициент гармоник при включении с общим эмиттером максимален и достигает при полном использовании транзистора 10—15%.

Включение по схеме с ОЭ часто применяют в каскадах предварительного усиления и выходных каскадах.

Схема включения с общим коллектором (ОК) отличается наибольшим входным сопротивлением (до сотен килоомов для маломощных транзисторов), которое очень сильно возрастает при увеличении сопротивления нагрузки.

Выходное сопротивление при этой схеме меньше, чем при других схемах, и находится в пределах от десятых долей ома (для мощных транзисторов) до тысячи омов (для маломощных). При увеличении сопротивления источника сигнала выходное сопротивление резко возрастает.

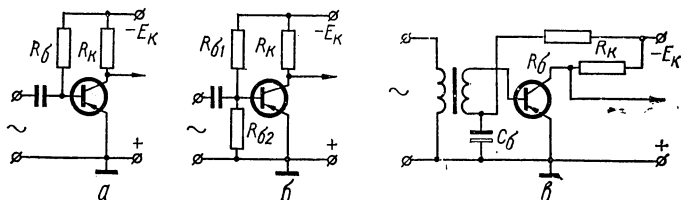


Рис. VI.2. Способы подачи смещения в цепь база — эмиттер.

Коэффициент усиления по напряжению при включении транзистора по схеме с общим коллектором меньше единицы (0,7—0,9). Коэффициент усиления по току при таком включении несколько выше, чем при включении с общим эмиттером, и сильно изменяется при изменении режима работы, температуры и замене транзисторов.

Включение по схеме с ОК применяется в каскадах предварительного усиления в тех случаях, когда требуется большое входное сопротивление и малая входная емкость. В каскадах мощного усиления такое включение применяют при необходимости получения малого выходного сопротивления или малого коэффициента гармоник (меньше 1% при полном использовании транзисторов).

Питание цепей транзистора. Выбор источника питания определяется в основном назначением усилителя. При выборе источника питания следует учитывать также величину его внутреннего сопротивления. При большом внутреннем сопротивлении источника питания усиливаются паразитные обратные связи между каскадами усилителя через источник питания, что может привести к неустойчивости характеристик усилителя или к самовозбуждению. В усилителях с выходными каскадами классов АВ и В при большом внутреннем сопротивлении источника питания увеличиваются нелинейные искажения.

Питание транзистора типа $p-n-p$ в нормальном режиме усиления обеспечивается подачей отрицательного напряжения на коллектор и небольшого положительного напряжения на эмиттер (относительно базы). Питание транзисторов типа $n-p-n$ отличается лишь полярностью напряжения источников питания.

Положительное напряжение на эмиттер (отрицательное смещение на базу) может быть получено от общего источника питания с помощью

гасящего резистора R_6 (рис. VI.2,а) или с помощью делителя напряжения $R_{61}R_{62}$ (рис. VI.2,б). Сопротивление резистора R_6 во много раз превышает сопротивление транзистора между базой и эмиттером для постоянного тока, поэтому смещение через гасящий резистор называют смещением, фиксированным током базы. Смещение на базу с помощью делителя напряжения обеспечивает более постоянное напряжение база—эмиттер при изменении температуры, старении и замене транзисторов, поэтому оно называется смещением, фиксированным напряжением база—эмиттер.

Смещение на базу транзистора можно подавать как параллельно источнику сигнала (рис. VI.2,а и б), так и последовательно с ним (рис. VI.2,в). Смещение с помощью делителя напряжения также может быть подано последовательно с сигналом. Для этого в схеме на рис. VI. 2, в параллельно конденсатору C_6 нужно включить резистор.

Сопровращения цепи смещения рассчитываются по формулам:

$$R_6 = \frac{\alpha (E_k - U_{6.э0})}{I_{к0}(1-\alpha) - I_{к.н}} \approx \frac{E_k - U_{6.э0}}{I_{э0}(1-\alpha) - I_{к.н}},$$

$$R_{61} = \frac{E_k - U_{6.э0}}{I_d + I_{60}}; \quad R_{62} = \frac{U_{6.э0}}{I_d},$$

где α — статический коэффициент усиления тока транзистора на низких частотах при схеме с ОБ; E_k — напряжение источника питания; $I_{к.н}$ — начальный (остаточный) ток коллектора; $I_{к0}$, $I_{э0}$ и I_{60} — необходимые токи коллектора, эмиттера и базы в рабочей точке; $U_{6.э0}$ — напряжение смещения база—эмиттер в рабочей точке; I_d — ток делителя (ток через резистор R_{62}).

Обычно выбирают $I_d = (0,5-3) I_{6.макс}$ в зависимости от мощности и режима работы каскада. При увеличении тока делителя повышается устойчивость положения рабочей точки транзистора, однако снижается входное сопротивление каскада (при подаче смещения параллельно с сигналом) и к. п. д. усилителя.

Стабилизация рабочей точки транзистора необходима вследствие того, что имеется большой разброс статических характеристик транзисторов для разных образцов и зависимость их формы от температуры. Простейшим методом стабилизации рабочей точки является введение отрицательной обратной связи по постоянному току с тем, чтобы изменения входного напряжения или тока, вызванные обратной связью, противодействовали влиянию дестабилизирующих факторов, сдвигающих рабочую точку в выходной цепи. Однако при таком методе стабилизации снижается к. п. д. вследствие потерь энергии источника питания в цепях обратной связи. Лучшую стабилизацию обеспечивает применение термокомпенсации. В этом случае в цепь питания вводят элементы, сопротивление которых зависит от температуры, например терморезисторы. Основным недостатком метода термокомпенсации является необходимость тщательного подбора температурных характеристик термокомпенсирующей цепи. Температурная стабильность усилителей на транзисторах значительно повышается при использовании кремниевых транзисторов.

Наиболее простыми схемами стабилизации рабочей точки путем введения отрицательной обратной связи по постоянному току являются схемы *коллекторной стабилизации* (рис. VI.3). При схеме включения с общим эмиттером (рис. VI.3, а) коллекторная стабилизация снижает усиление каскада и его входное сопротивление, так как напря-

жение сигнала с выхода каскада через резистор R_6 поступает на вход, создавая в каскаде отрицательную обратную связь по переменному току. Для устранения этой обратной связи вместо резистора R_6 включают два резистора и между ними блокировочный конденсатор достаточно большой емкости (рис. VI.3,б).

Более высокая стабильность рабочей точки обеспечивается при применении схем *эмиттерной стабилизации* (рис. VI.4). Стабильность рабочей точки при эмиттерной стабилизации тем выше, чем больше сопротивление резистора R_3 и чем меньше сопротивления резисторов

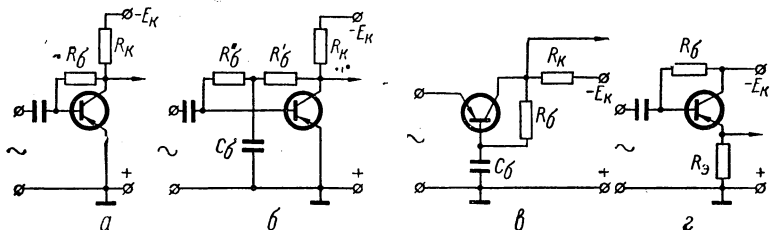


Рис. VI.3. Коллекторная стабилизация режимов транзистора:

а, б — при схеме включения с общим эмиттером; в — с общей базой; г — с общим коллектором.

R_{61} и R_{62} . Однако выбирать R_3 очень большим нельзя, так как при этом напряжение коллектор—эмиттер окажется слишком малым. При

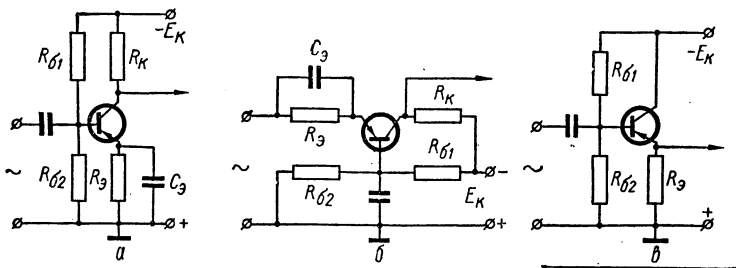


Рис. VI.4. Эмиттерная стабилизация режимов транзистора:

а — при схеме включения с общим эмиттером; б — с общей базой; в — с общим коллектором.

очень малых сопротивлениях резисторов R_{61} и R_{62} увеличивается мощность, потребляемая от источника питания, и уменьшается входное сопротивление каскада.

Для устранения отрицательной обратной связи по переменному току в схемах на рис. VI.4,а и б резистор R_3 зашунтирован конденсатором C_3 .

Еще более высокую стабильность рабочей точки транзистора дают схемы *комбинированной стабилизации* (рис. VI.5), в которых отрицательная обратная связь по постоянному току создается как резистором R_6 , так и резистором R_3 .

Коллекторная, эмиттерная и комбинированная стабилизации пригодны только при работе каскада в режиме А и не применяются в случае

использования режима В или АВ, так как среднее значение тока в режимах АВ или В зависит от амплитуды сигнала. В каскадах, работающих в режиме В или АВ, необходимое смещение на базу транзистора приходится подавать от низкоомного делителя напряжения (рис. VI.2,б), что обеспечивает небольшие изменения тока транзисторов в рабочей точке при замене транзисторов. При больших изменениях температуры в каскадах, работающих в режимах В или АВ, применяют термокомпенсацию. Для этого один из резисторов делителя $R_{\delta 1} R_{\delta 2}$ (рис. VI.2,б) должен быть температурнозависимым. Вместо резистора можно использовать полупроводниковый диод.

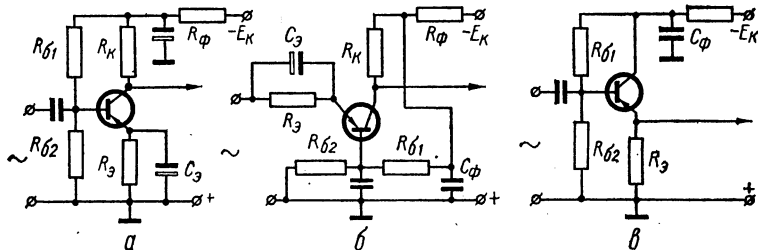


Рис. VI.5. Комбинированная стабилизация режимов транзистора: а — при схеме включения с общим эмиттером; б — с общей базой; в — с общим коллектором.

§ 3. Выходные каскады усилителей звуковых частот

Особенности выходных каскадов. Основным требованием, предъявляемым к выходному каскаду, является обеспечение заданной мощности сигнала в полезной нагрузке усилителя. Обеспечение же максимального усиления мощности является второстепенным требованием, поскольку необходимое усиление сигнала создается каскадами предварительного усиления. Очень важно обеспечить максимальный к. п. д. выходного каскада, так как этот каскад потребляет наибольшую мощность от источника питания. Для выполнения этого условия следует выбирать предельно допустимые режимы работы транзисторов.

Величина полезной нагрузки усилителя обычно отличается от наиболее выгодной нагрузки выходного каскада, соответствующей максимальной полезной мощности при заданном коэффициенте нелинейных искажений. Поэтому выходные каскады связывают с нагрузкой трансформаторами (реже автотрансформаторами), что позволяет получить максимальное усиление по мощности. Использование согласующего трансформатора на входе выходного каскада обеспечивает максимальное усиление по мощности предоконечным каскадом и минимальный уровень искажений при заданной величине мощности в нагрузке усилителя.

Применение согласующих трансформаторов в малогабаритных переносных устройствах приводит к снижению к. п. д. усилителя и устройства в целом, поскольку изготовить малогабаритные недорогие трансформаторы с малыми потерями мощности трудно. Для малогабаритных транзисторных усилителей разработаны бестрансформаторные схемы выходных каскадов и специальные высокоомные громкоговорители.

Характерной особенностью работы транзисторов в мощных выходных каскадах усилителей является их нагрев вследствие значительной

рассеиваемой мощности. При перегреве транзисторов возможен выход их из строя. Поэтому при разработке мощных выходных каскадов тепловому режиму транзисторов следует уделять особое внимание.

Однотактные выходные каскады класса А используются в основном в простейших малогабаритных усилительных устройствах с малой выходной мощностью, а также в тех случаях, когда к экономичности не предъявляются повышенные требования. К. п. д. таких каскадов составляет 47—48%.

Основной схемой включения транзистора в однотактных усилителях является схема с общим эмиттером, обеспечивающая максимальное усиление мощности.

Спротивление нагрузки однотактного выходного каскада может быть включено в цепь коллектора транзистора как непосредственно (если величина его близка к оптимальной), так и через согласующий трансформатор (рис. VI.6).

Выбор транзистора для однотактного выходного каскада производится с учетом выполнения следующих условий:

$$P_{к. доп} \geq \frac{2P_n}{\eta_{тр}}; \quad U_{к. доп} > 2E.$$

Здесь $P_{к. доп}$ — допустимая мощность рассеяния на коллекторе; P_n — полезная мощность в нагрузке; $\eta_{тр}$ — к. п. д. трансформатора (для малогабаритных трансформаторов $\eta_{тр} = 0,4—0,7$); $U_{к. доп}$ — предельно допустимое напряжение на коллекторе; E — напряжение питания.

В случае невыполнения только второго условия иногда целесообразно понизить напряжение питания.

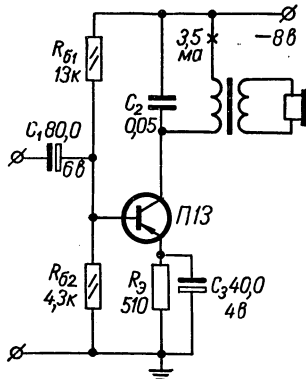


Рис. VI.6. Схема однотактного выходного каскада.

Необходимое сопротивление в цепи коллектора ориентировочно определяется по формуле

$$R_k = \frac{(E - \Delta E)^2}{2,5P_n} \eta_{тр}$$

где ΔE — напряжение на коллекторе, при котором начинается прямолинейный участок статических характеристик коллекторного тока. Для маломощных транзисторов типов П13, П14 и П15 в схеме с общим эмиттером это напряжение составляет обычно 0,5—1,0 в.

Спротивление первичной обмотки трансформатора

$$r_1 = (0,25 - 0,3) R_k (1 - \eta_{тр}).$$

Для выбора рабочей точки на семействе характеристик коллекторного тока (рис. VI.7) проводят нагрузочную прямую полного сопротивления постоянному току. Тангенс угла наклона этой прямой (с учетом масштаба по осям)

$$\operatorname{tg} \psi = \frac{1}{R_э + r_1},$$

где $R_э$ — сопротивление в цепи эмиттера, выбираемое из условия стабилизации режима (см. стр. 212).

На нагрузочной прямой выбирают рабочую точку и проводят динамическую характеристику так, чтобы точка *A* находилась вблизи загибов статических характеристик, а расстояния *OA* и *OB*, выраженные в токах базы *I_б*, были равны между собой. Рабочая точка должна находиться ниже линии допустимой мощности рассеяния на коллекторе транзистора (штриховая линия на рис. VI.7). Если эта линия не нанесена, следует проверить выполнение условия.

$$U_{к0} I_{к0} < P_{к. доп.}$$

Здесь *U_{к0}* — напряжение на коллекторе в рабочей точке, *v*; *I_{к0}* — ток коллектора в рабочей точке, *a*; *P_{к. доп.}* — допустимая мощность рассеяния на коллекторе, *вт*.

Если это условие не выполнено, нужно выбрать дру-

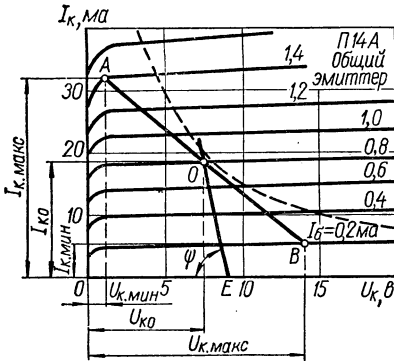


Рис. VI.7. Динамическая характеристика однотактного выходного каскада.

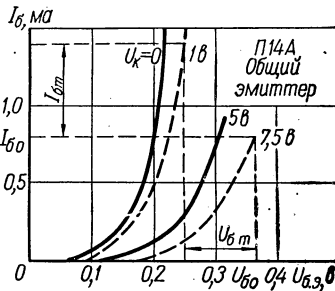


Рис. VI.8. Входные характеристики транзистора.

гую рабочую точку. Для выбранной рабочей точки определяют ток базы *I_{б0}* и по входной характеристике, снятой для *U_к = U_{к0}*, определяют напряжение смещения *U_{бэ0}* (рис. VI. 8).

Мощность, отдаваемая в нагрузку, определяется по формуле

$$P_H = \frac{(U_{к. макс} - U_{к. мин}) (I_{к. макс} - I_{к. мин})}{8} \eta_{тр.}$$

Сопротивление нагрузки в цепи коллектора определяют по наклону динамической характеристики

$$R_K = \frac{U_{к. макс} - U_{к. мин}}{I_{к. макс} - I_{к. мин}}$$

Коэффициент трансформации выходного трансформатора

$$n = \sqrt{\frac{R_H}{R_K \eta_{тр}}}$$

где *R_H* — сопротивление нагрузки, подключаемое ко вторичной обмотке выходного трансформатора.

Сопровитления резисторов R_{61} , R_{62} и R_9 определяют из условий стабилизации режима.

Для определения мощности предоконечного каскада из построения (рис. VI.7) находят амплитуду тока базы I_{6m} , а по входной характеристике — амплитуду напряжения на базе U_{6m} .

Необходимая мощность предоконечного каскада

$$P_{вх} = 0,5U_{6m}I_{6m}.$$

Входное сопротивление выходного каскада

$$R_{вх} = \frac{U_{6m}}{I_{6m}}.$$

Пример. Рассчитать выходной каскад на транзисторе типа ГИ4А. Напряжение питания — 9 в. Мощность в нагрузке — 25 мвт. Сопротивление нагрузки — 6 ом. К. п. д. выходного трансформатора — 0,6.

$$\text{Определяем } R_k = \frac{(9-1)^2}{2,5 \cdot 0,025} \cdot 0,6 = 610 \text{ ом};$$

$$r_1 = (0,25 - 0,3) \cdot 610 \cdot (1 - 0,6) \approx 65 \text{ ом. Пусть } R_9 = 15 \text{ ом};$$

$$\text{tg } \psi = \frac{2 \text{ в/см}}{0,005 \text{ а/см}} \cdot \frac{1}{65 + 15} = 5, \quad \psi = 79^\circ.$$

По рис. VI.7 находим

$$U_{к. макс} = 14 \text{ в}; \quad U_{к. мин} = 1,2 \text{ в}; \quad I_{к. макс} = 32 \text{ ма}; \quad I_{к. мин} = 5,5 \text{ ма}.$$

$$P_H = \frac{(14 - 1,2)(32 - 5,5)}{8} \cdot 0,6 = 27 \text{ мвт};$$

$$R_k = \frac{(14 - 1,2) 10^3}{32 - 5,5} = 485 \text{ ом};$$

$$n = \sqrt{\frac{6}{485 \cdot 0,6}} = 0,14.$$

По рис. VI.8 определяем $U_{6.9} = 0,365 \text{ в}; \quad U_{6m} = 0,115 \text{ в}; \quad I_{6m} = 0,6 \text{ ма}.$

$$R_{вх} = \frac{0,115}{0,6} = 0,19 \text{ ком} = 190 \text{ ом}.$$

Режим транзистора $U_{к0} = 7,5 \text{ в}; \quad I_{к0} = 19 \text{ ма}; \quad I_{60} = 0,8 \text{ ма}.$

Для повышения экономичности однотактных выходных каскадов применяют режим плавающей рабочей точки. Схема каскада, работающего в таком режиме, приведена на рис. VI.9. Ток коллектора транзистора выбирается равным 2,0—2,5 ма. Напряжение сигнала с коллектора выпрямляется диодом Д1А; полученное отпирающее смещение транзистора подается на базу, образуя положительную обратную связь по постоянному напряжению. Постоянная времени цепи дополнительного смещения выбирается с таким расчетом, чтобы смещение успевало следовать за огибающей сигнала. Сопротивление резистора R_2 подбирается по минимуму искажений сигнала. Нагрузкой каскада может быть электромагнитный капсюль ДЭМШ.

Двухтактные выходные каскады класса В характеризуются высоким к. п. д. выходной цепи при максимальном сигнале (до 78%) и пониженным расходом энергии источника питания при слабом сигнале или отсутствии сигнала. В чистом виде режим класса В почти никогда не применяется из-за искажений, появляющихся при нулевом смещении. Причиной искажений является нелинейность характеристики тока базы при малых токах. Для устранения искажений на базу подают небольшое напряжение смещения в прямом направлении.

Типовая схема двухтактного выходного каскада, работающего в классе В, приведена на рис. VI.10. Смещение на базу создается с помощью делителя R_1R_2 .

Выбор транзисторов для двухтактного каскада, работающего в классе В, производится с учетом выполнения следующих условий:

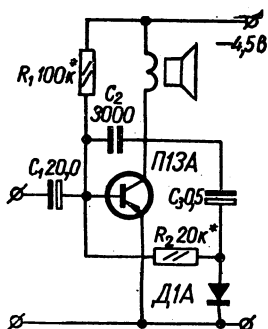


Рис. VI.9. Схема экономичного однотактного выходного каскада.

$$P_{к. доп} > \frac{P_n}{5,5\eta_{тр}}; U_{к. доп} > 2E.$$

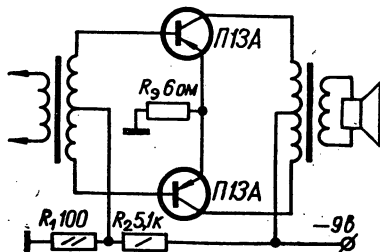


Рис. VI.10. Схема двухтактного выходного каскада с трансформаторами.

Здесь P_n — полезная мощность в нагрузке; $\eta_{тр}$ — к. п. д. выходного трансформатора ($\eta_{тр} = 0,5 - 0,7$); E — напряжение источника питания.

Для выбора режима транзисторов в двухтактном выходном каскаде класса В на семействе выходных статических характеристик (рис. VI.11) следует определить границы линейной области. Минимальное напряжение на коллекторе $U_{к. мин}$ должно соответствовать началу линейного участка характеристик коллекторного тока (для маломощных транзисторов типов П13, П14 и П15 или П8, П9, П10 и П11 $U_{к. мин} = 0,5 - 1,0$ в). Ток коллектора в рабочей точке $I_{к0}$ выбирается равным 3—5% максимального тока для данного типа транзистора (для маломощных транзисторов типов П13, П14 и П15 или П8, П9, П10 и П11 $I_{к0} = 0,6 - 1$ ма).

Рабочая точка будет находиться на пересечении прямой $U_k = U_{к0} \approx E$ и прямой $I_k = I_{к0}$ (точка 0 на рис. VI.11). Напряжение смещения на базу определяется по входной характеристике. Максимальной неискаженной мощности будет соответствовать отрезок OA нагрузочной прямой для переменного тока.

Максимальная полезная мощность на нагрузке может быть определена по формуле

$$P_n = \frac{(U_{к0} - U_{к. мин})(I_{к. макс} - I_{к0})}{2} \eta_{тр}$$

Наибольшая мощность, рассеиваемая на коллекторе транзистора.

$$P_K \approx 0,1EI_{K, \text{ макс.}}$$

Величина сопротивления нагрузки в цепи коллектора транзисторов

$$R_K = \frac{E - U_{K, \text{ мин}}}{I_{K, \text{ макс}} - I_{K0}}$$

Требуемый коэффициент трансформации выходного трансформатора

$$n = 0,5 \sqrt{\frac{R_H}{r_{\text{тр}} R_H}}$$

Сопротивления в цепи баз транзисторов выбирают из условий стабилизации режима (см. стр. 212). Если усилитель предназначен

для работы в узком интервале температур, для повышения его экономичности при расчете делителя в цепи баз следует выбирать ток делителя равным максимальному току базы одного транзистора или несколько меньше.

Пример. Выбрать оптимальный режим транзисторов типа П201 для работы в двухтактном каскаде класса В при напряжении питания 12 в. Сопротивление нагрузки — 5 ом.

Принимаем $U_{K, \text{ мин}} = 1$ в; $I_{K0} = 0,05$ а (рис. VI.11) и ориентировочно определяем величину тока базы $I_{B0} \approx$

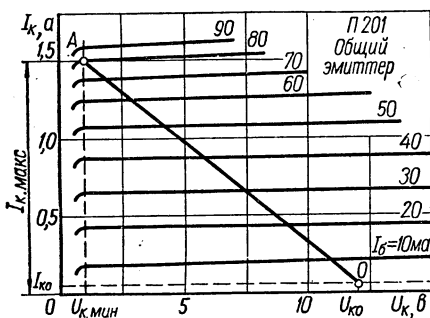


Рис. VI.11. Динамическая характеристика двухтактного выходного каскада.

≈ 2 ма. По входной характеристике (рис. VI.12) для $U_K = 12$ в ориентировочно определяем напряжение смещения на базу $U_{B0} \approx 0,3$ в. Максимальное значение тока коллектора для транзисторов типа П201 $I_{K, \text{ макс}} = 1,5$ а. Принимаем $\eta_{\text{тр}} = 0,6$.

$$P_H = \frac{(12 - 1)(1,5 - 0,05)}{2} \cdot 0,6 \approx 4,8 \text{ вт};$$

$$R_K = \frac{12 - 1}{1,45} \approx 7,6 \text{ ом. } n = 0,5 \sqrt{\frac{5}{0,6 \cdot 7,6}} = 0,525.$$

Величина напряжения смещения на базу уточняется при наладке усилителя.

Двухтактный оконечный каскад по схеме с общим коллектором (рис. VI.13) целесообразно использовать при пониженном напряжении источника питания. Для снижения потребляемой от предоконечного каскада мощности в оконечном каскаде использованы сдвоенные транзисторы.

Входной трансформатор Tr_1 может быть намотан на тороидальный магнитопровод из пермаллоевой ленты. Размеры магнитопровода: высота — 12, наружный диаметр — 23, внутренний диаметр — 12 мм.

Первичная обмотка должна содержать 700 витков провода ПЭВ-1 или ПЭЛ 0,11; вторичная — 1600 ± 1600 витков провода ПЭВ-1 или ПЭЛ 0,07. Индуктивность первичной обмотки — примерно 1,5 гн, вторичной — около 25 гн.

Выходной трансформатор Tr_2 может быть намотан на магнитопровод типа Ш9×15. Первичная обмотка должна содержать 200 ± 200 витков

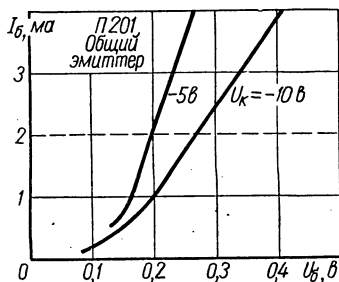


Рис. VI.12. Входные характеристики транзистора типа П201.

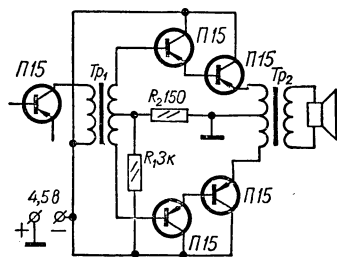


Рис. VI.13. Схема двухтактного выходного каскада с общим коллектором.

провода ПЭЛ 0,15, вторичная — 50 витков провода ПЭЛ 0,5 (при нагрузке 6 ом).

Бестрансформаторные выходные каскады характеризуются простотой схемы, отсутствием нестандартных деталей, высокими качественными показателями, более высокой стабильностью, чем у трансформаторных каскадов, малыми габаритами и весом. Недостатки бестрансформаторных выходных каскадов — меньший коэффициент усиления по мощности, чем у трансформаторных каскадов, следовательно, большая мощность, потребляемая от предоконечного каскада, и более высокий коэффициент нелинейных искажений. Применение более глубокой, чем в трансформаторных каскадах, отрицательной обратной связи позволяет снижать нелинейные искажения до величины, не превышающей нелинейные искажения в каскадах с трансформаторами.

Самые простые схемы бестрансформаторных выходных каскадов получаются при использовании транзисторов с различными типами проводимости (транзисторы типа $n-p-n$ и типа $p-n-p$). Для таких выходных каскадов не требуются фазопереорачивающие устройства. На рис. VI.14 приведены схемы двухтактных эмиттерных повторителей на транзисторах с различными типами проводимости. Небольшое напряжение смещения на базы транзисторов создается на резисторах, включенных между базами. Выходная мощность при сопротивлении нагрузки 30—40 ом составляет 100—150 мвт.

Схемы бестрансформаторных выходных каскадов на составных транзисторах с различными типами проводимости обеспечивают более высокую чувствительность за счет большего усиления по мощности и меньшие нелинейные искажения. На рис. VI.15,а приведена схема выходного каскада с высоким к. п. д. (до 70%). Каскад работает в классе В и в режиме молчания тока почти не потребляет. Номинальная выходная мощность составляет 250 мвт. Каскад воспроизводит частоты от 200 гц до 10 кц. Входное сопротивление — 5—8 ком [2].

Вместо транзисторов типов П14 и П10 можно соответственно использовать транзисторы типов Пк3 и П8, а также кремниевые транзисторы

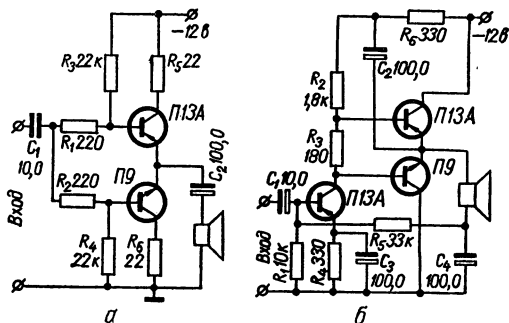


Рис. V.14. Схемы двухтактных эмиттерных повторителей:
 а — емкостная связь с предыдущим каскадом; б — непосредственная связь.

типов П102 и П104 или П103 и П105. Не следует объединять в пары германиевый и кремниевый транзисторы, поскольку их характеристики значительно разнятся.

На рис. VI.15,б представлен вариант включения нагрузки выходного каскада. В такой схеме конденсаторы большой емкости не нужны и требования к идентичности транзисторов снижаются, но при этом уже необходимо иметь два источника питания. Такую схему целесообразно применять тогда, когда в качестве источников питания используется парное число гальванических элементов или аккумуляторов.

Для уменьшения нелинейных искажений в бестрансформаторных выходных каскадах можно применять режим класса АВ. На рис. VI.16, а приведена практическая схема усилителя с выходным каскадом, работающим в классе АВ. При напряжении питания 9 в усилитель отдает в нагрузку мощность 190 мвт при к. п. д. около 60%, потребляя в режиме молчания ток 2,5 ма. Полоса воспроизводимых частот — от 50 гц до 20 кгц; входное сопротивление — около 300 ом; выходное — 20—25 ом.

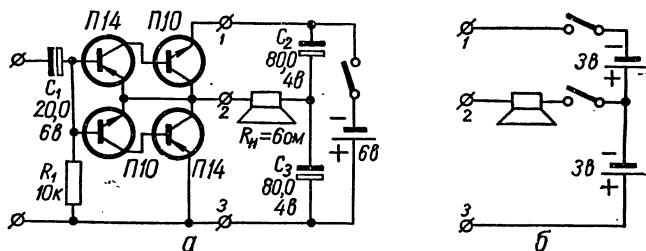


Рис. VI.15. Схема бестрансформаторного выходного каскада на составных транзисторах, работающих в классе В (а), и вариант включения нагрузки (б); 1, 2 и 3 — точки подключения источников питания и нагрузки.

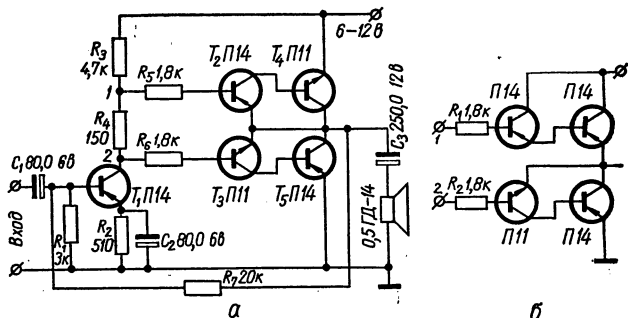


Рис. VI.16. Схема усилителя с выходным каскадом на составных транзисторах, работающих в классе В (а), и вариант включения транзисторов (б); 1 и 2 — точки подключения выходного каскада.

Таблица VI.1
Режимы транзисторов и некоторые данные усилителя по схеме рис. VI.16

Напряже- ние пита- ния, в	Элект- род*	Постоянное напряжение на электро- дах транзистора, в					Ток кол- лектора $T_1, T_2, \text{мА}$	Потреб- ляемая мощность, мвт	Полезная мощность, мвт
		T_1	T_2	T_3	T_4	T_5			
12	к	-6	-11,6	-0,16	-6,2	-6,2	3,5	600	345
	э	-0,6	-6,2	-6,2	-12	0			
	б	-0,75	-6,2	-6,0	-11,6	-0,16			
9	к	-4,8	-8,9	-0,15	-4,85	-4,85	1,5	315	185
	э	-0,43	-4,8	-4,8	-9,0	0			
	б	-0,57	-4,9	-4,8	-8,9	-0,15			
8	к	-4,3	-7,8	-0,13	-4,3	-4,3	1,1	250	140
	э	-0,37	-4,3	-4,3	-8,0	0			
	б	-0,52	-4,4	-0,14	-7,8	-0,14			
6	к	-3,45	-6,0	-0,13	-3,5	-3,5	0,65	155	85
	э	-0,35	-3,5	-3,5	-6,0	0			
	б	-0,48	-3,5	-3,4	-6,0	-0,13			

* к — коллектор; э — эмиттер, б — база.

Для хорошей работы усилителя необходимо обеспечить равенство напряжений питания на транзисторах T_4 и T_6 при изменении напряжения источника питания. С этой целью усилитель охвачен отрицательной обратной связью по постоянному току.

Режим транзисторов по постоянному току устанавливается подбором сопротивлений резистора R_4 (при заданном токе коллектора транзистора T_1) или изменением в некоторых пределах тока коллектора транзистора T_1 (при выбранном сопротивлении резистора R_4). Режимы транзисторов при различных напряжениях источника питания приведены в табл. VI.1.

На рис. VI.16,б показан вариант включения транзисторов в выходном каскаде усилителя. При таком включении характеристики усилителя остаются без изменений. Достоинством схемы является возмож-

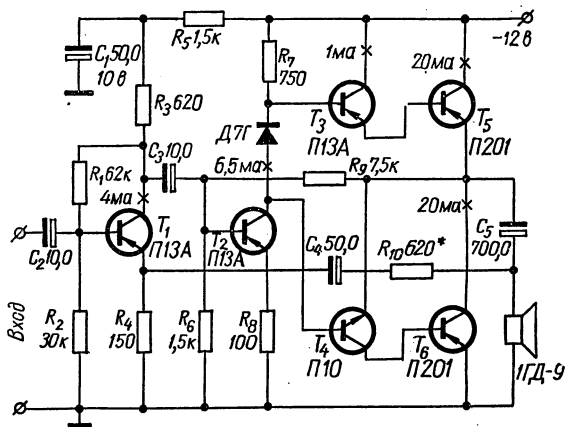


Рис. VI.17. Схема усилителя с бестрансформаторным выходом на транзисторах повышенной мощности.

ность включения на выходе усилителя транзисторов одного типа, что важно при построении усилителей повышенной мощности (в настоящее время не выпускаются транзисторы повышенной мощности типа $n-p-n$). Аналогичное включение транзисторов применяется в схеме мощного оконечного усилителя (рис. VI.17), который может быть использован в автомобильном приемнике или переносном магнитофоне. Максимальная выходная мощность усилителя составляет 1,5 *вт* при к. п. д. 50% и выходном напряжении 0,4 *в*. Входное сопротивление — около 20 *ком*; выходное сопротивление — примерно 1 *ом*. Усилитель воспроизводит частоты от 30 *гц* до 10 *кГц*. Коэффициент нелинейных искажений — не более 5%.

В усилителе применена отрицательная обратная связь с выхода в цепь эмиттера первого транзистора и отрицательная обратная связь по постоянному току, напряжение которой подается через резистор R_9 (7,5 *ком*) в цепь базы второго транзистора. Обратная связь по постоянному току стабилизирует режим транзисторов при изменении температуры. С этой же целью для смещения в цепи баз транзисторов T_3 и T_4 вместо резистора включен диод Д7Г.

Коэффициент усиления по току β транзисторов T_3 , T_4 , T_5 и T_6 должен составлять приблизительно 30—60. Желательно, чтобы коэффициенты усиления перечисленных транзисторов были равны. В крайнем случае необходимо обеспечить равенство $\beta_4\beta_6 = \beta_3\beta_5$. Обратные токи коллекторов должны быть по возможности минимальными.

Ниже приводим основные расчетные соотношения для бестрансформаторных каскадов.

Амплитуда напряжения на нагрузке

$$U_m = 0,5E - \Delta E,$$

где E — напряжение источника питания; ΔE — напряжение на коллекторе, при котором начинается прямолинейный участок статических характеристик коллекторного тока. Величина ΔE зависит от тока коллектора и типа транзистора (обычно $\Delta E = 0,5—1,5$ в).

Мощность в нагрузке

$$P_n = \frac{U_m^2}{2R_n},$$

где R_n — сопротивление нагрузки.

Максимальный ток коллектора

$$I_{km} = \sqrt{\frac{2P_n}{R_n}}.$$

Средний ток, потребляемый от источника питания,

$$I_{cp} = 0,32 \sqrt{\frac{2P_n}{R_n}}.$$

Коэффициент полезного действия

$$\eta = 0,78 \left(1 - 2 \frac{\Delta E}{E} \right).$$

Мощность, рассеиваемая на транзисторе,

$$P_k = P_n \frac{1 - \eta}{2\eta}.$$

Если напряжение источника питания не задано, его можно определить по формуле

$$E = 2 \left(\sqrt{2P_n R_n} + \Delta E \right).$$

Пользуясь приведенными выше соотношениями, можно выбрать тип транзистора. Величины P_k , I_{km} и максимальное напряжение на коллекторе U_{km} не должны превышать допустимых для выбранного транзистора. Величина U_{km} в бестрансформаторных каскадах не превышает напряжения источника питания E .

Пример. Выбрать тип транзисторов для бестрансформаторного выходного каскада усилителя автомобильного радиоприемника. Напряжение источника питания 12,6 в. Сопротивление нагрузки 6 ом.

$$U_m = 0,5 \cdot 12,6 - 1,3 = 5 \text{ в}; \quad \Gamma_n = \frac{5^2}{2 \cdot 6} = 2 \text{ вт};$$

$$I_{km} = \sqrt{\frac{2 \cdot 2}{6}} = 0,82 \text{ а}; \quad I_{cp} = 0,32 \sqrt{\frac{2 \cdot 2}{6}} = 0,26 \text{ а};$$

$$\eta = 0,78 \left(1 - 2 \cdot \frac{1,3}{12,6} \right) = 0,62; \quad P_k = 2 \cdot \frac{1 - 0,62}{2 \cdot 0,62} = 0,62 \text{ вт}.$$

Можно выбрать транзисторы типа П201, П202 и П203.

§ 4. Каскады предварительного усиления

Каскады предварительного усиления усиливают слабые сигналы до уровня, необходимого для возбуждения выходного каскада. Они работают в режиме класса А, т. е. на линейном участке коллекторных характеристик транзистора.

Усилители с реостатно-емкостной связью характеризуются простой схемой, малым весом и габаритами, большой надежностью и хорошо стабилизируются по постоянному току. Они находят самое широкое применение. К недостаткам таких усилителей следует отнести отсутствие согласования между входом последующего каскада и выходом предыдущего. Схема с общим эмиттером используется чаще всего, поскольку она обеспечивает максимальное усиление. Сопротивление нагрузки каскада по переменному току задано (входное сопротивление последующего каскада), поэтому максимум усиления по мощности является одновременно максимумом усиления по напряжению.

Простейшие схемы каскадов с реостатно-емкостной связью представлены на рис. VI.2, а и б. Эти схемы целесообразно применять для усилителей, работающих в малом интервале температур (10—20° С). Для усилителей, предназначенных для работы в более широком интервале температур, следует использовать стабилизацию режима транзисторов (см. § 2 этой главы). Наибольшее применение находит схема, приведенная на рис. VI.4, а.

В двухкаскадных усилителях используются различные комбинации схем включения транзисторов. Если выходное сопротивление источника сигнала и сопротивление нагрузки усилителя примерно равны между собой и их величины составляют несколько единиц или десятков килоомов, следует применять схемы каскадов с общим эмиттером; при малых сопротивлениях (меньше 100 ом) — схему с общим эмиттером или общей базой в первом каскаде и общим коллектором — во втором; при больших сопротивлениях (больше 100 ком) — схему с общим коллектором в первом каскаде и общим эмиттером во втором.

Если сопротивление нагрузки усилителя значительно превышает сопротивление источника сигнала, следует использовать двухкаскадную схему с общим эмиттером. При сопротивлении нагрузки усилителя меньшем, чем выходное сопротивление источника сигнала, рекомендуется двухкаскадная схема с общим эмиттером или комбинация схемы с общим эмиттером в первом каскаде и общим коллектором во втором.

Для многокаскадных усилителей приведенные выше рекомендации относятся к первому и последнему каскадам. Промежуточные каскады собираются по схеме с общим эмиттером.

Выбор режима транзисторов. Если напряжение источника питания не задано, то при его выборе необходимо учитывать следующее: при большем напряжении источника повышается коэффициент усиления каскада, поскольку имеется возможность увеличить сопротивление резистора в цепи коллектора, однако снижается к. п. д. каскада. При большем напряжении источника питания можно увеличить сопротивление резистора в цепи эмиттера, улучшив тем самым стабилизацию режима транзистора. По возможности следует выбирать напряжение источника питания в пределах 6—12 в.

Выбирая режим транзистора, необходимо учитывать, что при уменьшении тока коллектора повышается к. п. д. каскада, но ухудшается температурная стабильность режима. Обычно из соображений экономичности для каскадов предварительного усиления ток коллектора выбирают в пределах 1—2 ма. Исключения составляют предвыходные каскады, у которых ток коллектора может быть несколько больше. При токе коллектора 1—2 ма напряжение смещения база—эмиттер должно составлять 0,1—0,5 в. Напряжение на коллекторе выбирается равным примерно половине напряжения источника питания. При снижении напряжения на коллекторе уменьшается усиление каскада. Уменьшение этого напряжения (иногда ниже 2—3 в) целесообразно в первых каскадах усилителей, работающих от источников слабых сигналов, поскольку при этом резко снижается уровень шумов транзисторов.

Выбор элементов каскада, собранного по схеме рис. VI.4, а, зависит от предъявляемых требований. Если необходимо обеспечить температурную стабильность режима, ориентировочный выбор элементов каскада производится следующим образом.

Сопротивление в цепи коллектор—эмиттер определяется по формуле

$$R_{к.э} = R_{к} + R_{э} = \frac{E - U_{к0}}{I_{к0}} \text{ ком,}$$

где E — напряжение питания, в; $U_{к0}$ — напряжение на коллекторе, в; $I_{к0}$ — ток коллектора, ма.

Эквивалентное сопротивление базового делителя

$$R_{б.э} = \frac{R_{61}R_{62}}{R_{61} + R_{62}} = \frac{3 \div 10}{y_{11э}}.$$

Здесь $y_{11э}$ — параметр транзистора (см. гл. IV). При больших значениях $R_{б.э}$ повышается входное сопротивление каскада, однако снижается коэффициент усиления (при условии, что коэффициент неустойчивости остается неизменным). Иногда при больших $R_{б.э}$ не удается обеспечить заданную стабильность.

Сопротивление резистора в цепи эмиттера

$$R_{э} \approx \frac{R_{б.э}}{S_{н} - 1},$$

где $S_{н}$ — коэффициент неустойчивости каскада. Обычно для радиолокационных конструкций можно принимать $S_{н}$ равным 3—6.

Сопротивление резистора в цепи коллектора

$$R_{к} = R_{к.э} - R_{э}.$$

Сопротивления резисторов базового делителя

$$R_{61} = \frac{ER_{63}}{E - U_{к0}} \left(1 + \frac{R_k}{R_3} \right); \quad R_{62} = \frac{R_{61}R_{63}}{R_{61} - R_{63}}.$$

Коэффициент усиления каскада по напряжению можно определить по формуле

$$K_U = \frac{y_{213}}{y_{223} + y_H},$$

где y_{213} и y_{223} — параметры транзистора (см. гл. IV), y_H — проводимость нагрузки каскада. Если нагрузкой является следующий каскад, то

$$y_H = \frac{1}{R_{вх2}} + \frac{1}{R_k}.$$

Здесь $R_{вх2}$ — входное сопротивление последующего каскада.

Входное сопротивление данного каскада

$$R_{вх1} \approx \frac{R_{61}R_{62}}{y_{113}R_{61}R_{62} + R_{61} + R_{62}}.$$

Выходное сопротивление каскада можно принять равным сопротивлению резистора в цепи коллектора R_k .

Принимая допустимое снижение усиления каскада за счет разделительного конденсатора C_p на низшей частоте f_H равным 10%, можно определить емкость этого конденсатора по формуле

$$C_p \geq \frac{0,37 \cdot 10^9}{f_H (R_k + R_{вх})} \text{ мкф},$$

где $R_{вх}$ — входное сопротивление последующего каскада, *ом*; R_k — сопротивление резистора в цепи коллектора, *ом*.

Принимая допустимое снижение усиления на низшей частоте за счет конденсатора в цепи эмиттера равным 30%, определяют емкость конденсатора

$$C_3 \geq \frac{0,73 \cdot 10^9}{f_H R_3} \text{ мкф}.$$

Здесь f_H — низшая частота, *гц*; R_3 — сопротивление резистора в цепи эмиттера, *ом*. Если выбрать большее значение емкости, частотные искажения уменьшатся.

Высшая частота рабочего диапазона определяется частотными свойствами транзистора. Для транзисторов П13—П15 и П8—П11 она обычно достигает нескольких десятков килогерц.

П р и м е р. Выбрать элементы термостабильного каскада на транзисторе типа П15. Рабочий диапазон частот — 100—7000 *гц*. Напряжение питания — 9 *в*. Сопротивление нагрузки каскада — 500 *ом*.

Принимаем $I_{к0} = 2 \text{ ма}$; $U_{к0} = 4 \text{ в}$; $S_H = 3$.

Параметры транзистора: $y_{113} = 1000 \text{ мксим}$; $y_{213} = 30\,000 \text{ мксим}$; $y_{223} = 25 \text{ мксим}$.

$$R_{к.3} = R_k + R_3 = \frac{9 - 4}{2 \cdot 10^{-3}} = 2500 \text{ ом}.$$

$$R_{6.3} = \frac{3 \div 10}{1000 \cdot 10^{-6}} = 3 \div 10 \text{ ком}.$$

Принимаем $R_{б.э} = 10 \text{ ком.}$

$$R_э = \frac{10}{3-1} = 5 \text{ ком.} \quad R_к = 2500 - 5000 = -2500 \text{ ом.}$$

Следовательно, при выбранных значениях S_H и $R_{б.э}$ нельзя выполнить заданных требований. Если принять $R_{б.э} = 3 \text{ ком.}$, то $R_э = 1,5 \text{ ком}$ и $R_к = 1 \text{ ком.}$ Можно снизить требования в отношении температурной стабильности, приняв $S_H = 6$. Тогда при $R_{б.э} = 10 \text{ ком}$ получим:

$$R_э = 2 \text{ ком,} \quad R_к = 0,5 \text{ ком.}$$

В этом варианте входное сопротивление каскада будет больше. Итак, принимаем $S_H = 6$, $R_{б.э} = 10 \text{ ком.}$ Далее определяем

$$R_{б1} = \frac{9 \cdot 10}{9-4} \left(1 + \frac{0,5}{2}\right) = 22 \text{ ком;} \quad R_{б2} = \frac{22 \cdot 10}{22-10} = 18 \text{ ком.}$$

$$y_H = \frac{1}{500} + \frac{1}{500} = 4000 \text{ мксим.}$$

$$K_U = \frac{30000}{25 + 4000} \approx 7,5.$$

$$R_{вх} \approx \frac{22 \cdot 10^3 \cdot 18 \cdot 10^3}{1000 \cdot 10^{-6} \cdot 22 \cdot 10^3 + 18 \cdot 10^3 + 22 \cdot 10^3 + 18 \cdot 10^3} \approx 0,9 \text{ ком.}$$

$$C_p \geq \frac{0,37 \cdot 10^6}{100(500+500)} = 7,4 \text{ мкф;} \quad C_э \geq \frac{0,73 \cdot 10^6}{100 \cdot 2000} = 3,65 \text{ мкф.}$$

Если принять $S_H = 5$ и $R_{б.э} = 5 \text{ ком.}$, коэффициент усиления возрастет до 10, а входное сопротивление уменьшится до 0,8 ком.

Для повышения температурной стабильности каскадов можно использовать терморезисторы. Последние обычно включают параллельно резистору $R_{б2}$ (рис. VI.4, а). В этом случае коэффициент нестабильности S_H может быть меньше единицы и даже отрицательным. При использовании терморезисторов можно увеличить эквивалентное сопротивление базового делителя $R_{б.э}$ и сопротивление резистора $R_э$, благодаря чему повышается к. п. д., входное сопротивление и усиление каскада. Вместо терморезисторов можно использовать обратно смещенный полупроводниковый диод.

Усилители с трансформаторной связью применяются в предоконечных каскадах. Основным достоинством таких усилителей является возможность обеспечить согласование низкого входного сопротивления следующего каскада с высоким выходным сопротивлением транзистора, чем достигается получение максимального усиления по мощности. Недостатком усилителей с трансформаторной связью является увеличение размеров и веса усилителя за счет трансформатора.

Предоконечные каскады с трансформаторной связью собираются по такой же схеме, как и выходные одноконтные каскады (рис. VI. 6, б). Выбор типа транзистора и его режима производится в соответствии с указаниями, приведенными в § 3 этой главы. Величины сопротивлений и емкостей определяются так же, как и для усилителей с емкостной связью (см. выше).

Усилители с непосредственной связью содержат меньше деталей, легко настраиваются, не нуждаются в подборе транзисторов и мало

чувствительны к изменению напряжения питания. Они отличаются лучшей частотной характеристикой и малыми нелинейными искажениями. В усилителях с непосредственной связью легко добиться высокой температурной стабильности.

Перечисленные выше преимущества усилителей с непосредственной связью могут быть реализованы лишь при введении глубокой отрицательной обратной связи по постоянному току, подаваемой с выхода усилителя на первый каскад. Температурная стабильность тем выше, чем больше общее усиление и чем глубже обратная связь по постоянному току.

На рис. VI.18, а приведена схема с двумя обратными связями с выхода на вход. Стабилизация производится передачей напряжения с резистора R_6 на базу первого транзистора и изменением напряжения эмиттера первого каскада в зависимости от величины тока, протекающего

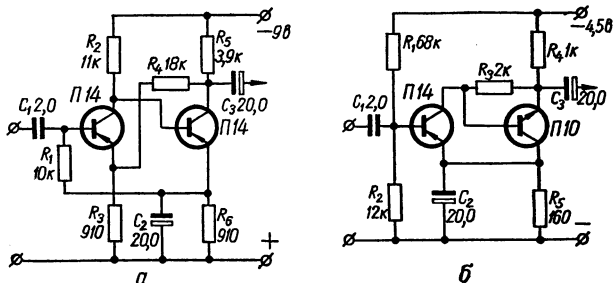


Рис. VI.18. Схемы усилительных каскадов с непосредственной связью:

а — с двумя обратными связями; б — с транзисторами различной проводимости.

через резистор R_6 . В этом усилителе режим устанавливается резистором R_6 или R_2 . Поскольку R_3 не зашунтирован конденсатором, в усилителе действует отрицательная обратная связь по переменному току, резко уменьшающая искажения.

В схеме, приведенной на рис. VI.18, б, использованы транзисторы с различной проводимостью. Режим усилителя устанавливается подбором сопротивления резистора R_1 .

Непосредственные связи между каскадами применены в усилителях, схемы которых представлены на рис. VI.16 и VI.17.

§ 5. Усилители на транзисторах с малым коэффициентом усиления по току

При использовании транзисторов с малым коэффициентом усиления по току усиление по мощности в схеме с общим эмиттером оказывается малым. Для повышения усиления всего усилителя рекомендуется несколько способов: увеличение количества каскадов, использование наилучшего режима работы транзисторов, обеспечение самого лучшего согласования между отдельными каскадами или применение положительной обратной связи.

Хотя первый способ и является самым простым, он не всегда может быть реализован, так как при увеличении количества каскадов снижается устойчивость усилителя. Усилитель легко возбуждается на низких частотах за счет связи через источник питания. Использование развязывающих фильтров еще больше увеличивает количество элементов усилителя.

Транзисторы с малым коэффициентом усиления β могут быть использованы при включении их по схеме составного транзистора (рис. VI. 19, а) или по схеме эмиттерного повторителя с непосредственной связью (рис. VI.19, б). Усиление по мощности одного такого каскада (оба они примерно равноценны) меньше, чем двух каскадов с общим эмиттером, собранных на тех же транзисторах, и меньше, чем эмиттерного повторителя без связи по постоянному току. Преимущест-

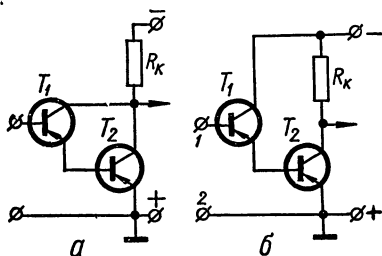


Рис. VI.19. Усилительные каскады на транзисторах с малым β :
а — с составным транзистором; б — эмиттерный повторитель с непосредственной связью.

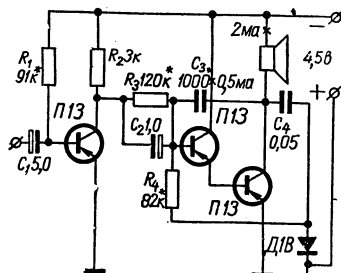


Рис. VI.20. Схема бестрансформаторного усилителя на транзисторах с малым β .

во этих схем состоит в повышенном входном сопротивлении, что облегчает соединение отдельных каскадов между собой и сопряжение с другими узлами, например с детектором. Недостатком таких схем является плохая температурная стабильность режима.

Хорошие результаты удается получить в усилителях на транзисторах с малым коэффициентом усиления β при одновременном использовании положительной и отрицательной обратной связи. Положительная обратная связь в одном или нескольких каскадах выбирается такой величины, чтобы без отрицательной обратной связи каскады были на пороге самовозбуждения. Отрицательная обратная связь, охватывающая весь усилитель, снижает усиление до заданной величины и стабилизирует его работу. Комбинация положительной и отрицательной обратной связи позволяет получить выходное сопротивление, близкое к нулю, и очень малые нелинейные искажения.

На рис. VI.20 приведена схема усилителя, в котором могут быть использованы транзисторы с малым коэффициентом усиления по току β . Оконечный каскад рассчитан на использование в качестве нагрузки электромагнитного капсюля ДЭМ-4м. Входное сопротивление усилителя при использовании транзисторов с коэффициентом усиления по току $\beta = 15-18$ составляет примерно 700 ом. Коэффициент усиления всего усилителя по напряжению равен 500—550. Оконечный каскад усилителя собран по экономичной схеме, приведенной на рис. VI. 9. Усилитель усиливает полосу частот от 500 гц до 4—5 кгц.

На рис. VI.21 представлена схема трехкаскадного усилителя на транзисторах с малым β . Выходная мощность усилителя составляет 100—150 мвт. Без обратных связей входное сопротивление усилителя равно 500—700 ом, а чувствительность со входа — 18—20 мв. Для повышения усиления применена положительная обратная связь, напряжение которой снимается с резистора R_{10} (1 ом). Глубина отрицательной обратной связи, которая подается с выхода усилителя, подбирается так, чтобы чувствительность, а значит, и устойчивость усилителя остались такими же, как и без обратных связей. При этом входное сопротивление повышается до 6—8 ком.

Трансформаторы Tr_1 и Tr_2 собраны на магнитопроводах типа Ш4×6 из пермаллоя марки 45Н. Обмотка I трансформатора Tr_1 содержит 1800 витков провода ПЭВ 0,08, а обмотка II — 2×250 витков провода ПЭВ 0,1. Обмотка I трансформатора Tr_2 содержит 2×350 витков провода ПЭВ 0,13, а обмотка II — 95 витков провода ПЭВ 0,21.

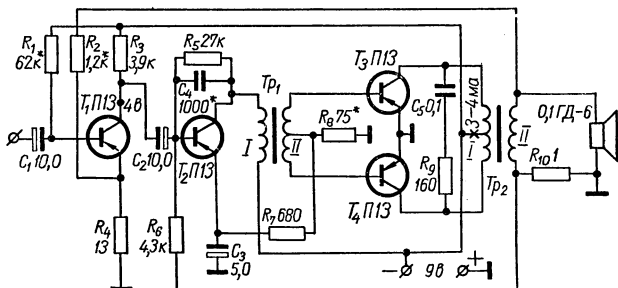


Рис. VI.21. Схема усилителя с трансформаторами на транзисторах с малым β .

Этот усилитель рассчитан на транзисторы с $\beta = 9-16$ (транзисторы с минимальными β следует применять в выходном каскаде, а транзистор с максимальным β — в первом каскаде).

Наладка усилителя начинается при отключенных обратных связях с подгонки режимов транзисторов T_1 (подбором сопротивления резистора R_1) и T_3, T_4 (подбором сопротивления резистора R_8). Режим транзистора T_2 контролировать не нужно. Затем восстанавливают положительную обратную связь (раскорачивают резистор R_{10}). Усилитель должен возбудиться на частоте 500—800 гц. Если это не произойдет, следует поменять местами концы одной из обмоток трансформатора Tr_1 . Сопротивление резистора R_8 подбирают с таким расчетом, чтобы усилитель был на пороге генерации. После этого восстанавливается отрицательная обратная связь. Наладку усилителя следует производить при работе от того источника сигнала, с которым он в дальнейшем будет работать.

§ 6. Каскады с большим входным сопротивлением

Каскады с большим входным сопротивлением используются в качестве входных в усилителях, работающих от источников сигнала с большим внутренним сопротивлением (пьезоэлектрический микрофон, высокоомная магнитная головка и др.). Максимальное входное сопротивление

можно получить при включении транзистора по схеме с общим коллектором (рис. VI. 4, в и 5, в). Входное сопротивление такого каскада возрастает при увеличении коэффициента усиления транзистора по току и сопротивления нагрузки. Если нагрузкой является каскад с общим

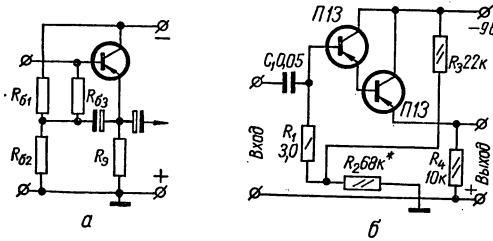


Рис. VI.22. Схемы усилительных каскадов с повышенным входным сопротивлением:

а — на одном транзисторе; б — на составном транзисторе.

эмиттером, входное сопротивление составляет 40—50 ком. Повышение входного сопротивления каскада с общим коллектором ограничивается сопротивлением базового делителя напряжения, определяющего режим работы транзистора. Увеличение сопротивлений делителя приводит к ухудшению температурной стабильности каскада.

Схема каскада (рис. VI. 22, а) позволяет повысить сопротивление в цепи базы для переменного тока, без изменения сопротивления делителя напряжения. В этой схеме напряжение смещения подается на базу через дополнительный резистор R_{B3} со средней точки делителя R_{B1}, R_{B2} . При сопро-

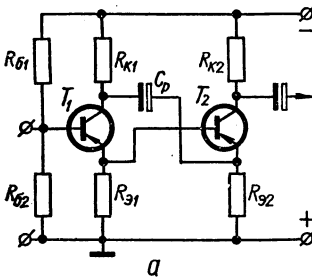


Рис. VI.23. Схемы усилительных каскадов с высоким входным сопротивлением.

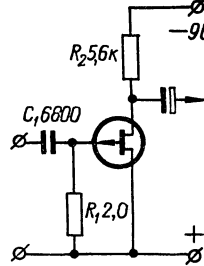
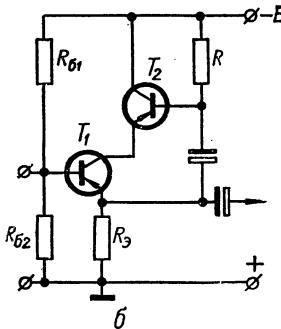


Рис. VI.24. Схема усилительного каскада на полевом транзисторе.

тивлении нагрузки около 10 ком можно получить входное сопротивление каскада, равное приблизительно нескольким мегомам.

Для повышения входного сопротивления каскада с общим коллектором используют составные транзисторы (рис. VI.22, б). Входное сопротивление каскада собранного по схеме, представленной на рис. VI.22, б, достигает 500 ком при сопротивлении нагрузки около 1 ком (последующий каскад по схеме с общим эмиттером). Для обеспечения нормального режима работы каскада необходимо, чтобы коэффициент усиления по току у первого транзистора был несколько больше, чем у второго.

На рис. VI.23 приведены схемы каскадов, входное сопротивление которых достигает нескольких десятков и даже сотен мегомов. Особенностью схемы, представленной на рис. VI.23, а, является наличие резистора в цепи коллектора каскада с общим коллектором. В схеме, приведенной на рис. VI.23, б, использовано каскодное включение транзисторов по схеме с общим коллектором и общей базой.

Каскады усиления с большим входным сопротивлением могут быть собраны на полевых транзисторах (рис. VI.24). Такие каскады используются в качестве входных для усилителей, работающих от пьезоэлектрического микрофона или звукоснимателя. При этом для уменьшения наводок целесообразно размещать транзистор в корпусе микрофона или звукоснимателя. Коэффициент усиления каскада по напряжению равен 1,5 при входном сопротивлении последующего каскада 4 ком.

§ 7. Обратная связь в усилителях звуковых частот

Обратной связью называется связь между выходными и входными цепями какой-либо усилительной схемы. Если при введении обратной связи усиление сигнала возрастает, такая обратная связь называется *положительной* и, наоборот, если усиление сигнала снижается, обратная связь называется *отрицательной*. Обратные связи бывают полезные, специально применяемые, и вредные, или паразитные. По способу осуществления различают параллельную, последовательную и смешанную обратные связи. Обратная связь может быть по переменному току, постоянному току, а также одновременно по постоянному и переменному току.

Отрицательная обратная связь улучшает работу усилителя. Положение рабочей точки транзисторов при использовании отрицательной обратной связи по постоянному току стабилизируется. Применение ее обязательно в усилителях с непосредственной связью между каскадами (см. § 4).

При любом способе введения отрицательной обратной связи по переменному току улучшаются качественные показатели усилителя; наилучшие результаты достигаются при параллельной обратной связи. При правильно выбранной параллельной отрицательной обратной связи уменьшаются вносимые усилителем нелинейные, частотные и фазовые искажения, повышается стабильность коэффициента усиления и выходного напряжения при изменениях параметров транзисторов, температуры, нагрузки и т. д., а также уменьшается выходное сопротивление усилителя. К недостаткам усилителей с отрицательной обратной связью по переменному току следует отнести уменьшение коэффициента усиления и возможность самовозбуждения при некоторых условиях.

Способы осуществления отрицательной обратной связи. В однокаскадном усилителе параллельная обратная связь осуществляется по

схеме, показанной на рис. VI.3, *a*, через резистор R_6 , а последовательная — по схеме, приведенной на рис. VI.4, *a*, если резистор R_3 не шунтирован конденсатором.

В двухкаскадном усилителе отрицательную обратную связь можно осуществить различными способами. На рис. VI.25 представлены наиболее часто применяемые схемы. В схеме, приведенной на рис. VI.25, *a*, напряжение обратной связи, пропорциональное коллекторному току второго транзистора, подается через резистор R_4 на базу первого транзистора. При этом стабилизируется коэффициент усиления по току, но снижается входное сопротивление усилителя. В схеме, показанной на рис. VI.25, *б*, часть выходного напряжения поступает в цепь эмиттера первого транзистора. Поскольку переменное напряжение между базой

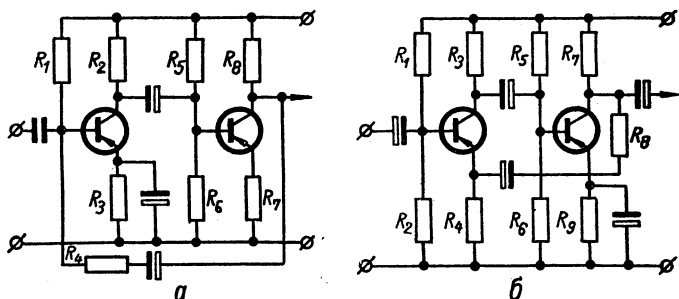


Рис. VI.25. Схемы двухкаскадных усилителей с отрицательной обратной связью.

и эмиттером намного меньше напряжения обратной связи, коэффициент усиления каскада по напряжению стабилизируется, практически не изменяясь при смене транзисторов и других внешних воздействиях. Входное сопротивление каскада повышается.

В многокаскадных усилителях используются отрицательные обратные связи как в отдельных каскадах, так и в цепи обратной связи, охватывающей два-три и более каскадов.

Устойчивость усилителя с отрицательной обратной связью. При глубокой отрицательной обратной связи фазовые сдвиги на верхних и нижних частотах приводят к появлению положительной обратной связи на этих частотах, что вызывает неустойчивость усилителя, а иногда и самовозбуждение. В связи с этим в усилителях с глубокой отрицательной обратной связью необходимо значительно расширять область частот с минимальными фазовыми сдвигами.

Для улучшения фазовой характеристики усилителя в схему не рекомендуется включать частотно зависимые регулировки и трансформаторы. Если же применение трансформатора неизбежно, его следует конструировать так, чтобы индуктивность рассеяния и собственная емкость были минимальными. Дополнительного улучшения фазовой характеристики можно добиться, применяя специальные корректирующие цепи.

Положительная обратная связь применяется для повышения коэффициента усиления усилителя, например при использовании транзисторов с малым коэффициентом усиления по току (см. § 5). Одновременно с положительной обратной связью обязательно применять отрицательную

обратную связь; в противном случае работа усилителя будет нестабильной.

Влияние паразитных обратных связей. При слабых паразитных связях появляются дополнительные частотные и фазовые искажения, иногда и нелинейные. При большой величине обратной связи усилитель может самовозбудиться.

В усилителях звуковых частот паразитные обратные связи обусловлены, главным образом, следующими причинами:

1) электростатической связью между цепями, для устранения которой применяют электростатическое экранирование;

2) магнитной связью между отдельными каскадами (вследствие рассеяния магнитного потока трансформаторов), для ослабления которой следует располагать трансформаторы различных каскадов на возможно больших расстояниях или применять магнитное экранирование;

3) обратной связью через общий источник питания, для ослабления которой рекомендуется использовать источники с возможно меньшим выходным (внутренним) сопротивлением и включать развязывающие фильтры в цепи питания отдельных каскадов.

Для уменьшения влияния паразитных обратных связей не следует допускать излишнего запаса усиления.

§ 8. Коррекция частотных характеристик

Коррекция частотных характеристик в усилителях звуковых частот применяется в следующих целях:

1) для получения плоской частотной характеристики; в этом случае уменьшение (или увеличение) усиления некоторых частот в одних каскадах компенсируется увеличением (или уменьшением) усиления этих же частот в других каскадах;

2) для получения частотной характеристики специальной формы; 3) для получения регулируемой частотной характеристики (плавно или ступенями), например с целью регулировки тембра звука.

На рис. VI. 26 представлены схемы включения простейших корректирующих цепей в усилителе с емкостными связями. Здесь же показаны примерные частотные характеристики усилителей с коррекцией и без нее. Приведенные формулы позволяют определять величины корректирующих элементов, обеспечивающих изменение усиления на заданной частоте примерно в два раза.

§ 9. Регулировки в усилителях звуковых частот

Регулировка усиления в усилителях на транзисторах производится с помощью переменных резисторов, включаемых на входе усилителя или между каскадами. Включение регулятора усиления между каскадами возможно только в усилителях, работающих от источников слабых сигналов (микрофона, фотоэлемента, магнитной головки и др.).

Схемы включения регулятора усиления на входе усилителя, работающего от детекторного каскада радиоприемника, приведены на рис. VI.27. Простейшая схема, показанная на рис. VI.27, а, не обеспечивает постоянства нагрузки детектора при регулировке усиления, что уменьшает глубину регулировки и увеличивает искажения при детектировании. Такая схема применяется только при большом входном сопротивлении первого каскада усилителя. В схеме, представленной на рис. VI.27, б, нагрузка детектора состоит из двух резисторов (R_1 и переменного резистора R_2), благодаря чему влияние входного сопротивления первого

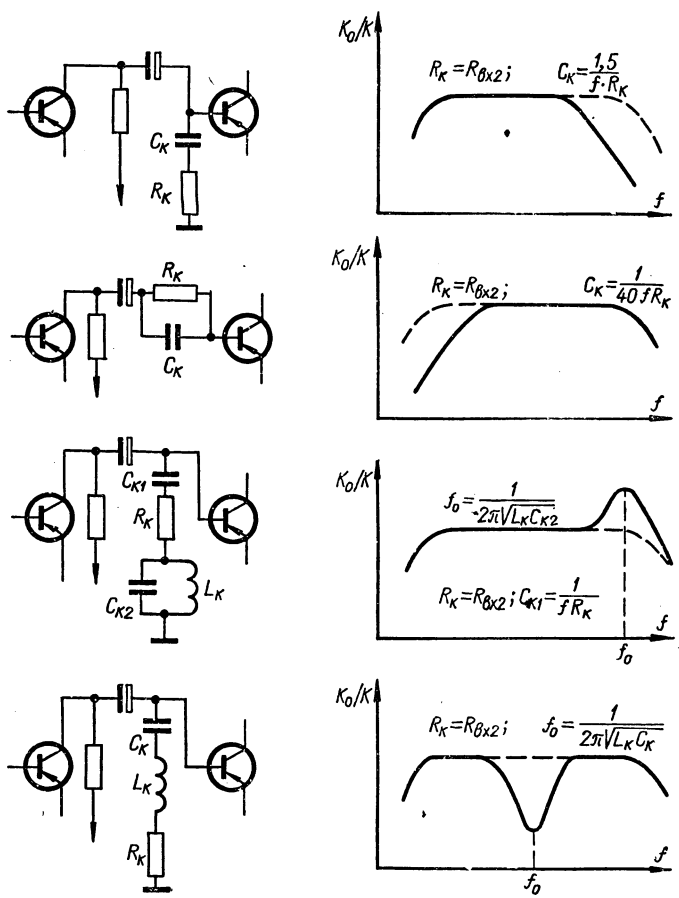


Рис. VI.26. Схемы включения корректирующих цепей в усилителе.

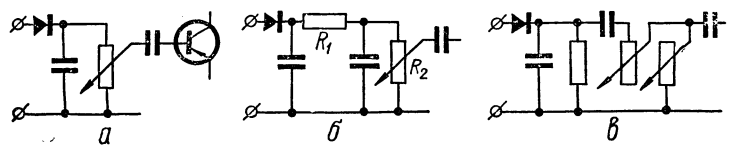


Рис. VI.27. Схемы включения регуляторов усиления (громкости) на входе усилителя.

каскада на величину нагрузки меньше, чем в схеме, показанной на рис. VI.27, а. Большая глубина регулировки усиления при меньшем уровне нелинейных искажений в детекторе достигается при использовании схемы, приведенной на рис. VI.27, в. Недостаток этой схемы состоит в необходимости применять двоиный переменный резистор.

На рис. VI.28 приведены схемы включения регуляторов усиления между каскадами усилителя. В схеме, показанной на рис. VI.28, а, сопротивление регулятора временно обеспечивает заданный режим транзистора по постоянному току. Это является недостатком схемы, поскольку обрыв в цепи регулятора может привести к выходу транзистора из строя. Схема включения, представленная на рис. VI.28, б, лишена указанного выше недостатка. Для увеличения глубины регулировки сопротивление регулятора должно быть возможно большим.

Рис. VI.28. Схемы включения регуляторов усиления между каскадами.

в области низких и высоких частот. В простых усилителях тембр регулируется только в области высоких частот. Для регулировки частотной характеристики применяются регулируемые частотно зависимые делители напряжения и регулируемая частотно зависимая отрицательная обратная связь.

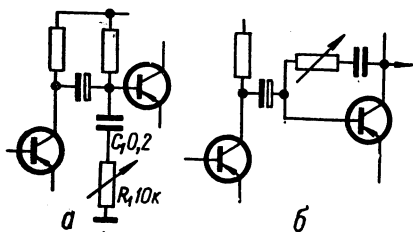


Рис. VI.29. Схемы регулировки тембра в области высоких частот:

а — с частотно зависимым делителем напряжения; б — в цепи отрицательной обратной связи.

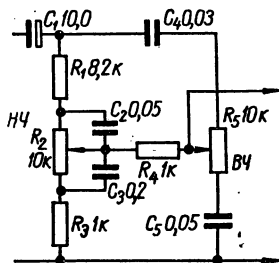


Рис. VI.30. Схема регулировки тембра в области низких и высоких частот: НЧ — регулятор низких частот; ВЧ — регулятор высоких частот.

Схемы регулировки тембра в области высоких частот приведены на рис. VI.29. На рис. VI.30 приведена схема регулировки тембра в области низких и высоких частот. Здесь уровень средних частот снижается в 10—12 раз, что обычно компенсируется применением дополнительного каскада усиления.

Для получения равномерной регулировки тембра необходимо использовать переменные резисторы типа В.

§ 10. Шумы в усилителях

Максимальный динамический диапазон усилителя определяется уровнем его шумов. Чем меньше уровень шумов, тем больше динамический диапазон. Шумы усилителя создаются главным образом первым каскадом и входными цепями. Напряжение шумов усилителя, приведенное ко входу и обусловленное тепловыми шумами во входной цепи и шумами транзисторов, приближенно определяется выражением

$$U_{\text{ш}} = \sqrt{U_{\text{ш. тепл}}^2 + U_{\text{ш. т}}^2},$$

где $U_{\text{ш. тепл}}$ — напряжение тепловых шумов входной цепи; $U_{\text{ш. т}}$ — напряжение шумов первого транзистора.

Тепловые шумы входной цепи усилителя можно подсчитать по формуле

$$U_{\text{ш. тепл}} = 0,13 \sqrt{(f_{\text{в}} - f_{\text{н}}) R} \text{ мкв},$$

где $f_{\text{в}}$ и $f_{\text{н}}$ — соответственно высшая и низшая частоты рабочего диапазона, *кГц*; R — сопротивление (активная составляющая) входной цепи, *ком*.

Шумы транзисторов. Действие шумов транзисторов оценивается коэффициентом (или фактором) шума (см. гл. IV). Мощность шумов транзисторов, приходящаяся на единицу полосы пропускания, приблизительно обратно пропорциональна частоте.

Мощность шумов транзистора, отнесенная к его входу,

$$P_{\text{ш. т}} = 0,9 \cdot 10^{-17} F_{\text{ш}} \lg \frac{f_{\text{в}}}{f_{\text{н}}} \text{ вт},$$

где $F_{\text{ш}}$ — коэффициент шума; $f_{\text{в}}$ и $f_{\text{н}}$ — высшая и низшая частоты рабочего диапазона.

Действующее значение напряжения шумов, приведенное к его входу,

$$U_{\text{ш. т}} = \sqrt{P_{\text{ш. т}} R_{\text{вх}}}.$$

Здесь $R_{\text{вх}}$ — входное сопротивление транзистора.

Для уменьшения шумов усилителя в первых каскадах используют транзисторы с возможно меньшим коэффициентом шума. Для маломощных транзисторов минимальный уровень шумов получается при токе коллектора 0,1—0,3 *ма*, напряжении между коллектором и базой 0,5—2 *в* и сопротивлении источника сигнала 300—1000 *ом*.

Шумы, обусловленные наводками от внешних источников помех. Источниками магнитных наводок могут быть электродвигатели, электромагниты, электромагнитные реле, трансформаторы питания и т. п.

Способы уменьшения магнитных наводок: 1) правильное расположение источников наводок относительно входных цепей и первого каскада; 2) изготовление шасси из немагнитных материалов (алюминий, дюралюминий, латунь и др.); 3) свивание входных проводов с минимальным шагом (рекомендуются тонкие провода); 4) магнитное экранирование входных цепей и входного трансформатора.

Электрические наводки обусловлены паразитными емкостями монтажа. Источниками электрических наводок являются провода, по которым протекают переменные токи. Для уменьшения электрических

наводок на провода и детали входного каскада их экранируют, т. е. заключают в кожух из материала с высокой электрической проводимостью (медь, алюминий, латунь). Кожух соединяют с шасси усилителя.

Практически электрическое экранирование выполняют следующим образом. На свитые входные провода натягивают медную (луженую) оплетку и соединяют ее с шасси. Для уменьшения емкости между проводами и корпусом на провода предварительно натягивают изоляционную трубку. Металлические корпуса переменных резисторов и других деталей соединяют с шасси.

РАДИОПРИЕМНЫЕ УСТРОЙСТВА НА ТРАНЗИСТОРАХ

§ 1. Основные параметры радиоприемников

Чувствительность радиоприемника при работе от внешней антенны определяется как наименьшая величина э. д. с. сигнала в антенне, при которой обеспечивается нормальная работа оконечного устройства. При работе от внутренней антенны определяется наименьшая величина напряженности электромагнитного поля в месте установки радиоприемника.

Реальная чувствительность вещательных радиоприемников определяется как наименьшая величина э. д. с. сигнала в антенне или напряженности поля, при которой на выходе приемника получается мощность сигнала, равная 50 мвт (для приемников с номинальной мощностью менее 150 мвт — 5 мвт), и отношение напряжения полезного сигнала к напряжению шумов не менее 20 дБ (при амплитудной модуляции) или 26 дБ (при частотной модуляции). При этом глубина амплитудной модуляции должна быть равна 30%, а девиация частоты при частотной модуляции ± 15 кГц. Частота модуляции 400 или 1000 Гц.

Избирательность (селективность) оценивается как ослабление сигналов посторонних радиостанций по сравнению с сигналом, на частоту которого настроен радиоприемник. Количественную оценку избирательности радиоприемника в отношении сигналов соседних каналов можно производить по резонансной характеристике приемника, представляющей собой зависимость его чувствительности от частоты сигнала.

Ослабление сигнала зеркального канала (для супергетеродинных радиоприемников) — отношение чувствительности для сигнала зеркального канала к чувствительности для сигнала, на частоту которого настроен радиоприемник.

Полоса воспроизводимых частот — интервал частот, в котором неравномерность частотной характеристики по звуковому давлению не превышает заданной величины.

Частотная характеристика по звуковому давлению (кривая верности) — изображение зависимости звукового давления на выходе акустической системы радиоприемника от частоты модуляции сигнала на входе при постоянной глубине модуляции.

Частотная характеристика по напряжению — изображение зависимости напряжения на выходе радиоприемника от частоты модуляции при постоянной глубине модуляции.

Нелинейные искажения оцениваются величиной коэффициента гармоник по звуковому давлению на выходе акустической системы при номинальной мощности и заданной глубине модуляции.

Требования, предъявляемые к вещательным радиоприемникам, приведены в табл. VII. 1 и VII. 2.

Таблица VII.1

Основные параметры переносных радиовещательных приемников

Параметр	Класс приемника			
	1	2	3	4
Диапазоны принимаемых частот*: ДВ 150—408 кГц СВ 525—1605 кГц КВ 3,95—12,1 МГц УКВ 65,8—73 МГц	++ ++ ++ ++	++ ++ ++ ++	++ ++ — ++	++ ++ — +
Растянутые диапазоны Промежуточная частота: на ДВ, СВ, КВ, кГц на УКВ, МГц	++ 465±2 6,5±0,1	+ 465±2 6,5±0,1	— 465±2 6,5±0,1	— 465±2 6,5±0,1
Чувствительность: с клемм наружной антенны на ДВ и СВ на КВ на УКВ при входном со- противлении 300 Ом, мкВ с внутренней магнитной ан- тенной на ДВ, мВ/м на СВ, мВ/м	150 200 10 1,0 0,7	150 200 20 2,0 1,0	200 — 30 2,5 1,5	300 — — 3,0 2,0
Избирательность (ослабление приема при расстройке на ±10 кГц) на ДВ и СВ (не менее), дБ	46	34	26	16
Усредненная крутизна ската ре- зонансной характеристики в диа- пазоне УКВ в интервале ослаб- ления сигнала от 6 до 26 дБ (не менее), дБ/кГц	0,2	0,17	0,15	—
Полоса пропускания на УКВ, кГц	120—180	120—180	120—180	—
Ослабление приема по зеркаль- ному каналу (не менее), дБ: на ДВ на СВ на КВ на УКВ	46 26 14 22	40 26 12 22	20 20 — 20	16 16 — —
Подавление сигналов с 30%-ной амплитудной модуляцией по отношению к частотно-модули- рованным сигналам с девиацией частоты ±15 кГц в полосе частот ±50 кГц от значения несущей частоты при точной настройке (не менее), дБ	16	12	10	—

Параметр	Класс приемника			
	1	2	3	4
Действие автоматической регулировки усиления на ДВ, СВ и КВ: изменение напряжения на входе, <i>дБ</i> соответствующее изменение напряжения на выходе (не более), <i>дБ</i>	40	26	26	26
Ручная регулировка громкости в пределах (не менее), <i>дБ</i>	12	10	12	12
	50	50	40	30
Чувствительность тракта НЧ (с гнезд звукоснимателя) при входном сопротивлении не менее 0,5 <i>Мом</i> (не ниже), <i>в</i>	0,25	0,25	0,25	0,25
Частотная характеристика всего тракта по звуковому давлению при неравномерности 14 <i>дБ</i> (на частотах ниже 250 <i>кГц</i> —18 <i>дБ</i>): полоса воспроизводимых частот на ДВ, СВ и КВ (не уже), <i>Гц</i> на УКВ (не уже), <i>Гц</i>	150—4000 150—12000	200—4000 200—10000	300—3500 300—7000	450—300 —
Среднее звуковое давление (при номинальной выходной мощности) на расстоянии 1 м, <i>н/м²</i>	0,4	0,25	0,23	0,1
Коэффициент нелинейных искажений по звуковому давлению при номинальной мощности: при глубине модуляции 80% на ДВ, СВ и КВ на частотах от 200 до 400 <i>Гц</i> (не более), % на частотах выше 400 <i>Гц</i> (не более), % при девиации частоты ±50 <i>кГц</i> в диапазоне УКВ на частотах от 200 до 400 <i>Гц</i> (не более), % на частотах выше 400 <i>Гц</i> (не более), %	8 7 5 4	8 7 5 4	10 8 7 5	12 8 — —
Потребление электроэнергии при к. п. д. не менее 30% (не более), <i>вт</i>	2,0	0,5	0,5	0,3
Напряжение питания: номинальное, <i>в</i> минимальное, <i>в</i>	12;9 7,2; 5;6,	9;6 5,6; 3,8	9; 6; 4,5 5,6; 3,8; 2,8	9; 6; 4,5 5,6; 3,8; 2,8

* (+ +) — диапазон обязателен; (+) — диапазон не обязателен; (—) — диапазон отсутствует, а параметр оговаривается в технических условиях на приемник данного типа.

Таблица VII.2

Вспомогательные устройства переносных радиовещательных приемников

Устройство*	Класс приемника			
	1	2	3	4
Регулятор громкости с тонкомпенсацией	++	+	-	-
Регулятор тембра:				
на НЧ	++	+	+	-
на ВЧ	++	++	+	-
Индикатор включения	++	++	++	++
Индикатор настройки	+	+	+	+
Фиксированное положение «местный прием» в				
диапазонах ДВ и СВ	++	+	+	-
Вход для внешней антенны ДВ и СВ	++	++	+	+
Вход для внешней антенны УКВ	++	+	+	-
Внутренняя (встроенная) антенна УКВ	++	+	+	-
Вход для подключения звукоснимателя и маг-				
нитофона на воспроизведение	++	+	+	-
Выход для подключения магнитофона на запись	+	+	+	-

* (++) — устройство обязательно; (+) — устройство не обязательно; (-) — устройство отсутствует.

§ 2. Блок-схемы радиоприемников

Радиоприемники прямого усиления (рис. VII. 1, а) отличаются простотой, хорошим воспроизведением сигнала, однако имеют сравнительно низкие чувствительность и избирательность и поэтому в малогабаритном исполнении применяются главным образом для приема местных станций. Их основные электрические параметры сильно изменяются с частотой.

Входная цепь осуществляет предварительную избирательность, вследствие чего уменьшаются искажения при усилении сигнала. Кроме

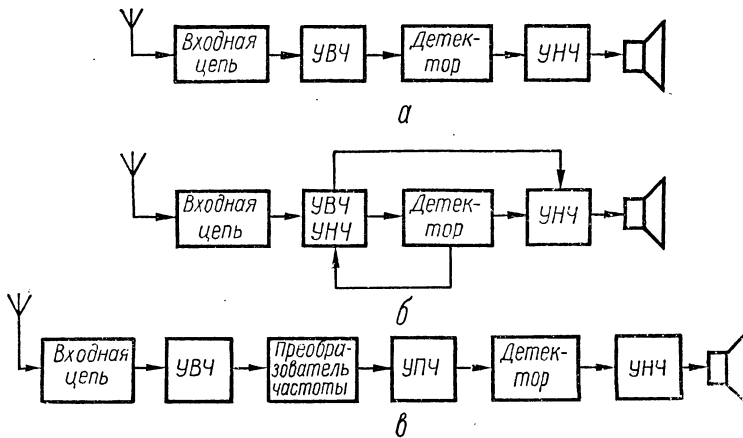


Рис. VII.1. Блок-схемы радиоприемников:

а — прямого усиления; б — прямого усиления (рефлексная); в — супергетеродинного.

того, входная цепь повышает общее усиление и чувствительность радиоприемника. Усилитель высокой частоты (УВЧ) усиливает напряжение сигнала до величины, при которой возможно детектирование с допустимым уровнем искажений, и осуществляет избирательность. Детектор преобразует модулированные колебания высокой частоты в колебания звуковой частоты. Усилитель низкой частоты (УНЧ) повышает мощность сигнала до величины, достаточной для нормальной работы громкоговорителя или другого выходного прибора.

Малогабаритные радиоприемники прямого усиления иногда выполняют по *рефлексной схеме* (рис. VII.1, б), в которой один и тот же каскад используется для усиления сигналов высокой и низкой частоты. Недостатком рефлексных схем является усложнение наладки радиоприемника.

Для увеличения коэффициента усиления приемника (до детектора) иногда используются *регенеративные* (с положительной обратной связью) и *сверхрегенеративные* схемы. Последние позволяют получить очень высокую чувствительность, однако вносят большие искажения и поэтому в радиовещательных приемниках не применяются.

Радиоприемники супергетеродинного типа, или супергетеродины, характеризуются высокими качественными показателями, однако отличаются более сложной схемой (рис. VII. 1, в).

Входная цепь и УВЧ обеспечивают предварительную избирательность, что способствует уменьшению искажений в преобразователе частоты, и усиление сигнала. При достаточно малом уровне собственных шумов входной цепи и УВЧ повышается отношение сигнал/шум на выходе радиоприемника за счет перекрытия шумов преобразователя усиленным сигналом.

Преобразователь частоты превращает модулированные колебания с частотой принятого сигнала в модулированные колебания промежуточной частоты (постоянной для данного радиоприемника) без изменения формы огибающей. Усилитель промежуточной частоты (УПЧ) обеспечивает основное усиление и избирательность. Остальные каскады выполняют те же функции, что и в радиоприемнике прямого усиления.

Радиоприемники частотно-модулированных сигналов (ЧМ приемники) отличаются от приемников амплитудно-модулированных сигналов (АМ приемников) применением частотного детектора вместо амплитудного. При использовании частотных детекторов некоторых типов требуется предварительное ограничение амплитуды ЧМ колебаний, чтобы устранить паразитную амплитудную модуляцию.

Радиоприемники ЧМ сигналов обычно выполняются по супергетеродинной схеме (рис. VII. 2).

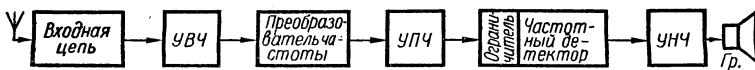


Рис. VII.2. Блок-схема радиоприемника ЧМ сигналов.

Комбинированные АМ ЧМ приемники предназначаются для приема радиовещательных программ с амплитудной модуляцией в диапазонах ДВ, СВ и КВ и с частотной модуляцией в диапазоне УКВ (65,8—73 МГц). Эти радиоприемники обычно собирают по схеме, приведенной на рис. VII.3. При приеме ЧМ колебаний используется отдельный УКВ блок, который содержит входную цепь, УВЧ и преобразователь частоты. Преобразователь частоты АМ тракта при приеме ЧМ колебаний используется в качестве каскада УПЧ.

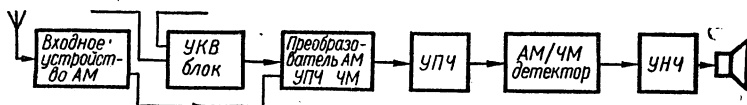


Рис. VII.3. Блок-схема комбинированного АМ/ЧМ радиоприемника.

В каскадах промежуточной частоты АМ/ЧМ приемников, как правило, используются одни и те же усилительные элементы для АМ и ЧМ трактов. Иногда применяют комбинированный АМ/ЧМ детектор.

§ 3. Эскизный расчет супергетеродина на транзисторах

Выбор полосы пропускания. Необходимая полоса пропускания до детектора зависит от эффективной ширины спектра принимаемого сигнала, а также от стабильности частоты гетеродина и передатчика. Для радиовещательных приемников допускается подстройка при приеме, поэтому полоса пропускания выбирается только по эффективной ширине спектра сигнала Δf_c . При амплитудной модуляции

$$\Delta f_c = 2F_{\text{макс}},$$

где $F_{\text{макс}}$ — максимальная частота модуляции (полосы воспроизводимых частот).

При частотной модуляции

$$\Delta f_c = 2F_{\text{макс}} (1 + \psi_m + \sqrt{\psi_m}),$$

где $\psi_m = \frac{\Delta f_{\text{макс}}}{F_{\text{макс}}}$ — индекс модуляции, $\Delta f_{\text{макс}}$ — наибольшая амплитуда изменения частоты при модуляции.

Полоса пропускания ЧМ тракта вещательных радиоприемников выбирается в соответствии с ГОСТом (табл. VII. 1).

Выбор промежуточной частоты. Для радиовещательных приемников промежуточные частоты АМ и ЧМ трактов установлены ГОСТом (табл. VII. 1). При выборе промежуточной частоты для других радиоприемников нужно руководствоваться следующим.

Промежуточная частота не должна находиться в диапазоне принимаемых частот. Если промежуточная частота слишком высокая, то избирательность УПЧ (при заданных полосе пропускания и числе контуров) будет мала, а максимальное устойчивое усиление каждого каскада УПЧ будет низким. Если же промежуточная частота низка, то будет малым ослабление приема по зеркальному каналу. Кроме того, промежуточная частота должна быть по крайней мере в 10—20 раз больше верхней частоты полосы воспроизводимых частот.

Распределение неравномерности частотной характеристики по каскадам приемника. Для радиовещательных приемников ГОСТ устанавливает величину неравномерности частотной характеристики по звуковому давлению (табл. VII. 1). Можно принять неравномерность частотной характеристики акустической системы (громкоговорителя или группы громкоговорителей) равной 6 дБ. Остальную неравномерность можно распределить следующим образом: входная цепь и УКВ — 3—6 дБ на СВ и ДВ (на частотах более 250 кГц); 7—10 дБ на частотах менее 250 кГц и 1—2 дБ на КВ; УПЧ — 2—5 дБ; детектор — 0,5—1 дБ. В УНЧ

высокие частоты могут быть подняты за счет коррекции частотной характеристики, поэтому неравномерность частотной характеристики УНЧ можно принимать от 0 до 3—4 дБ. Большие значения неравномерности во входной цепи и УВЧ следует принимать в тех случаях, когда приемник должен работать с магнитной антенной. В УПЧ большие значения неравномерности должны приниматься для одноконтурных каскадов и меньше — для двухконтурных каскадов и каскадов с фильтрами сосредоточенной избирательности.

В приемниках для телефонной связи обычно выбирают неравномерность частотной характеристики каскадов до преобразователя равной 1—3 дБ, УПЧ — 3—5 дБ, детектора — 0,5—1 дБ, УНЧ — 3—4 дБ.

Выбор числа контуров во входной цепи и УВЧ. Так как контуры входной цепи и УВЧ диапазонных приемников перестраиваются, то увеличение их числа сильно усложняет радиоприемник (увеличивается число элементов настройки). Обычно в радиовещательных и любительских связных приемниках применяется не более двух контуров.

Число контуров и их эквивалентную добротность определяют следующим образом. Принимают число контуров равным единице и находят максимальную допустимую эквивалентную добротность контура Q_3 для наименьшей частоты каждого поддиапазона

$$Q_3 = \frac{f_{\min} \sqrt{d_{\pi}^2 - 1}}{\Delta F},$$

где f_{\min} — минимальная частота поддиапазона; d_{π} — неравномерность частотной характеристики в полосе пропускания; ΔF — полоса пропускания. Децибелы должны быть переведены в отношения. Для поддиапазонов КВ можно принять $Q_3 = 60$ —100.

Величина ослабления приема по зеркальному каналу определяется на максимальной частоте каждого поддиапазона

$$d_3 = \left(\frac{f_{\max} + 2f_{\text{пр}}}{f_{\max}} - \frac{f_{\max}}{f_{\max} + 2f_{\text{пр}}} \right) Q_3,$$

где $f_{\text{пр}}$ — промежуточная частота приемника.

Если полученное ослабление меньше заданного, то следует увеличить число контуров до двух. При этом для поддиапазонов КВ следует применить резонансный УВЧ, а для поддиапазонов ДВ и СВ — двухконтурную входную цепь.

В поддиапазоне УКВ, как правило, используется один контур во входной цепи и один контур в УВЧ.

Выбор числа контуров промежуточной частоты. В сравнительно простых радиоприемниках, в которых полоса пропускания, как правило, не регулируется, в качестве избирательных элементов УПЧ обычно применяется фильтр сосредоточенной избирательности (ФСИ) после преобразователя частоты (см. § 9 этой главы). Последний каскад УПЧ выполняется по одноконтурной схеме с полосой пропускания, значительно превышающей полосу всего УПЧ. Остальные каскады — аperiodические. В приемниках с регулируемой полосой пропускания обычно применяются двухконтурные полосовые фильтры во всех каскадах.

В начале расчета задаются числом полосовых фильтров n и определяют неравномерность усиления в полосе пропускания одного фильтра

$$d_{\pi} = \sqrt[n]{d_{\Sigma\pi}},$$

где $d_{\Sigma\Pi}$ — неравномерность усиления всего УПЧ, включая фильтр преобразователя (см. выше). Величина $d_{\Sigma\Pi}$ должна быть выражена в относительных единицах (не в дБ).

В приемниках второго класса и более простых обычно используются два фильтра (один каскад УПЧ), в приемниках более высоких классов — три фильтра (два каскада УПЧ) и более.

Выбирается величина параметра связи η . Чаще всего с целью упрощения настройки контуров УПЧ выбирают $\eta = 1$. Если же необходимо получить максимальную избирательность при данном числе фильтров, то величина параметра связи определяется по формуле

$$\eta_{\text{опт}} = d_{\Pi} \left(1 + \sqrt{1 - \frac{1}{d_{\Pi}^2}} \right).$$

По графику (рис. VII.4) определяется обобщенная расстройка x_1 и подсчитывается необходимая эквивалентная добротность контуров

$$Q_3 = x_1 \frac{f_{\text{пр}}}{\Delta F},$$

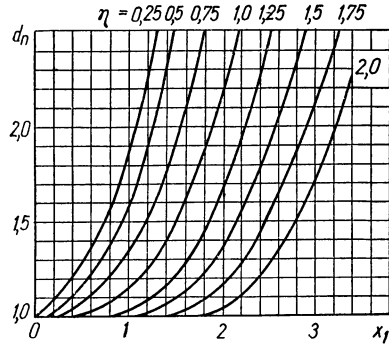


Рис. VII.4. Обобщенные кривые полосового фильтра для малых расстроек.

где $f_{\text{пр}}$ — промежуточная частота; ΔF — полоса пропускания УПЧ.

Рассчитывается обобщенная расстройка x_2 , соответствующая абсолютной расстройке Δf , которая задается вместе с избирательностью (табл. VII.1):

$$x_2 = Q_3 \frac{2\Delta f}{f_{\text{пр}}}.$$

Если задана усредненная крутизна ската резонансной характеристики (табл. VII.1), то можно считать, что избирательность должна быть равна 26 дБ при расстройке

$$\Delta f = \left(\frac{20}{S_{\text{ск}}} + \frac{\Delta F}{2} \right) \text{ кгц},$$

где $S_{\text{ск}}$ — крутизна ската резонансной характеристики, дБ/кгц; ΔF — полоса пропускания, кгц.

По величине x_2 из графиков (рис. VII.5) определяется избирательность для одного фильтра d_{Π} . Для всего усилителя избирательность, дБ, равна:

$$d_{\Sigma\Pi} = 20 \lg d_{\Pi}^n,$$

где n — число фильтров, включая фильтр преобразователя частоты.

Если величина ослабления получается недостаточной, то следует выбрать большее значение η (но не больше $\eta_{\text{опт}}$) или увеличить число фильтров и произвести расчет снова.

Расчет ФСИ производится по методике, приведенной в § 9 настоящей главы.

Определение необходимого числа каскадов. Напряжение на входе первого усилительного каскада при приеме на ферритовую антенну

$$U_{вх1} = 10h_d E p Q_3 \text{ мкв},$$

где h_d — действующая высота антенны, см; E — напряженность поля, равная чувствительности приемника, мв/м; p — коэффициент включения первого каскада к контуру входной цепи; Q_3 — эквивалентная добротность контура входной цепи, определенная выше.

Действующая высота антенны может быть принята равной 1 см, а коэффициент включения p выбран в пределах 0,05—0,15. Большие значения p выбираются при более широкой полосе пропускания и более высокой добротности антенны.

При приеме на внешнюю антенну напряжение на входе первого усилительного каскада

$$U_{вх1} = K_{вх} U_{ч} p,$$

где $K_{вх}$ — коэффициент передачи входной цепи; $U_{ч}$ — э. д. с. в антенне, равная чувствительности приемника, мкв.

Коэффициент передачи входной цепи может быть выбран в пределах 2—3 при $Q_3 = 20—40$; 3—5 при $Q_3 = 40—100$ и 5—7 при $Q_3 = 100—150$.

Необходимое усиление от входа первого усилительного каскада до входа детектора

$$K_{\Sigma} = \frac{U_{дет}}{U_{вх1}} k_{зап} \cdot 10^6,$$

где $k_{зап}$ — коэффициент запаса; $U_{дет}$ — напряжение на входе детектора.

Напряжение на входе диодного детектора АМ сигнала следует выбирать не менее 0,3—1 в, а на входе дробного детектора — не менее 0,03—0,05 в. Коэффициент запаса $k_{зап}$ выбирается в пределах 1,5—3, причем большие значения $k_{зап}$ выбираются для поддиапазона УКВ.

Максимальное устойчивое усиление избирательного транзисторного каскада с общим эмиттером без применения нейтрализации

$$K_{уст} = 200 \sqrt{\frac{S'_k}{f_{\max} C_{12э}}},$$

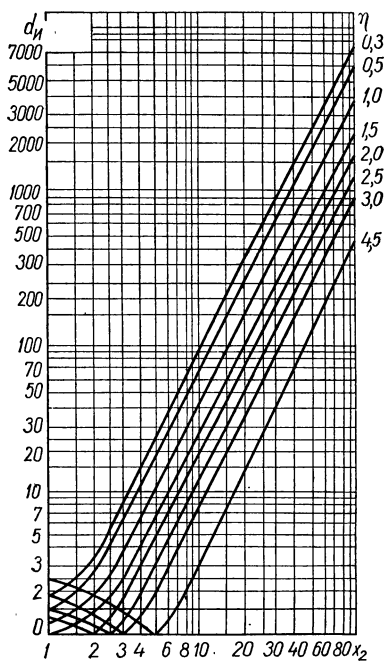


Рис. VII.5. Обобщенные кривые полосового фильтра.

где S'_k — крутизна транзистора на данной частоте, *ма/в*; $f_{\text{макс}}$ — максимальная частота сигнала, *кГц*; $C_{12э}$ — проходная емкость транзистора, *пф*.

Необходимый коэффициент шунтирования контура входным сопротивлением транзистора для получения заданной добротности $Q_э$

$$\psi = \frac{Q_э}{Q_k},$$

где Q_k — конструктивно выполнимая добротность контура.

Максимальный реально достижимый коэффициент усиления избирательного каскада на максимальной частоте диапазона при оптимальном согласовании и обеспечении расчетной эквивалентной добротности контуров

$$K_{\text{макс}} = 0,5S'_k(1 - \psi) \sqrt{R_{\text{вх}}R_{\text{вых}}},$$

где $R_{\text{вх}}$ и $R_{\text{вых}}$ — входное и выходное сопротивления транзистора на максимальной частоте диапазона, *ком*; S'_k — крутизна транзистора на максимальной частоте, *ма/в*.

Из двух величин $K_{\text{уст}}$ и $K_{\text{макс}}$ берется меньшая, которая принимается за коэффициент усиления одного каскада (без применения нейтрализации).

Коэффициент усиления преобразователя частоты с нагрузкой как в каскаде УПЧ можно принять равным $0,25K_{\text{УПЧ}}$. Если же нагрузкой преобразователя частоты является ФСИ, то коэффициент усиления

$$K_{\text{пр}} = \frac{120S'_k K_{\text{ФСИ}}}{\sqrt{g_{\text{ФСИ}}g_{11э}}},$$

где S'_k — крутизна транзистора, *ма/в*; $g_{\text{ФСИ}}$ — проводимость ФСИ, *мксим*; $g_{11э}$ — активная составляющая входной проводимости транзистора следующего каскада, *мксим*; $K_{\text{ФСИ}}$ — коэффициент передачи ФСИ.

Величины $g_{\text{ФСИ}}$ и $K_{\text{ФСИ}}$ определяются при расчете ФСИ.

Необходимый коэффициент усиления УПЧ

$$K_{\text{УПЧ э}} = \frac{K_э}{K_{\text{УВЧ}}K_{\text{пр}}},$$

где $K_{\text{УВЧ}}$ — коэффициент усиления каскада УВЧ, рассчитанный по формулам, приведенным выше. Коэффициент усиления апериодического каскада УВЧ, работающего в диапазонах ДВ и СВ, можно принять равным 10, а апериодического каскада УПЧ — равным 20—30 (на частоте 465 *кГц*).

Для определения числа каскадов УНЧ подсчитывается общее усиление по мощности

$$K_{\text{Робщ}} = \frac{P_{\text{вых}}R_{\text{вх}}}{U_{\text{вх}}^2},$$

где $P_{\text{вых}}$ — максимальная выходная мощность; $U_{\text{вх}}$ — напряжение на входе УНЧ, равное его чувствительности; $R_{\text{вх}}$ — входное сопротивление УНЧ.

Коэффициент усиления по мощности выходного каскада в зависимости от типа транзисторов обычно лежит в пределах 30—100, а остальных каскадов — в пределах 30—300.

Если в УНЧ предполагается регулировка тембра с подъемом частотной характеристики, то необходимо ввести дополнительный каскад усиления, а при глубокой отрицательной обратной связи — еще один дополнительный каскад усиления.

§ 4. Входные цепи

Входная цепь радиоприемника, работающего с внешней (открытой) антенной, состоит из элементов связи с антенной, избирательной системы и элементов связи с первым транзистором. Внутренняя (ферритовая) антенна является одновременно индуктивностью колебательного контура входной цепи.

Входная цепь должна обеспечивать возможно большую избирательность при допустимой неравномерности усиления в полосе пропускания

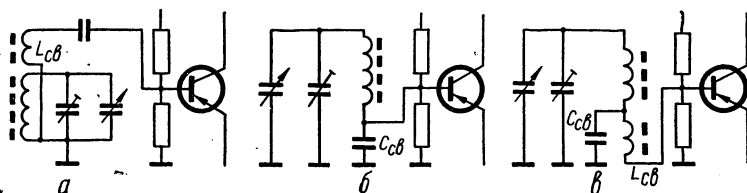


Рис. VII. 6. Схемы входных цепей с ферритовой антенной.

и максимальный коэффициент передачи напряжения*. При этом изменение коэффициента передачи напряжения в пределах рабочего диапазона частот должно быть возможно меньшим. В УКВ диапазоне входная цепь должна обеспечивать согласование фидерной линии со входом первого усилительного каскада с целью повышения отношения сигнал/шум.

Схемы одноконтурных входных цепей с ферритовой антенной приведены на рис. VII. 6. Трансформаторная связь с транзистором (рис. VII. 6, а) позволяет получить наибольший коэффициент перекрытия диапазона при данном конденсаторе, переменного емкости. Недостаток этой схемы — снижение добротности контура с повышением частоты настройки, что приводит к дополнительному уменьшению избирательности на более высоких частотах. Коэффициент передачи напряжения при трансформаторной связи с транзистором увеличивается с повышением частоты настройки.

При внутренней емкостной связи с транзистором (рис. VII. 6, б) эквивалентная добротность контура возрастает при повышении частоты настройки, а коэффициент передачи напряжения входной цепи изменяется примерно обратно пропорционально частоте. Схема с комбинированной трансформаторной и внутренней емкостной связью (рис. VII. 6, в) отличается слабой зависимостью коэффициента передачи напряжения от частоты настройки.

* Коэффициент передачи напряжения — отношение напряжения на выходе входной цепи к э. д. с. во внешней антенне или к напряженности поля (для магнитной антенны).

На рис. VII. 7 приведены схемы одноконтурных входных цепей, которые применяются при штыревой антенне. Схема с непосредственным включением антенны (рис. VII. 7, а) является наиболее простой. Ее недостаток — значительное затухание, вносимое антенной в контур. Схема с непосредственным включением антенны применяется в автомобильных и переносных приемниках невысокого качества на диапазонах ДВ, СВ и КВ. Для уменьшения вносимого в контур затухания можно применить схему с автотрансформаторным включением антенны (рис. VII. 7, б), с внешней емкостной связью (рис. VII. 7, в) или с трансформаторной связью (рис. VII. 7, г). При внешней емкостной связи

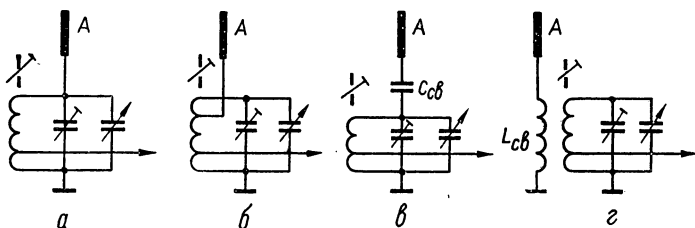


Рис. VII. 7. Схемы входных цепей со штыревой антенной.

упрощается катушка индуктивности, однако появляется сильная зависимость коэффициента передачи от частоты настройки. Поэтому эта схема применяется главным образом на растянутых КВ диапазонах и в простых приемниках для подключения внешней антенны. Если при внешней емкостной связи с антенной применить внутреннюю емкостную связь с транзистором, то коэффициент передачи напряжения почти не будет зависеть от частоты настройки. Трансформаторная связь с антенной позволяет получить более высокие качественные показатели

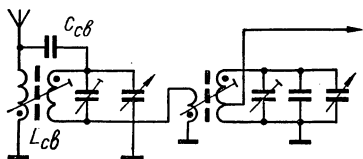


Рис. VII. 8. Схема двухконтурной входной цепи при трансформаторной связи с антенной.

входной цепи и применяется в высококачественных приемниках.

Двухконтурные входные цепи отличаются гораздо лучшей формой частотной характеристики по сравнению с одноконтурными и применяются в высококачественных приемниках. На рис. VII. 8 приведена схема входной цепи радиоприемника «Рига-103», используемой при приеме на ДВ и СВ, с встроенной штыревой и внешней антенной. В этой

схеме связь с антенной — комбинированная (трансформаторная и внешняя емкостная), между контурами полосового фильтра — трансформаторная, с транзистором — автотрансформаторная.

Расчет одноконтурной входной цепи с ферритовой антенной и трансформаторной связью с транзистором начинают с расчета контура. Коэффициент перекрытия диапазона

$$k_d = \frac{f_{\text{макс}}}{f_{\text{мин}}},$$

где $f_{\text{макс}}$ и $f_{\text{мин}}$ — максимальная и минимальная частота диапазона, Мгц.

Индуктивность контура

$$L = \frac{2,53 \cdot 10^4 (k_D^2 - 1)}{(C_{\max} - C_{\min}) f_{\max}^2} \text{ мкГн},$$

где C_{\max} и C_{\min} — максимальная и минимальная емкость конденсатора настройки, *пф*.

Дополнительная емкость в контуре

$$C_{\text{доп}} = \frac{C_{\max} - k_D^2 C_{\min}}{k_D^2 - 1}.$$

Добротность нагруженного контура (эквивалентная добротность) определяется в соответствии с рекомендациями, приведенными на стр. 245. Добротность ненагруженного контура (конструктивная) должна быть выше добротности нагруженного контура и обычно выбирается в пределах 40—160. Чем выше добротность ненагруженного контура, тем больше коэффициент передачи напряжения входной цепи.

Коэффициент включения антенного контура в цепь базы транзистора, обеспечивающий получение необходимой эквивалентной добротности контура, может быть вычислен по формуле

$$p = 400 \sqrt{\frac{1}{f_{\min} L g_{11\Omega} Q_K (Q_3 - 1)}},$$

где f_{\min} — минимальная частота поддиапазона, *МГц*; L — индуктивность контура, *мкГн*; $g_{11\Omega}$ — активная составляющая входной проводимости транзистора на минимальной частоте поддиапазона, *мксим*; Q_3 — эквивалентная добротность контура.

Индуктивность катушки связи

$$L_{\text{св}} = pL.$$

Средняя величина емкости подстроечного конденсатора

$$C_{\text{п}} = C_{\text{доп}} - C_{\text{м}} - C_{\text{А}} - p^2 C'_{11\Omega},$$

где $C_{\text{м}}$ — емкость монтажа; $C_{\text{А}}$ — собственная емкость ферритовой антенны; $C'_{11\Omega}$ — входная емкость транзистора на минимальной частоте поддиапазона.

В диапазонах ДВ и СВ собственная емкость ферритовой антенны составляет 2—5 *пф*. Емкость монтажа зависит от схемы коммутации поддиапазонов, типа переключателя и вида монтажа (печатный и навесной). Для двухподдиапазонного приемника, выполненного на печатной плате, емкость монтажа обычно не превышает 5 *пф*.

Если при определении $C_{\text{п}}$ получается отрицательная величина, то необходимо выбрать переменный конденсатор с большей емкостью или уменьшить коэффициент включения p , понизив добротность контура Q_K , и произвести расчет сначала.

Коэффициент передачи напряжения входной цепи на минимальной частоте поддиапазона

$$K_{\text{вх. мин}} = h_D p Q_3,$$

где h_D — действующая высота антенны на минимальной частоте, *м*.

Коэффициент передачи напряжения на максимальной частоте

$$K_{\text{вх. макс}} = \frac{h_d Q_k \rho}{1 + 2\pi f_{\text{макс}} L G_{113} Q_k \rho^2}.$$

Напряжение сигнала на выходе входной цепи, *мв*

$$U_{\text{вых}} = K_{\text{вх}} E,$$

где *E* — напряженность поля сигнала, *мв/м*.

§ 5. Растянутые поддиапазоны

На растянутых поддиапазонах обеспечивается плавная настройка на принимаемый сигнал, облегчается сопряжение настройки гетеродина и контуров высокой частоты, отсутствует зеркальная настройка (зеркальная помеха не устраняется), а конденсаторы настройки могут быть непрямочастотными. Недостатком растянутых поддиапазонов является усложнение контуров высокой частоты и гетеродина, необходимость повышения стабильности частоты гетеродина и трудность обеспечения точной градуировки шкал поддиапазонов в единицах частоты.

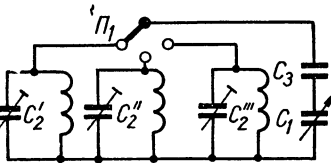


Рис. VII. 9. Схема контуров для растянутых поддиапазонов.

Для растяжки поддиапазона необходимо уменьшить коэффициент перекрытия по частоте, что достигается включением последовательно с конденсатором настройки и параллельно с ним или с катушкой индуктивности дополнительных конденсаторов. Наиболее часто применяемая схема контуров для растянутых поддиапазонов приведена на рис. VII. 9. Эта схема дает возможность растянуть каждый заданный поддиапазон на всю шкалу.

Расчет контуров по схеме рис. VII. 9 производится в следующем порядке.

1. Принимают величину минимальной емкости контура $C_{\text{мин}} = 40-50 \text{ пф}$ и определяют индуктивность катушки наиболее высокочастотного поддиапазона

$$L = \frac{25330}{f_{\text{макс}}^2 C_{\text{мин}}} \text{ мкгн},$$

где $f_{\text{макс}}$ — максимальная частота поддиапазона, *Мгц*.

2. Находят максимальную емкость контура для того же поддиапазона

$$C_{\text{макс}} = \frac{25330}{f_{\text{мин}}^2 L} \text{ пф},$$

где $f_{\text{мин}}$ — минимальная частота поддиапазона, *Мгц*; *L* — индуктивность, *мкгн*.

3. Разность емкостей $\Delta C = C_{\text{макс}} - C_{\text{мин}}$ сохраняют постоянной для всех поддиапазонов; переключают только катушки и подстроеч-

ные конденсаторы, определяющие минимальную емкость контура.

4. Индуктивности катушек последующих поддиапазонов находят по формуле

$$L = \frac{25330}{\Delta C} \left(\frac{1}{f_{\text{мин}}^2} - \frac{1}{f_{\text{макс}}^2} \right) \text{ мкГн},$$

где $f_{\text{мин}}$ и $f_{\text{макс}}$ — минимальная и максимальная частоты соответствующего поддиапазона, МГц ; ΔC — разность емкостей, пФ .

5. Определяют емкость конденсатора

$$C_3 = \frac{\Delta C (C + 2C_0) + \sqrt{[\Delta C (C + 2C_0)]^2 + 4(C - \Delta C)(C + C_0)C_0\Delta C}}{2(C - \Delta C)},$$

где C_0 — минимальная емкость переменного конденсатора; C — разность между максимальной и минимальной емкостью переменного конденсатора.

6. Определяют максимальную емкость подстроечных конденсаторов

$$C_2 = C_{\text{мин}} - \frac{C_0 C_3}{C_0 + C_3}.$$

Пример. Поддиапазоны: 1) 11,5—12 МГц ; 2) 15,0—15,4 МГц ;
3) 17,6—18,0 МГц ; $C_1 = 11 \div 490 \text{ пФ}$.

Принимаем $C_{\text{мин}} = 50 \text{ пФ}$ и находим индуктивность контура для третьего поддиапазона:

$$L_3 = \frac{25330}{18^2 \cdot 50} = 1,56 \text{ мкГн}; \quad C_{\text{макс}} = \frac{25330}{1,76^2 \cdot 1,56} = 52,5 \text{ пФ};$$

$$\Delta C = 52,5 - 50 = 2,5 \text{ пФ}.$$

Индуктивность контуров для второго и первого поддиапазонов:

$$L_2 = \frac{25330}{2,5} \left(\frac{1}{15,0^2} - \frac{1}{15,4^2} \right) = 2,2 \text{ мкГн};$$

$$L_1 = \frac{25330}{2,5} \left(\frac{1}{11,5^2} - \frac{1}{12,0^2} \right) = 6,4 \text{ мкГн};$$

$$C_3 = \frac{2,5(479 + 2 \cdot 11) + \sqrt{[2,5(479 + 2 \cdot 11)]^2 + 4(479 - 2,5) \times (479 + 11) \cdot 11 \cdot 2,5}}{2(479 - 2,5)} =$$

$$= 5,3 \text{ пФ};$$

$$C_2 = 50 - \frac{11 \cdot 5,3}{11 + 5,3} = 46,4 \text{ пФ}.$$

Выбираем конденсаторы типа КПК-2 емкостью 6—60 пФ .

§ 6. Усилители высокой частоты

Апериодические УВЧ не повышают избирательности приемника, но способствуют увеличению отношения сигнал/шум и чувствительности приемника. Применяются в высококачественных приемниках на поддиапазонах ДВ и СВ в тех случаях, когда входная цепь выполнена по схеме с двухконтурным полосовым фильтром.

Практическая схема аperiodического УВЧ для диапазонов ДВ и СВ приведена на рис. VII. 10, а. Коэффициент усиления такого каскада порядка 10 (при нагрузке входным сопротивлением преобразователя частоты).

Резонансные УВЧ обеспечивают усиление сигнала, способствуя повышению реальной чувствительности приемника, и избирательность. В супергетеродинных приемниках наиболее существенной является избирательность в отношении зеркального канала.

Резонансные УВЧ на транзисторах собираются по схеме с общим эмиттером (рис. VII. 10, б) в диапазонах ДВ, СВ и КВ и по схеме с общей базой в диапазонах УКВ.

Режим транзисторов в УВЧ выбирается так, чтобы ток коллектора был около 1 ма. При установке режима подбирают сопротивление одного из резисторов базового делителя напряжения.

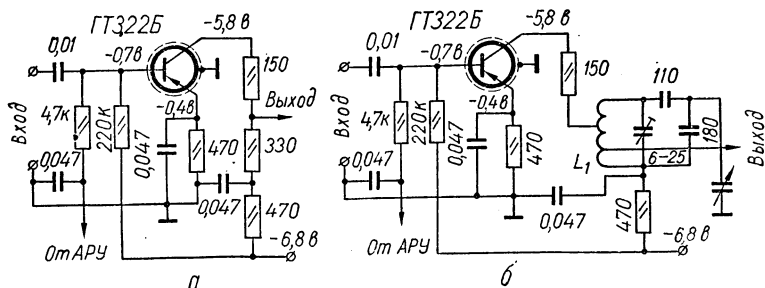


Рис. VII. 10. Схемы усилителей высокой частоты.

Характер зависимости резонансного коэффициента усиления УВЧ от частоты настройки определяется видом связи контура с транзисторами. При трансформаторной или автотрансформаторной связи с обоими транзисторами (рис. VII. 10, б) коэффициент усиления примерно пропорционален частоте настройки. При трансформаторной связи с одним транзистором и комбинированной (трансформаторной и внутренней емкостной) связи с другим коэффициент усиления почти не зависит от частоты, если правильно выбрать коэффициенты связи.

§ 7. Преобразователи частоты

Преобразователь частоты состоит из смесителя и гетеродина. Смеситель и гетеродин могут быть собраны на одном транзисторе (гетеродинный преобразователь) или отдельных транзисторах.

К смесительной части преобразователя частоты предъявляются следующие основные требования: 1) минимальный уровень вносимых шумов (особенно при отсутствии УВЧ); 2) возможно больший коэффициент усиления при наименьшей зависимости от частоты настройки приемника; 3) избирательная система в коллекторной цепи преобразователя вместе с УПЧ должна формировать требуемую резонансную характеристику; 4) преобразователь должен создавать возможно меньшее количество дополнительных каналов приема; 5) параметры преобразователя не должны существенно меняться при изменениях параметров элементов каскада, напряжения питания и внешних воздействий.

Схемы смесителей. На ДВ, СВ и КВ транзистор смесителя включают по схеме с общим эмиттером. При этом входная проводимость каскада оказывается меньше, а усиление предыдущего каскада — больше. Напряжение гетеродина может подаваться в цепь базы или эмиттера. В первом случае требуется меньшая мощность гетеродина и повышается крутизна преобразования. Однако устойчивость работы смесителя ниже, вследствие обратной связи по промежуточной частоте. Поэтому в основном применяется схема с подачей напряжения гетеродина в цепь эмиттера (рис. VII. 11). Напряжение сигнала U_c подается в цепь базы.

Режим смесителя выбирается так, чтобы рабочая точка транзистора находилась в области наиболее нелинейного участка входной характеристики. При этом ток эмиттера обычно составляет доли миллиампера. Амплитуда напряжения гетеродина подбирается экспериментально и составляет величину порядка 1 в.

Смесители с динамической нагрузкой отличаются большим коэффициентом преобразования, малым уровнем вносимых шумов и низким выходным сопротивлением. Коэффициент преобразования смесителей с динамической нагрузкой при повышении частоты возрастает, что выгодно при использовании ферритовых антенн. На рис. VII. 12 приведена схема смесителя, в котором функции динамической нагрузки выполняет транзистор T_2 . Напряжение сигнала подается в цепь базы транзистора T_1 от ферритовой антенны МА, а напряжение гетеродина — в цепь эмиттера. Напряжение смещения на базе транзистора

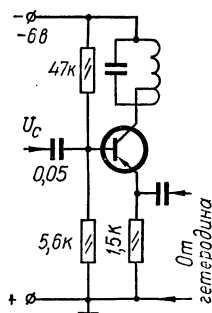


Рис. VII. 11. Схема смесителя со статической нагрузкой.

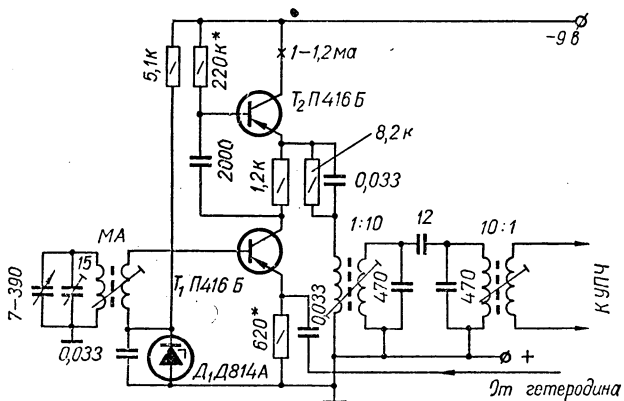


Рис. VII. 12. Схема смесителя с динамической нагрузкой.

T_1 стабилизировано с помощью стабилитрона D_1 . На выходе смесителя включен полосовой фильтр промежуточной частоты.

Схемы гетеродинных преобразователей частоты. Преобразователи с совмещенным гетеродином (гетеродинные преобразователи) позволяют уменьшить размеры приемников и поэтому широко применяются

в простых переносных и карманных приемниках, работающих в диапазонах ДВ и СВ. Однако эти преобразователи требуют тщательного подбора режима транзистора, поэтому они сложнее в наладке. Кроме того, в гетеродинных преобразователях транзисторы не могут работать на частотах, близких к граничной.

В гетеродинных преобразователях частоты напряжение сигнала обычно подается в цепь базы, а напряжение гетеродина — или в цепь

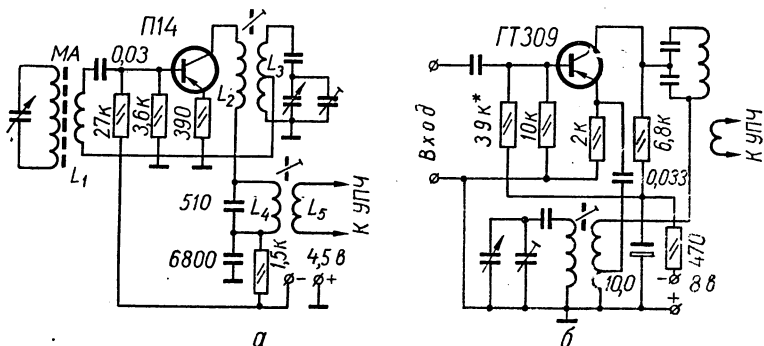


Рис. VII.13. Схемы гетеродинных преобразователей частоты на одном транзисторе.

базы (рис. VII. 13, а), или в цепь эмиттера (рис. VII. 13, б). В обеих схемах контур промежуточной частоты включен последовательно с катушкой связи гетеродина L_2 в цепь коллектора. На работу гетеродина

это не оказывает заметного влияния. Однако напряжение гетеродина взаимодействует с гармониками промежуточной частоты, которые присутствуют в цепи коллектора. В результате этого на выходе приемника может прослушиваться свист.

Каскодные схемы преобразователей частоты позволяют получить большее усиление, так как в них исключена паразитная обратная связь между входным контуром и контуром промежуточной частоты. В реальных схемах коэффициент преобразования по напряжению можно довести до 80—100, в то время как в обычных схемах преобразователей он

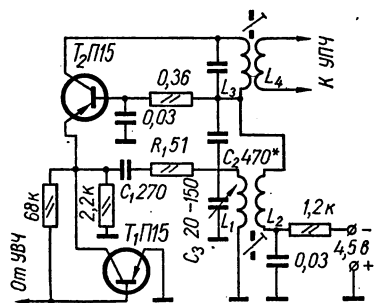


Рис. VII.14. Схема каскодного гетеродинного преобразователя частоты.

равен 20—30. Кроме того, упрощается схема коммутации в приемниках с несколькими поддиапазонами.

Схема каскодного гетеродинного преобразователя частоты приведена на рис. VII. 14. Контур гетеродина в этой схеме образован катушкой индуктивности L_2 и конденсаторами C_2 и C_3 . Первый транзистор T_1 предназначен для дополнительного усиления сигнала, поступающего от УВЧ или от входной цепи. Фазирующая цепь R_1C_1 обеспечивает

работу гетеродина на частотах, превышающих граничную частоту транзистора. Так как выходное сопротивление транзистора T_2 большое, контур промежуточной частоты включен непосредственно в цепь коллектора.

На рис. VII. 15 приведена схема гетеродинного преобразователя частоты с динамической нагрузкой. Транзистор T_1 выполняет функции гетеродина и смесителя, а транзистор T_2 — функции динамической нагрузки. Напряжение на базе транзистора T_1 стабилизировано с помощью стабилитрона D_1 . Для повышения стабильности частоты гетеродина целесообразно стабилизировать также напряжение питания цепи коллектора.

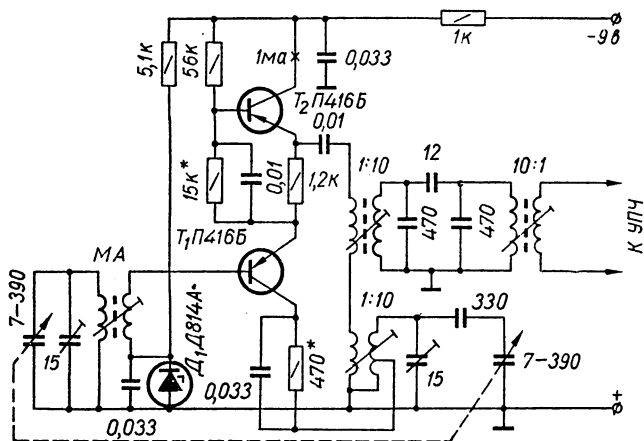


Рис. VII. 15. Схема гетеродинного преобразователя частоты с динамической нагрузкой.

Преобразователь частоты, собранный по схеме (рис. VII. 15), хорошо работает в диапазоне ДВ и СВ. Коэффициент преобразования составляет 40—50 дБ. Шумовые характеристики на 5—10 дБ лучше, чем в обычном преобразователе совмещенного типа.

§ 8. Гетеродины

Гетеродин, применяемый в преобразователе частоты супергетеродинного приемника, должен генерировать в заданном диапазоне частот колебания достаточно стабильной частоты с примерно постоянной амплитудой, необходимой для работы смесителя. При этом не должно быть паразитной генерации. В преобразователе с совмещенным гетеродинным режим гетеродинной части должен быть выбран таким, чтобы обеспечивалась одновременно хорошая работа транзистора в смесительной части. Гетеродины ЧМ приемников не должны иметь паразитной частотной модуляции.

Схемы гетеродинов. В диапазонах ДВ, СВ и КВ гетеродины чаще всего выполняются по схеме с автотрансформаторной обратной связью (индуктивная трехточка) или с трансформаторной обратной связью. На рис. VII. 16, а приведена практическая схема гетеродина с емкостной

настройкой, а на рис. VII. 16, б — с индуктивной настройкой. Последняя схема используется в приемнике «Урал-авто» на растянутых поддиапазонах КВ. Как видно из схемы, ферровариометр настройки L_2 с относительно большой индуктивностью подключен параллельно катушке L_1 с малой индуктивностью. Этим достигается малый коэффициент перекрытия поддиапазона, что необходимо для растяжки.

В автомобильных приемниках, настраиваемых ферровариометрами, на поддиапазонах ДВ и СВ удобнее применять схему гетеродина с емкостной трехточкой (рис. VII. 17). В этой схеме, используемой в прием-

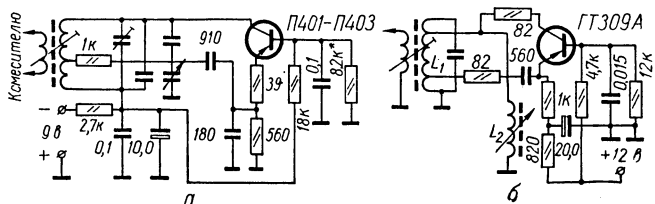


Рис. VII. 16. Схемы гетеродинов с автотрансформаторной обратной связью.

нике «Урал-авто», ферровариометр L_1 служит для настройки приемника на принимаемый сигнал, а катушка L_2 — для сопряжения контуров (см. ниже) в процессе наладки приемника.

Схема гетеродина для УКВ диапазона приведена на рис. VII. 18. Настройка контура производится ферровариометром L_1 . Для автоматической подстройки частоты АПЧ гетеродина к контуру через конденсаторы подключен вариак D_1 (типа Д902). Начальная рабочая точка вариака устанавливается диодом D_2 (типа 7ГЕ2АС). Напряжение авто-

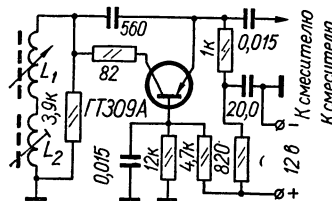


Рис. VII. 17. Схема гетеродина с емкостной трехточкой.

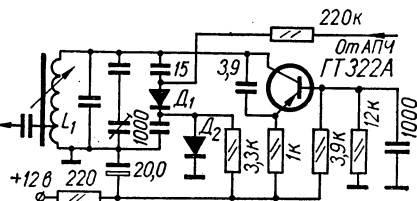


Рис. VII. 18. Схема гетеродина УКВ с емкостной трехточкой и автоматической подстройкой частоты.

матической подстройки частоты подается с выхода дробного детектора через RC фильтр нижних частот, который на схеме не показан.

Повышение стабильности частоты гетеродина. На частоту колебаний гетеродина влияют изменения величин питающего напряжения, температуры и влажности окружающей среды, а также механические воздействия.

Для уменьшения влияния питающих напряжений следует повышать добротность контура и подбирать коэффициент обратной связи. Степень влияния питающих напряжений зависит также от схемы гетеродина,

режима транзистора и степени связи контура с транзистором. Для повышения стабильности частоты гетеродина иногда применяют стабилизацию питающего напряжения.

Для уменьшения влияния изменений температуры гетеродина должен быть расположен возможно дальше от нагревающихся в процессе работы элементов приемника. Температурный коэффициент диэлектриков всех деталей гетеродина должен быть возможно меньшим. Следует широко использовать керамику, полистирол и избегать применения при монтаже различных изоляционных прокладок, стоек, изоляции на проводах и т. п. Монтаж следует выполнять короткими проводниками без изоляции. Влияние температуры можно уменьшить, подключая в контур гетеродина конденсаторы с отрицательным ТКЕ (гл. II, § 1).

Для уменьшения влияния влажности следует применять влагостойкие материалы (керамика, полистирол и др.).

Для уменьшения паразитной частотной модуляции в гетеродинах ЧМ приемников необходимо защищать гетеродин от механических воздействий, акустических колебаний, пульсаций питающих напряжений и других факторов, могущих вызвать частотную модуляцию.

Сопряжение контуров гетеродина и преселектора (входной цепи и УВЧ). Контур преселектора и гетеродина в супергетеродинном приемнике настраиваются одной ручкой. При любом положении элемента настройки частота гетеродина должна отличаться от частоты настройки контуров преселектора на величину, равную промежуточной частоте приемника. Для этого в контур гетеродина включаются дополнительные элементы, уменьшающие коэффициент перекрытия поддиапазона и обеспечивающие получение необходимого закона изменения частоты от положения элемента настройки приемника. Усложнение контура гетеродина дает возможность использовать для настройки контуров гетеродина и преселектора одинаковые элементы настройки (конденсаторы переменной емкости или вариометры).

Включение конденсаторов сопряжения в контур гетеродина с паразитной емкостью конденсатором переменной емкости показано на рис. VII.18.

§ 9. Усилители промежуточной частоты

Основные требования, предъявляемые к усилителям промежуточной частоты (УПЧ), — обеспечение избирательности по соседнему каналу, формирование полосы пропускания, обуславливающей необходимую верность (точность) воспроизведения на выходе передаваемого сообщения, и основное усиление принимаемого сигнала до детектора.

Частотная избирательность УПЧ определяется крутизной ската резонансной кривой, а полоса пропускания — шириной этой кривой на заданном уровне. Избирательность усилителя иногда характеризуют коэффициентом прямоугловальности резонансной характеристики, который вычисляется по формуле

$$K_{\text{п}} = \frac{\Delta F_y}{\Delta F_{0,7}},$$

где ΔF_y — полоса пропускания на уровне y (например, на уровне 0,1 или 0,01); $\Delta F_{0,7}$ — полоса пропускания на уровне 0,7 максимума резонансной кривой.

Избирательность усилителя тем лучше, чем ближе к единице значение коэффициента прямоугловальности. Коэффициент прямоугловальности

идеального усилителя с прямоугольной (Π-образной) резонансной характеристикой равен единице. Для большего приближения к прямоугольной характеристике необходимо применять в усилителях большее число резонаторов, например LC-контуров.

В УПЧ транзисторы включаются обычно по схеме с общим эмиттером. В качестве нагрузки используются одиночные колебательные контуры, двухконтурные полосовые фильтры и фильтры сосредоточенной избирательности. Чтобы уменьшить шунтирование контуров выходными и входными проводимостями транзисторов, применяют неполное включение контуров. Степень связи транзистора с контуром выбирают чаще всего так, чтобы обеспечить необходимую полосу пропускания каскада. Конструктивная добротность контуров выбирается значительно большей, чем необходимая для получения заданной полосы пропускания. Это дает возможность увеличить связь контуров с транзисторами и, следовательно, коэффициент усиления каскада.

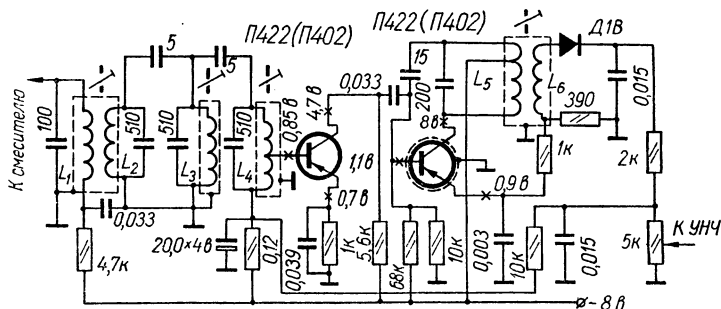


Рис. VII. 19. Схема УПЧ с ФСИ на колебательных контурах.

Каскады УПЧ с одиночными контурами используются главным образом в усилителях с ФСИ. В этом случае они имеют сравнительно широкую полосу пропускания, поэтому не требуется нейтрализации внутренней проводимости транзисторов даже при работе в области частот, близких к граничной. Не требуется также жесткая температурная стабилизация режима транзисторов. Если же в УПЧ используются полосовые фильтры, то необходимо выбирать более высокочастотные транзисторы или применять нейтрализацию, что усложняет наладку. Кроме того, необходима стабилизация режима транзисторов, иначе при замене транзисторов или изменении температуры изменятся их проводимости, что приведет к изменению коэффициента усиления и формы резонансной характеристики всего усилителя. Все это усложняет конструирование и особенно налаживание УПЧ. Поэтому в радилюбительской практике иногда увеличивают число каскадов УПЧ, снижая усиление в каждом из них. При этом усилитель работает более устойчиво. Устойчивость УПЧ повышается при использовании транзисторов с более высокой граничной частотой.

Схемы УПЧ. На рис. VII. 19 приведена схема УПЧ с ФСИ на входе. Первый каскад усилителя аperiodический с эмиттерной стабилизацией режима (гл. VI, § 2), второй — резонансный с нейтрализацией и стабилизацией режима. Полоса пропускания второго каскада равна примерно 50 кГц. Для АРУ используется постоянная составляющая тока детектора. Полоса пропускания ФСИ составляет 8 кГц, ослабление сигнала при расстройке на ± 10 кГц равно 25 дБ.

Индуктивности катушек L_2 , L_3 и L_4 равны 240 мкГн, добротность — 130. Катушка L_1 наматывается на один каркас с катушкой L_2 и должна содержать число витков, равное 20% числа витков L_2 . Индуктивность катушки L_5 равна 690 мкГн, добротность — 80. Катушка L_6 наматывается на один каркас с L_5 , ее индуктивность — 400 мкГн. Все катушки могут быть выполнены на броневого сердечниках из феррита марки 60НН.

На рис. VII. 20 приведена схема смесителя, УПЧ, в котором в качестве ФСИ используется пьезокерамический фильтр (ПКФ) типа

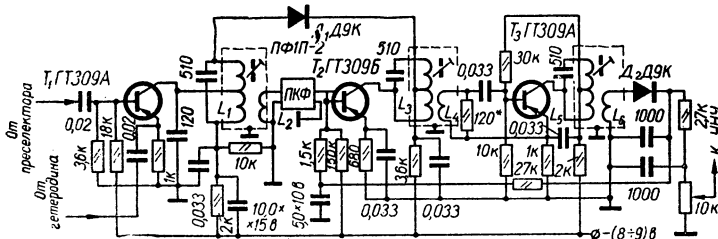


Рис. VII. 20. Схема УПЧ с пьезокерамическим ФСИ.

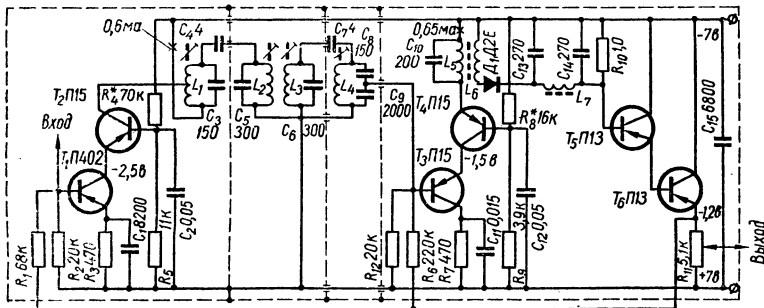


Рис. VII. 21. Схема каскодного УПЧ с ФСИ.

ПФП-2, и детектора. Детектор работает с положительным смещением и используется также в системе АРУ (см. § 12 этой главы). Система АРУ с шунтирующим диодом D_1 .

Индуктивность катушек L_1 , L_3 и L_5 должна быть равна 240 мкГн, отвод от среднего витка. Число витков катушек L_2 и L_4 должно составлять примерно 10% числа витков катушек L_1 , L_3 , а катушки L_6 — 50% числа витков катушек L_1 , L_3 , L_5 .

Каскодные схемы позволяют выполнить УПЧ с высокой устойчивостью на транзисторах с меньшей граничной частотой. На рис. VII. 21 приведена схема каскодного УПЧ с ФСИ, детектора и эмиттерного повторителя. Эмиттерный повторитель позволяет легко согласовать выход детектора со входом УНЧ при большом сопротивлении нагрузки детектора. Напряжение АРУ снимается с нагрузки эмиттерного повторителя, который является одновременно и усилителем системы АРУ.

Нагрузкой второго каскада является контур с очень низкой добротностью.

Полоса пропускания УПЧ, собранного по схеме рис. VII. 21, при слабом сигнале составляет около 7 кГц, при сильном — 10—12 кГц. Избирательность (при расстройке на ± 10 кГц) — около 40 дБ. При напругии ПЧ (465 кГц) на входе, равном 5 мВ, напряжение частоты модуляции на резисторе R_{11} составляет 0,15 В (при коэффициенте модуляции 30%). Система АРУ поддерживает напряжение на выходе в пределах 6 дБ при изменении напряжения входного сигнала на 60 дБ.

Катушки ФСИ намотаны на трехсекционных каркасах диаметром 5 мм из полистирола. Ширина каждой секции составляет 1,5 мм, толщина перегородок — 1 мм. Катушки L_1 и L_4 содержат по 3×96 витков, а катушки L_2 и L_3 — по 3×68 витков провода ЛЭ 4 \times 0,07. В катушке L_1 имеется отвод от середины. Для настройки ФСИ в катушках имеются сердечники из феррита марки 600НН диаметром 2,8 мм и длиной 12 мм.

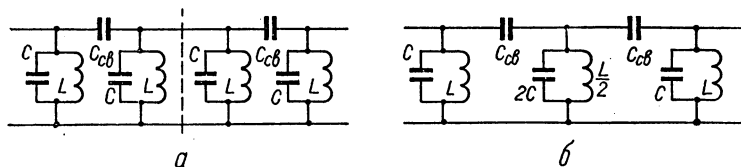


Рис. VII. 22. Схема построения ФСИ:

а — отдельные звенья; б — двухзвенный фильтр.

Катушки L_5 , L_6 и L_7 наматываются на кольца из феррита марки 600НН. Внешний диаметр колец — 10 мм, внутренний — 5 мм. Катушка L_5 содержит 75 витков, катушка L_6 — 160 витков провода марки ПЭЛШО 0,1, а катушка L_7 — 700 витков провода марки ПЭЛ 0,07.

Фильтр сосредоточенной избирательности (ФСИ) — это единая конструкция, состоящая из цепочки колебательных контуров. Число контуров в зависимости от заданных избирательности и полосы пропускания обычно составляет от трех до шести, а иногда и больше. ФСИ включается на входе УПЧ (в цепи коллектора смесительного транзистора) и обеспечивает практически всю избирательность приемника по соседнему каналу. При этом УПЧ предназначается только для усиления сигнала промежуточной частоты. Его выполняют как апериодическим, так и избирательным. В последнем случае полоса пропускания выбирается значительно шире, чем у ФСИ.

Для построения ФСИ для УПЧ в настоящее время используются главным образом П-образные LC-звенья (рис. VII. 22), которые соединяются цепочкой. Полоса пропускания каждого звена должна быть равна полосе пропускания, заданной для всего фильтра. Выходное сопротивление предыдущего звена должно быть равно входному сопротивлению последующего. Практически это выполняется лишь на двух частотах полосы пропускания. Рассогласование на остальных частотах приводит к появлению на вершине частотной характеристики впадин, но вместе с тем улучшает прямоугольность характеристики. При составлении схемы ФСИ колебательные контуры стыкуемых звеньев соединяются параллельно. При этом число контуров уменьшается. N -звенный ФСИ содержит $N + 1$ контуров, причем все средние контуры отличаются от крайних в два раза меньшей индуктивностью и в два раза большей емкостью.

Для хорошей работы ФСИ добротность контуров должна быть достаточно высокой (в радиовещательных приемниках не менее 200). При низкой добротности уменьшается избирательность фильтра и возрастает затухание в полосе пропускания.

Расчет ФСИ. Ниже приводится методика расчета ФСИ, основанная на предположении, что частотная характеристика фильтра симметрична и выполняется согласование характеристического сопротивления фильтра и сопротивления нагрузки. В действительности частотная характеристика ФСИ несколько асимметрична, что вызывает появление погрешности при расчете (порядка 10%). Согласование указанных сопротивлений улучшает частотную характеристику ФСИ в полосе пропускания и обеспечивает более эффективную передачу энергии сигнала.

Ориентировочный расчет ФСИ производится в следующем порядке.

1. Задаются величиной конструктивно выполнимой добротности контуров из условия

$$Q_k > 3 \frac{f_{\text{пр}}}{\Delta F},$$

где $f_{\text{пр}}$ — промежуточная частота; ΔF — полоса пропускания.

2. Определяют расчетную добротность фильтра

$$Q_p = \frac{f_{\text{пр}}}{(1,1 \div 1,2) \Delta F}.$$

3. Определяют относительную расчетную расстройку

$$\beta = \frac{\Delta f}{(1,1 \div 1,2) \Delta F},$$

где Δf — абсолютная расстройка, которая задается вместе с избирательностью.

4. Вычисляют отношение $\alpha = Q_p/Q_k$ и по графику на рис. VII. 23 находят ослабление сигнала при расстройке Δf , обеспечиваемое одним звеном фильтра.

5. Определяют необходимое число звеньев фильтра

$$N = \frac{d_{\Sigma n}}{d_n},$$

где $d_{\Sigma n}$ и d_n — ослабление сигнала ФСИ и одним звеном соответственно.

6. По графику на рис. VII. 23 находят коэффициент передачи фильтра на средней частоте полосы пропускания K'_0 .

7. Задаются характеристической проводимостью ФСИ $g_{\text{ФСИ}}$ в пределах 5—20 мксим и определяют емкости и индуктивности контуров по формулам:

$$C \approx 150 \frac{g_{\text{ФСИ}}}{\Delta F} \text{ пф}; \quad C_{\text{св}} \approx \frac{\Delta F}{f_{\text{пр}}} C \text{ пф}; \quad L \approx \frac{2,5 \cdot 10^{10}}{f_{\text{пр}}^2 C} \text{ мкГн},$$

где $g_{\text{ФСИ}}$ — мксим; ΔF — кГц; $f_{\text{пр}}$ — кГц.

Коэффициенты включения ФСИ со стороны входа и выхода определяются по формулам:

$$r_{\text{вх}} = \sqrt{\frac{g_{\text{ФСИ}}}{g_{\text{вых}}}}; r_{\text{вых}} = \sqrt{\frac{g_{\text{ФСИ}}}{g_{\text{вх}}}},$$

где $g_{\text{вых}}$ — выходная проводимость смесителя, $g_{\text{вх}}$ — входная проводимость последующего каскада.

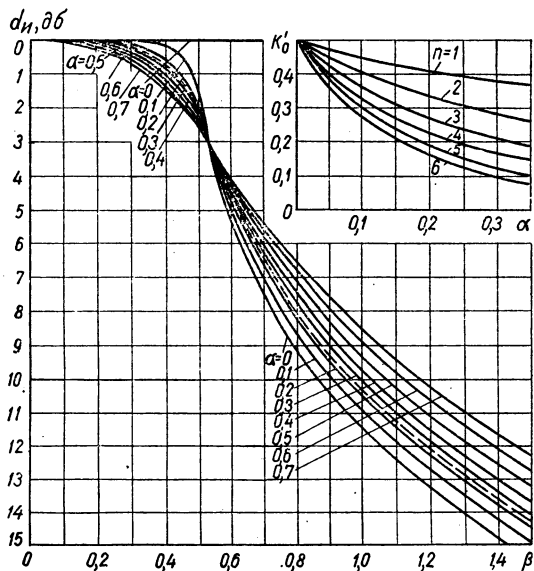


Рис. VII. 23. Графики для расчета ФСИ.

Если $g_{\text{вых}} < g_{\text{ФСИ}}$, то параллельно входу ФСИ необходимо включить шунтирующий резистор, сопротивление которого можно определить по формуле

$$R_{\text{ш}} = \frac{1}{g_{\text{ФСИ}} - g_{\text{вых}}}.$$

Целесообразно выбирать $g_{\text{ФСИ}} = g_{\text{вых}}$, так как в этом случае ФСИ включается в выходную цепь смесителя непосредственно.

Настройка ФСИ может производиться как в устройстве, для которого он предназначен, так и отдельно. Лучше настраивать ФСИ в устройстве. Сигнал от генератора подается на вход каскада, содержащего ФСИ. Частота сигнала f_c должна быть определена по формуле

$$f_c = f_1 f_2 \sqrt{\frac{2}{f_1^2 + f_2^2}},$$

где f_1 и f_2 — крайние частоты полосы пропускания ФСИ.

Параллельно первому контуру через конденсатор с емкостью, не превышающей 2—3% емкости контура, подключается ламповый вольтметр переменного тока. Шунтирующие резисторы на входе и выходе ФСИ, если они имеются, на время настройки необходимо отключить.

Контуры ФСИ настраиваются последовательно, начиная с первого. Каждый нечетный контур настраивается по максимуму показания вольтметра, а четный — по минимуму. При этом контур, включенный за настраиваемым, должен быть замкнут.

После настройки ФСИ следует проверить его частотную характеристику, подключив вольтметр к выходу УПЧ. Система АРУ должна быть при этом выключена.

§ 10. Детектирование сигналов

Детектирование амплитудно-модулированных сигналов производится в современных приемниках, как правило, с помощью диодных детекторов. К диодному детектору предъявляются следующие основные требования: 1) максимальная передача напряжения; 2) минимальные искажения сигнала; 3) максимальное входное сопротивление; 4) минимальное напряжение высокой частоты на выходе.

Схема диодного детектора, применяемого в транзисторных вещательных приемниках, приведена на рис. VII. 24. Для получения линейного детектирования напряжение несущей на входе детектора должно

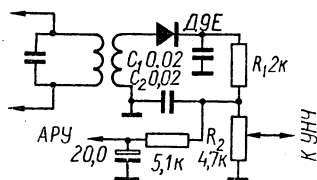


Рис. VII. 24. Схема диодного амплитудного детектора.

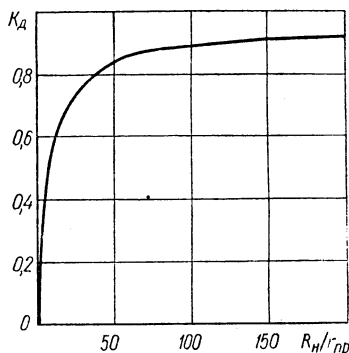


Рис. VII. 25. График зависимости коэффициента передачи напряжения детектора K_d от величины $R_n/r_{пр}$.

быть не менее 0,3—0,5 в (в зависимости от типа диода). В этом случае коэффициент передачи напряжения, представляющий собой отношение напряжения низкой частоты на выходе к произведению напряжения несущей на входе на коэффициент модуляции

$$K_d = \frac{U_{\Omega}}{U_{\omega} m},$$

можно определить по графику на рис. VII. 25 в зависимости от отношения сопротивления нагрузки $R_n = R_1 + R_2$ к прямому сопротивлению диода $r_{пр}$.

Входное сопротивление детектора можно определить по формуле

$$R_{вх} = \frac{R_n r_{обр}}{R_n + 2r_{обр}},$$

где R_n — сопротивление нагрузки; $r_{обр}$ — обратное сопротивление диода.

Емкость конденсатора C_1 должна быть достаточно большой, но не должна превышать величины

$$C_1 \approx \frac{1}{4F_B R_n},$$

где F_B — верхняя частота модуляции.

Емкость конденсатора C_2 обычно выбирается равной C_1 .

Так как детекторы транзисторных приемников работают обычно при малом сопротивлении нагрузок, то для повышения коэффициента

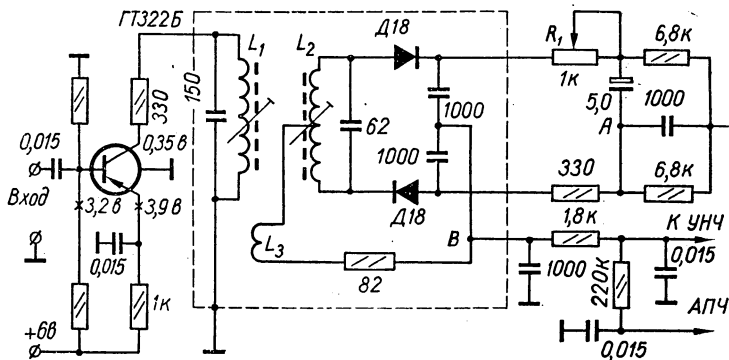


Рис. VII. 26. Схема детектора отношений.

передачи и снижения нелинейных искажений на диод иногда подают небольшое положительное смещение (см. рис. VII. 19 и VII. 20).

Детектирование частотно-модулированных сигналов производится с помощью частотных детекторов. К частотным детекторам предъявляются следующие основные требования: 1) изменение выходного напряжения во времени должно по возможности более точно повторять закон изменения частоты подводимого на вход сигнала; 2) коэффициент передачи напряжения должен быть возможно большим; 3) выходное напряжение должно оставаться по возможности постоянным при изменении амплитуды входного сигнала.

Наибольшее применение в приемниках получил детектор отношений. Один из вариантов схемы детектора отношений приведен на рис. VII. 26. По сравнению с другими частотными детекторами он обладает следующими преимуществами: 1) работает при более слабых входных сигналах; 2) подавляет паразитную амплитудную модуляцию при более слабых входных сигналах и в более широкой полосе частот.

Подавление паразитной амплитудной модуляции в детекторе отношений происходит вследствие изменения входного сопротивления детекторов на диодах Д18, что вызывает изменение добротности первич-

ного контура и приводит к стабилизации амплитуд напряжений, подаваемых на входы диодных детекторов. Нагрузка детекторов шунтируется конденсатором большой емкости, вследствие чего напряжение на нагрузке очень мало изменяется во времени. При изменении амплитуды входного сигнала увеличиваются углы отсечки токов диодов и, следовательно, уменьшается входное сопротивление детекторов.

Выбор элементов детектора отношений. Эквивалентные добротности контуров Q_3 выбираются в пределах 50—75 (на частотах более 6 МГц). При этом для хорошего подавления амплитудной модуляции и малых нелинейных искажений необходимо, чтобы конструктивная добротность Q_k была в 2—3 раза больше Q_3 .

Величины индуктивностей и емкостей контуров выбираются такими же, как в УПЧ. Индуктивность катушки L_3 выбирается в пределах $(0,25—0,5)L_1$, а добротность — в пределах 40—60.

Конструктивные коэффициенты связи между катушками L_1 и L_2 , а также между L_1 и L_3 определяются по формулам

$$k_{св12} \approx \frac{0,5}{Q_3}; \quad k_{св13} \approx \frac{40}{Q_3}.$$

Коэффициент включения первичного контура в цепь коллектора транзистора

$$p_k = 400 \sqrt{\frac{Q_k - Q_3}{f_{пр} L_1 Q_k Q_3 g_{вых}}},$$

где Q_k — конструктивная добротность первичного контура, $f_{пр}$ — промежуточная частота, МГц; L_1 — индуктивность катушки первичного контура, мкГн; $g_{вых}$ — выходная проводимость транзистора, мксим.

Если получится $p_k > 1$, то принимают $p_k = 1$ и параллельно первичному контуру подключают резистор с сопротивлением $R_{ш}$, которое можно определить по формуле

$$R_{ш} = \frac{6,3 f_{пр} L_1 Q_k Q_3 10^{-3}}{Q_k - Q_3 - 6,3 f_{пр} L_1 Q_k Q_3 g_{вых} 10^{-6}} \text{ ком},$$

где $f_{пр}$ — МГц; L_1 — мкГн; $g_{вых}$ — мксим.

Настройка корпусов детектора отношений производится в следующем порядке:

1. На вход детектора от генератора подается напряжение промежуточной частоты, равное 0,1 в. Между точкой А и корпусом подключается вольтметр постоянного тока с входным сопротивлением не менее 100 ком. Вторичный контур расстраивается. Для этого параллельно ему можно подключить конденсатор емкостью 100—150 пф. Первичный контур настраивается по максимальному показанию вольтметра.

2. Вольтметр постоянного тока подключается между точкой В и корпусом. Вторичный контур настраивается по нулевому показанию вольтметра (не по минимальному).

3. На вход детектора от генератора подается сигнал с амплитудной модуляцией. К выходу детектора подключается ламповый вольтметр переменного тока. Подбирается величина сопротивления резистора R_1 по минимальному напряжению на выходе детектора.

Детекторы комбинированных АМ/ЧМ приемников. В комбинированных АМ/ЧМ приемниках могут применяться отдельные детекторы

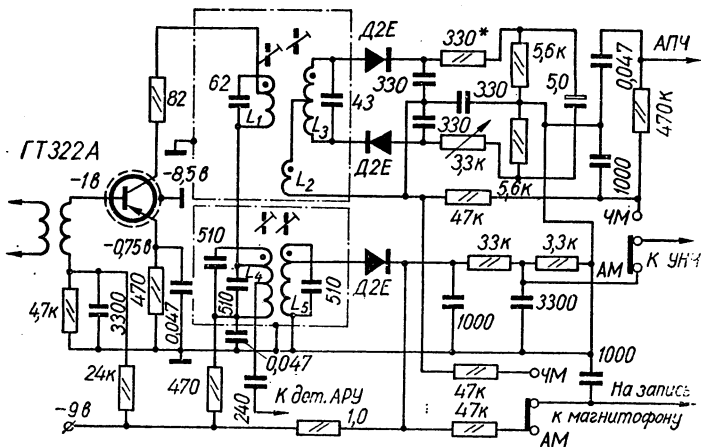


Рис. VII. 27. Схема детекторного каскада приемника АМ/ЧМ сигналов.

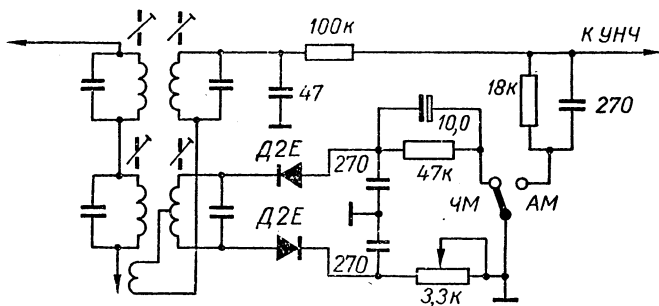


Рис. VII. 28. Схема комбинированного АМ/ЧМ детектора.

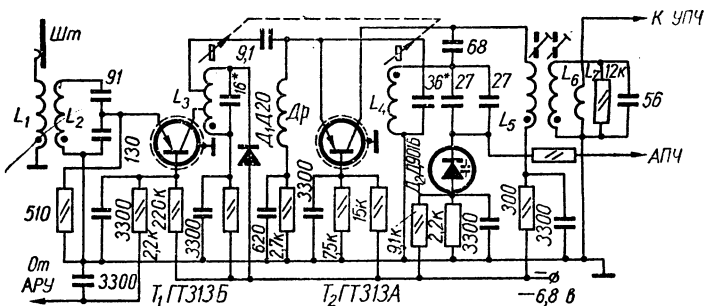


Рис. VII. 29. Схема УКВ блока радиоприемника «Рига-103». Конденсатор с емкостью 36 пф должен быть подключен параллельно катушке L_4 .

для АМ и ЧМ трактов либо комбинированные АМ/ЧМ детекторы. На рис. VII. 27 приведена схема детекторного каскада приемника «Рига-103». В нем используются отдельные детекторы для АМ и ЧМ трактов. При работе ЧМ тракта влияние первого контура фильтра промежуточной частоты АМ тракта устраняется благодаря включению в этот контур дополнительного конденсатора, сопротивление которого для токов промежуточной частоты ЧМ тракта мало.

На рис. VII. 28 приведена схема комбинированного АМ/ЧМ детектора.

§ 11. Блоки УКВ вещательных радиоприемников

Входная цепь, УВЧ и преобразователь частоты УКВ диапазона в вещательных радиоприемниках выполняются в виде отдельного блока, который не используется при работе в других диапазонах. Это позволяет избежать коммутации в цепях УКВ. Настройка контуров в УКВ блоках производится конденсаторами переменной емкости и вариометрами с ферритовыми и немагнитными металлическими сердечниками. В переносных и автомобильных приемниках применяются, как правило, вариометры.

На рис. VII. 29 приведена схема УКВ блока радиоприемника «Рига-103». Входная цепь собрана по одноконтурной схеме и не перестраивается. Полоса пропускания входной цепи примерно равна диапазону УКВ (табл. VII. 1). Первый транзистор работает в каскаде УВЧ, второй — в гетеродинном преобразователе частоты. Первый каскад охвачен АРУ. Для автоматической подстройки частоты гетеродина используется варикап D_2 , подключенный к контуру гетеродина через конденсаторы. Емкость варикапа зависит от напряжения, поступающего с детектора отношений. Для уменьшения перегрузок каскадов и расстройки гетеродина при сильных входных сигналах параллельно контуру УВЧ включен ограничивающий диод D_1 , к которому приложено запирающее напряжение. Контур УВЧ и гетеродина перестраиваются с помощью вариометра с латунными сердечниками. Основные данные катушек блока приведены в табл. VII. 3.

Т а б л и ц а VII.3

Основные данные катушек УКВ блока приемника «Рига-103»

Обозначение по схеме	Индуктивность, мкГн	Добротость, не менее	Число витков	Марка и диаметр привода, мм	Сердечник	
					Марка материала	Размеры, мм
L_1	0,04	100	2,5	ПЭВ-1 0,13	13ВЧ1	Ø2,86 × 8
L_2	0,09	100	3,75	Медный луженый Ø0,8		
L_3	—	200	7*	Медный луженый Ø0,8		
L_4	—	200	7	Медный луженый Ø0,8	Латунь	—
L_5	8,5	100	27	ПЭВ-1 0,12	100НН	Ø2,86 × 14
L_6	9,7	100	30	ПЭВ-1 0,12	100НН	
L_7	—	—	5,25	ПЭВ-1 0,12		
D_p	—	—	50	ПЭЛ 0,1		

* С отводами от 2¹/₄ и 4¹/₄ витков.

Схема УКВ блока радиоприемника «Урал-авто» приведена на рис. VII. 30. Входная цепь настроена на среднюю частоту УКВ диапазона. В УВЧ, который собран на первом транзисторе, применена автотрансформаторная связь контура с трансистором и внутримемкостная связь с последующим каскадом (смесителем). Напряжение

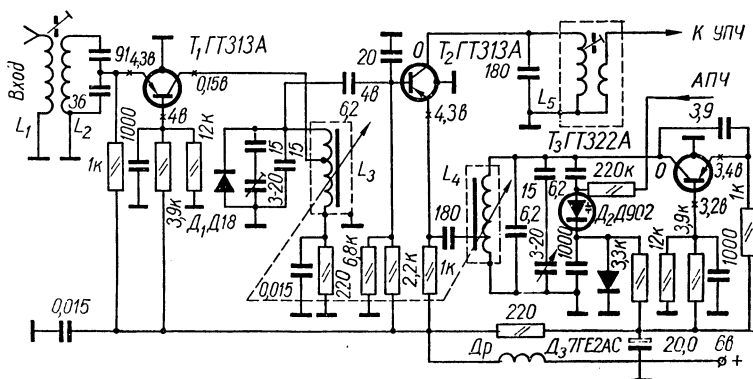


Рис. VII. 30. Схема УКВ блока радиоприемника «Урал-авто».

сигнала подается в цепь базы смесителя, а напряжение гетеродина — в цепь эмиттера. Гетеродин собран по схеме емкостной трехточки. Применена автоматическая подстройка частоты гетеродина с помощью варикапа D_2 .

Основные данные катушек блока приведены в табл. VII. 4.

Таблица VII. 4

Основные данные катушек УКВ блока приемник «Урал-авто»

Обозначение по схеме	Индуктивность, мкГн	Число витков	Марка и диаметр провода, мм	Марка материала или тип сердечника	Тип намотки
L_1	0,26	4,25	ПЭЛШКО 0,31		С шагом
L_2	0,33	4,5	ПЭЛШКО 0,31	100НН	между витками L_1
L_3	—	10,75	Медный луженый $\varnothing 0,8$		Сплошная
L_4	—	9,25	Медный луженый $\varnothing 0,8$	Сплав Д-16	Сплошная
L_5	2	13,5	ПЭЛШКО 0,15	СБ-12 а	Секционированная
Др	—	70	ПЭЛ 0,1	—	Сплошная

§ 12. Автоматические регулировки в приемниках

Автоматическая регулировка усиления (АРУ) должна обеспечивать относительное постоянство напряжения сигнала на входе детектора и, следовательно, на выходе приемника при изменении напряжения сигнала на входе приемника. Хорошая система АРУ обеспечивает работу всех каскадов приемника без перегрузок, особенно плохо влияющих на работу последнего каскада УПЧ и некоторых типов детекторов.

Постоянство напряжения на входе детектора может быть достигнуто, если увеличение интенсивности сигнала будет сопровождаться уменьшением коэффициента предшествующего детектору тракта.

АРУ в транзисторных приемниках осуществляется в большинстве случаев путем изменения смещения база—эмиттер в одном или двух каскадах УПЧ или УВЧ. Управляющее напряжение АРУ снимается с нагрузки детектора (рис. VII.19) или дополнительно усиливается усилителем постоянного тока (рис. VII.21). Высокой эффективностью отличается система АРУ с шунтирующим диодом (рис. VII.20). При нормальном уровне сигнала диод заперт и не влияет на работу АРУ и усилителя. При сильных сигналах под воздействием АРУ постоянное напряжение на коллекторе регулируемого каскада повышается, что приводит к отпиранию диода, который в свою очередь шунтирует контур, в результате чего дополнительно снижается усиление УПЧ.

Недостатком схемы АРУ с управлением по току базы (рис. VII. 19) является снижение эффективности регулировки усиления при большой величине сопротивления резистора в цепи эмиттера, что необходимо для температурной стабилизации каскада. Этот недостаток устраняется в схеме, представленной на рис. VII. 31, в которой управляющее напряжение прикладывается непосредственно между базой и эмиттером.

На рис. VII. 32 приведена схема УПЧ с комбинированной системой АРУ. На входе УПЧ включен регулируемый делитель напряжения

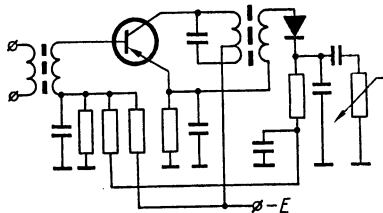


Рис. VII. 31. Схема АРУ с непосредственной подачей управляющего напряжения между базой и эмиттером.

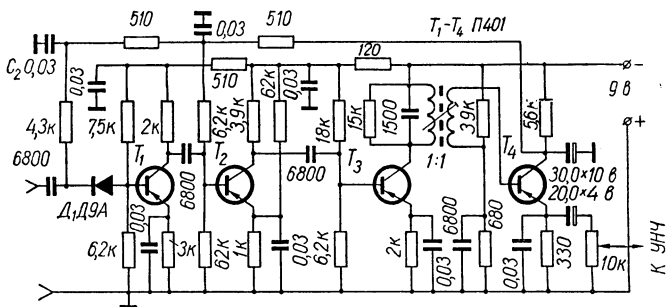


Рис. VII. 32. Схема УПЧ с комбинированной системой АРУ.

сигнала, состоящий из диода D_1 и входного сопротивления первого каскада. При увеличении напряжения сигнала на входе напряжение на коллекторе транзистора T_4 становится менее отрицательным, поэтому напряжение запирающего диода D_1 увеличивается. Проводимость диода уменьшается, и напряжение на входе первого каскада падает. Напряжение на базе транзистора T_2 также становится менее отрицательным, он подзапирается и усиление второго каскада резко уменьшается. При

изменении напряжения сигнала на входе от 10 мкв до 1 в напряжение на выходе изменяется не более чем в два раза. При использовании вместо диода типа Д9А диода типа Д223 система АРУ работает еще лучше.

Автоматическая подстройка частоты (АПЧ) позволяет устранять расстройку приемника, вызванную нестабильностью гетеродина и другими причинами. Эта система действует следующим образом. Если разность частот гетеродина и сигнала не равна промежуточной частоте, то АПЧ изменяет частоту гетеродина приемника так, чтобы эта разность приблизилась к промежуточной частоте.

Применение системы АПЧ в диапазонах ДВ и СВ целесообразно только в телеграфных приемниках, отличающихся очень узкой полосой пропускания, а также в приемниках с фиксированными настройками.

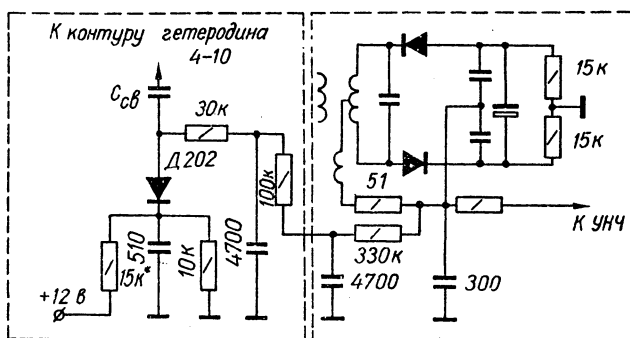


Рис. VII. 33. Схема диодной АПЧ.

В диапазоне КВ при сильных замираниях система АПЧ может автоматически перестроить приемник на другую станцию. Наиболее часто АПЧ используется на УКВ диапазоне при приеме ЧМ сигналов. В приемнике ЧМ сигналов для введения системы АПЧ достаточно добавить управитель, воздействующий на частоту гетеродина. Управляющее напряжение вырабатывает частотный детектор.

На рис. VII. 33 приведена схема диодной АПЧ, широко применяющейся в настоящее время в диапазоне УКВ. В качестве управителя можно использовать плоскостные диоды в режиме обратной проводимости или варикапы (см. гл. IV). В этом режиме собственная емкость диода возрастает при увеличении запирающего напряжения. Обратное сопротивление диода должно быть большим, чтобы не вносить заметного затухания в контур гетеродина. Начальная рабочая точка диода или варикапа выбирается так, чтобы режим обратной проводимости соблюдался при любой расстройке приемника. Емкость конденсатора связи $C_{св}$ выбирается так, чтобы внести в контур гетеродина минимальную начальную емкость и в то же время обеспечить достаточно большую крутизну зависимости суммарной емкости контура от управляющего напряжения.

При налаживании систем АПЧ необходимо обращать внимание на правильность полярности постоянной составляющей выходного напряжения частотного детектора.

Глава VIII

РАДИОПЕРЕДАЮЩИЕ УСТРОЙСТВА НА ТРАНЗИСТОРАХ

§ 1. Диапазоны для любительской радиосвязи

Для любительской радиосвязи отведены строго определенные диапазоны частот (табл. VIII.1). Работа любительских передатчиков вне указанных диапазонов категорически запрещена.

Т а б л и ц а VIII.1

Диапазоны для радилюбительской радиосвязи

Частоты диа- пазона, Мгц	Любительское название диа- пазона	Распределение частот внутри диапазона по видам работы	
		Частота, Мгц	Вид работы
Коротковолновые диапазоны			
3,5—3,65	80-метровый	3,5—3,6	Телеграф
		3,6—3,65	Телефон и телеграф
7,0—7,1	40-метровый	7,0—7,05	Телеграф
		7,05—7,1	Телефон и телеграф
14,0—14,35	20-метровый	14,0—14,11	Телеграф
		14,11—14,35	Телефон и телеграф
21,0—21,45	14-метровый	21,0—21,15	Телеграф
		21,15—21,45	Телефон и телеграф
Ультракоротковолновые диапазоны			
28,0—29,7	10-метровый	28,0—29,7	Телеграф
		28,2—28,4	Работа телефоном с зарубеж- ными радилюбителями
		28,4—28,7	Работа телефоном на одной боковой полосе
		29,0—29,7	Работа телефоном с АМ в пре- делах СССР
144—145	2-метровый	144—145	Телефон и телеграф
430—435	70-сантиметровый	430—435	» » »
1215—1300	—	1215—1300	» » »
5650—5670	—	5650—5670	» » »
10000—10500	—	10000—10500	» » »
21000—22000	—	21000—22000	» » »

Для успешного ведения радиосвязи радилюбитель должен иметь передатчик, работающий в нескольких диапазонах. Желательно при этом обеспечить плавную настройку в пределах каждого диапазона.

Коротковолновые любительские радиостанции делятся на три категории. Для радиостанций различных категорий установлены наибольшая допустимая мощность передатчика и род работы в различных диапазонах. Мощностью передатчика считают мощность в антенне либо в контуре оконечной ступени. Однако в практике радилюбителей

определение мощности колебаний высокой частоты в контуре затруднительно. Поэтому условились мощность любительских передатчиков определять по мощности, подводимой к оконечному каскаду P_0 . Станции третьей категории имеют мощность до 10 *вт*, станции второй категории — до 40 *вт*, а станции первой категории — до 200 *вт*.

§ 2. Особенности транзисторных передатчиков

Транзисторные передатчики имеют ряд преимуществ перед ламповыми: меньший вес и габариты; высокая надежность и долговечность; высокий к. п. д. (за счет отсутствия цепей накала); мгновенная готовность к работе после включения, поскольку транзисторные схемы не требуют предварительного прогрева; низкое напряжение источников питания, что повышает надежность работы схемы и делает безопасной ее наладку.

К недостаткам транзисторных передатчиков следует отнести: существенную зависимость параметров транзисторов, а значит, и режима передатчика от температуры; относительно небольшую мощность; малый коэффициент усиления каскада, что при прочих равных условиях требует в транзисторном передатчике большого числа каскадов по сравнению с ламповым.

В настоящее время мощность коротковолновых транзисторных передатчиков не превышает единиц ватт. С каждым годом растут мощности транзисторов и осваиваются все более высокие частоты. На основании достижений транзисторной техники и тенденций ее развития можно заключить, что в недалеком будущем передатчики III, II, а, возможно, и I категорий будут полностью транзисторными.

§ 3. Блок-схема радиопередатчика

Блок-схема передатчика (рис. VIII. 1) состоит из возбуждителя I, промежуточных каскадов II, III, оконечного усилителя мощности IV и модулятора V.

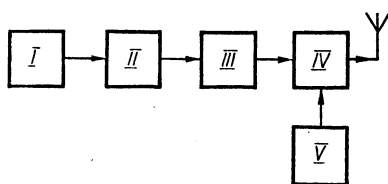


Рис. VIII.1. Блок-схема передатчика:

I — задающий генератор; II, III — промежуточные каскады; IV — оконечный усилитель мощности; V — модулятор.

Возбудитель в простейшем случае представляет собой автогенератор с плавным диапазоном частот либо с пьезокварцевой стабилизацией частоты. Для обеспечения высокой стабильности генерируемых колебаний задающий генератор делают маломощным. В некоторых случаях, например в однополосных передатчиках (ОБП*), возбудитель представляет собой сложную схему, в которой формируется однополосный сигнал.

Промежуточные каскады усиливают мощность до величины, необходимой для возбуждения оконечной мощной ступени — оконечного усилителя мощности, и осуществляют развязку между оконечным каскадом и задающим генератором. Эта развязка необходима для обеспечения высокой стабильности частоты передатчика.

* У радиолюбителей ОБП обозначается обычно SSB (начальными буквами английских слов, означающих передачу одной боковой полосы).

Промежуточные каскады могут работать усилителями, умножителями частоты, либо усилителями-умножителями, т. е. в одном диапазоне каскад работает усилителем, а в другом — умножителем.

Умножение частоты уменьшает склонность многокаскадной схемы к самовозбуждению (каскады работают на различных частотах и паразитные связи между ними существенно ослабляются), дает возможность работать в различных диапазонах при задающем генераторе, работающем в одном диапазоне. Это повышает стабильность частоты и упрощает схему передатчика.

В табл. VIII.2 приведено распределение по каскадам частот передатчика, работающего в трех диапазонах: 80-, 40- и 20-метровом.

Т а б л и ц а VIII.2

Распределение частот передатчика по каскадам

Диапазон	Частота, Мгц			
	Задающий генератор I	Промежуточный каскад II	Промежуточный каскад III	Оконечный усилитель IV
80-метровый	3,5—3,6	3,5—3,6	3,5—3,6	3,5—3,6
40-метровый	3,5—3,6	7,0—7,2	7,0—7,2	7,0—7,2
20-метровый	3,5—3,6	7,0—7,2	14,0—14,4	14,0—14,4

Как видно из таблицы, в 80-метровом диапазоне II, III и IV каскады являются усилителями. В 40-метровом диапазоне первый промежуточный каскад II работает удвоителем, все остальные — усилителями. В 20-метровом диапазоне удвоение частоты производится в каскадах II и III. Задающий генератор работает в сравнительно узкой полосе частот, одинаковой для всех диапазонов.

Оконечный усилитель мощности во всех диапазонах работает усилителем. Это повышает к. п. д. передатчика, так как усилители имеют более высокий к. п. д., чем умножители частоты.

§ 4. Генератор с независимым возбуждением

Генератор с независимым (внешним) возбуждением на транзисторах является преобразователем энергии источника постоянного тока в энергию переменного тока высокой частоты и одновременно усилителем мощности высокочастотных колебаний. Переменное напряжение возбуждения поступает от предыдущего маломощного каскада.

В генераторах с независимым возбуждением применяются схемы с общей базой (ОБ) и общим эмиттером (ОЭ) (рис. VIII.2).

Схема с общим коллектором ОК не имеет существенных преимуществ и практически не применяется.

Схема с ОЭ (рис. VIII.2, а) позволяет получить наибольший коэффициент усиления по мощности K_p , в силу чего и находит преимущественное применение.

В схеме с ОБ (рис. VIII.2, б) существенно ослабляются связи между входными и выходными цепями, но K_p значительно меньше, чем в схеме с ОЭ. Из-за малого K_p схема с ОБ имеет ограниченное применение.

Классы работы генератора с независимым возбуждением. Класс А без отсечки тока коллектора (рис. VIII.3) принимают редко, так как

в этом классе к. п. д. коллекторной цепи мал, мощность, рассеиваемая коллектором, относительно велика, токи базы — значительны. Основным достоинством класса А является малый коэффициент искажений переменной составляющей коллекторного тока.

Класс А иногда принимают в маломощных каскадах, например в усилителях однополюсного сигнала и т. п.

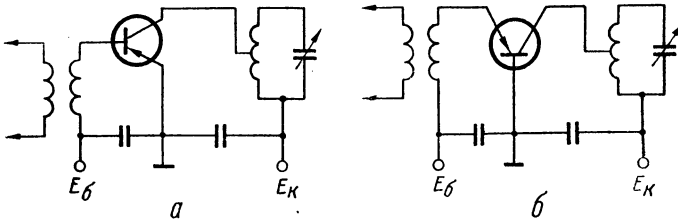


Рис. VIII.2. Схемы генераторов с независимым возбуждением: а — с общим эмиттером; б — с общей базой.

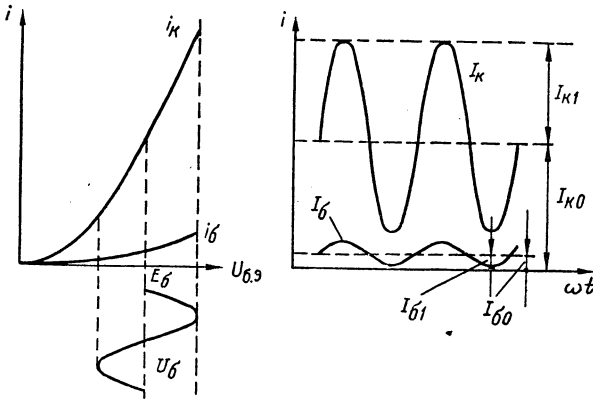


Рис. VIII.3. Работа генератора без отсечки тока коллектора.

Классы В ($\theta_k = 90^\circ$) и С ($\theta_k < 90^\circ$) с отсечкой тока коллектора (рис. VIII.4) являются основными для генераторов, так как при этом получается высокий к. п. д. цепи коллектора, относительно малая мощность рассеяния, могут быть небольшие токи базы что определяет высокий коэффициент усиления каскада.

Ток коллектора протекает через транзистор только в течение части периода напряжения возбуждения (рис. VIII.4). Гармонический состав импульсов коллекторного тока существенно зависит от угла отсечки θ_k (углом отсечки θ_k называют половину той части периода, в течение которой протекает ток в цепи коллектора. Длительность импульса тока — $2\theta_k$).

Постоянная составляющая коллекторного тока ($I_{к0}$), амплитуда первой ($I_{к1}$), второй ($I_{к2}$) и высших гармоник тока определяются по следующим формулам:

$$I_{к0} = \alpha_0(\theta) I_{кМ},$$

$$I_{к1} = \alpha_1(\theta) I_{кМ},$$

$$I_{к2} = \alpha_2(\theta) I_{кМ},$$

$$I_{кn} = \alpha_n(\theta) I_{кМ},$$

где $I_{кМ}$ — наибольшее значение коллекторного тока в импульсе; $\alpha_0(\theta)$, $\alpha_1(\theta)$, $\alpha_2(\theta)$, $\alpha_n(\theta)$ — соответственно коэффициенты постоянной составляющей первой, второй и n -й гармоник, значения которых для

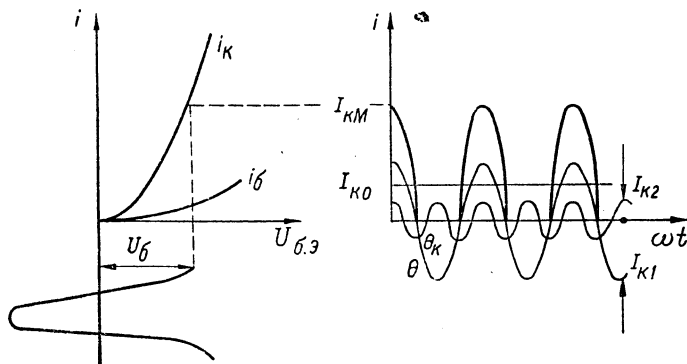


Рис. VIII.4. Работа генератора с отсечкой тока коллектора.

различных углов отсечки θ остроконечного (косинусоидального) импульса приведены в табл. VIII.3.

Режимы работы генератора. *Недонапряженный режим* характеризуется относительно малым током базы по сравнению с током коллектора, остроконечным (косинусоидальным) импульсом коллекторного тока (рис. VIII.4), малым к. п. д. коллекторной цепи, относительно большой мощностью рассеяния на коллекторе. Недонапряженный режим принимают только в тех случаях, когда он необходим, например при модуляции на базу, усилении модулированных колебаний и т. п.

Перенапряженный режим характеризуется относительно большим током базы по сравнению с током коллектора. Поэтому в верхней части импульса коллекторного тока появляется провал. Возможно появление обратного тока (рис. VIII.5).

Наряду с достоинствами (высоким к. п. д. коллекторной цепи, малым влиянием изменения нагрузки на выходное напряжение и т. п.), перенапряженный режим имеет ряд существенных недостатков: колебательная мощность генератора P_r падает, большой ток базы приводит к увеличению мощности возбуждения, что уменьшает коэффициент усиления каскада. Мощность, рассеиваемая базой, существенно больше, чем в недонапряженном режиме, что увеличивает мощность, рассеиваемую транзистором. При небольших изменениях параметров цепей

Таблица VIII.3

Коэффициенты разложения остроконечного (косин. гондального) импульса

θ°	$\cos \theta$	$\alpha_0(\theta)$	$\alpha_1(\theta)$	$\alpha_2(\theta)$	$\alpha_3(\theta)$	$\alpha_i(\theta)$
0	1,000	0,000	0,000	0,000	0,000	∞
1	1,000	0,004	0,007	0,007	0,007	890309
2	0,999	0,007	0,015	0,015	0,015	110000
3	0,999	0,011	0,022	0,022	0,022	33000
4	0,998	0,014	0,030	0,030	0,030	13900
5	0,996	0,018	0,037	0,037	0,037	7100
6	0,994	0,022	0,044	0,044	0,044	4130
7	0,992	0,025	0,052	0,052	0,051	2600
8	0,990	0,029	0,059	0,059	0,058	1750
9	0,988	0,032	0,066	0,065	0,065	1230
10	0,985	0,036	0,073	0,073	0,071	890
11	0,982	0,040	0,080	0,080	0,078	715
12	0,978	0,044	0,088	0,087	0,085	500
13	0,974	0,047	0,095	0,094	0,092	417
14	0,970	0,051	0,102	0,101	0,098	333
15	0,966	0,055	0,110	0,108	0,104	263
16	0,961	0,059	0,117	0,115	0,110	217
17	0,956	0,063	0,124	0,121	0,116	182
18	0,951	0,066	0,131	0,128	0,122	155
19	0,945	0,070	0,138	0,134	0,127	133
20	0,940	0,074	0,146	0,141	0,132	114
21	0,934	0,078	0,153	0,147	0,137	100
22	0,927	0,082	0,160	0,153	0,142	85,5
23	0,920	0,085	0,167	0,159	0,147	79,3
24	0,914	0,089	0,174	0,165	0,151	66,8
25	0,906	0,093	0,181	0,171	0,155	64,8
26	0,899	0,097	0,188	0,177	0,159	52,7
27	0,891	0,100	0,195	0,182	0,162	47,1
28	0,883	0,104	0,202	0,188	0,166	41,7
29	0,875	0,107	0,209	0,193	0,169	38,5
30	0,866	0,111	0,215	0,198	0,172	34,5
31	0,857	0,115	0,222	0,203	0,174	31,3
32	0,848	0,118	0,229	0,208	0,176	28,6
33	0,839	0,122	0,235	0,213	0,178	26,3
34	0,829	0,125	0,241	0,217	0,180	24,4
35	0,819	0,129	0,248	0,221	0,181	22,2
36	0,809	0,133	0,255	0,226	0,182	20,4
37	0,799	0,136	0,261	0,230	0,183	18,9
38	0,788	0,140	0,268	0,234	0,184	17,6
39	0,777	0,143	0,274	0,237	0,185	16,4
40	0,766	0,147	0,280	0,241	0,185	15,2
41	0,755	0,151	0,286	0,244	0,185	14,3
42	0,743	0,154	0,292	0,248	0,184	13,3
43	0,731	0,158	0,298	0,251	0,183	12,5
44	0,719	0,162	0,304	0,253	0,182	11,8
45	0,707	0,165	0,310	0,256	0,181	11,0
46	0,695	0,169	0,316	0,259	0,180	10,4
47	0,682	0,172	0,322	0,261	0,178	9,83
48	0,669	0,176	0,327	0,263	0,176	9,27
49	0,656	0,179	0,333	0,265	0,174	8,79
50	0,643	0,183	0,339	0,267	0,171	8,28
51	0,629	0,187	0,344	0,269	0,169	7,83
52	0,616	0,190	0,350	0,270	0,166	7,42

η°	$\cos \theta$	$\alpha_0 (\lambda)$	$\alpha_1 (\theta)$	$\alpha_2 (\theta)$	$\alpha_3 (\theta)$	$\alpha_4 (\theta)$
53	0,602	0,194	0,355	0,271	0,163	7,10
54	0,588	0,197	0,360	0,272	0,160	6,76
55	0,574	0,201	0,366	0,273	0,157	6,42
56	0,559	0,204	0,371	0,274	0,153	6,10
57	0,545	0,208	0,376	0,275	0,150	5,85
58	0,530	0,211	0,381	0,275	0,146	5,60
59	0,515	0,215	0,386	0,275	0,142	5,35
60	0,500	0,218	0,391	0,276	0,138	5,10
61	0,485	0,222	0,396	0,276	0,134	4,90
62	0,469	0,225	0,400	0,275	0,129	4,72
63	0,454	0,229	0,405	0,275	0,124	4,59
64	0,438	0,232	0,410	0,274	0,120	4,36
65	0,423	0,236	0,414	0,274	0,116	4,19
66	0,407	0,239	0,419	0,273	0,111	4,04
67	0,391	0,243	0,423	0,272	0,106	3,88
68	0,375	0,246	0,427	0,270	0,101	3,74
69	0,358	0,249	0,432	0,269	0,096	3,62
70	0,342	0,253	0,436	0,267	0,091	3,43
71	0,326	0,256	0,440	0,266	0,087	3,33
72	0,309	0,259	0,444	0,264	0,082	3,26
73	0,292	0,263	0,448	0,262	0,077	3,17
74	0,276	0,266	0,452	0,260	0,072	3,07
75	0,259	0,269	0,455	0,258	0,067	2,97
76	0,242	0,273	0,459	0,256	0,062	2,88
77	0,225	0,276	0,463	0,253	0,057	2,79
78	0,208	0,279	0,466	0,251	0,052	2,72
79	0,191	0,283	0,469	0,248	0,047	2,63
80	0,174	0,286	0,472	0,245	0,043	2,57
81	0,156	0,289	0,475	0,242	0,038	2,50
82	0,139	0,293	0,478	0,239	0,033	2,42
83	0,122	0,296	0,481	0,236	0,029	2,37
84	0,105	0,299	0,484	0,233	0,024	2,30
85	0,087	0,302	0,487	0,230	0,020	2,25
86	0,070	0,305	0,490	0,226	0,016	2,19
87	0,052	0,308	0,493	0,223	0,012	2,14
88	0,035	0,312	0,496	0,219	0,008	2,09
89	0,017	0,315	0,498	0,216	0,004	2,05
90	0,000	0,318	0,500	0,212	0,000	2,00
91	-0,017	0,322	0,502	0,208	-0,004	1,96
92	-0,035	0,325	0,504	0,205	-0,007	1,92
93	-0,052	0,328	0,506	0,201	-0,010	1,88
94	-0,070	0,331	0,508	0,197	-0,014	1,84
95	-0,087	0,334	0,510	0,193	-0,017	1,81
96	-0,105	0,337	0,512	0,189	-0,020	1,77
97	-0,122	0,340	0,514	0,185	-0,023	1,73
98	-0,139	0,343	0,516	0,181	-0,025	1,70
99	-0,156	0,347	0,518	0,177	-0,028	1,67
100	-0,174	0,350	0,520	0,172	-0,030	1,64
101	-0,191	0,353	0,521	0,168	-0,032	1,61
102	-0,208	0,355	0,522	0,164	-0,034	1,58
103	-0,225	0,358	0,524	0,160	-0,036	1,56
104	-0,242	0,361	0,525	0,156	-0,038	1,53
105	-0,259	0,364	0,526	0,152	-0,039	1,51
106	-0,276	0,367	0,527	0,147	-0,041	1,48
107	-0,292	0,370	0,528	0,143	-0,042	1,47

θ°	$\cos \theta$	$\alpha_0 (\theta)$	$\alpha_1 (\theta)$	$\alpha_2 (\theta)$	$\alpha_3 (\theta)$	$\alpha_i (\theta)$
108	-0,309	0,373	0,529	0,139	-0,043	1,45
109	-0,326	0,376	0,530	0,135	-0,044	1,43
110	-0,342	0,379	0,531	0,131	-0,045	1,40
111	-0,358	0,382	0,532	0,127	-0,045	1,38
112	-0,375	0,384	0,532	0,123	-0,046	1,37
113	-0,391	0,387	0,533	0,119	-0,046	1,35
114	-0,407	0,390	0,534	0,115	-0,047	1,33
115	-0,423	0,392	0,534	0,111	-0,047	1,32
116	-0,438	0,395	0,535	0,107	-0,047	1,30
117	-0,454	0,398	0,535	0,103	-0,047	1,28
118	-0,469	0,401	0,535	0,099	-0,047	1,27
119	-0,485	0,404	0,536	0,096	-0,046	1,26
120	-0,500	0,406	0,536	0,092	-0,046	1,24
121	-0,515	0,408	0,536	0,088	-0,045	1,23
122	-0,530	0,411	0,536	0,084	-0,045	1,22
123	-0,545	0,413	0,536	0,081	-0,044	1,21
124	-0,559	0,416	0,536	0,078	-0,043	1,20
125	-0,574	0,419	0,536	0,074	-0,042	1,19
126	-0,588	0,422	0,536	0,071	-0,042	1,18
127	-0,602	0,424	0,535	0,068	-0,041	1,17
128	-0,616	0,426	0,535	0,064	-0,040	1,16
129	-0,629	0,428	0,535	0,061	-0,038	1,15
130	-0,643	0,431	0,534	0,058	-0,037	1,14
131	-0,656	0,433	0,534	0,055	-0,036	1,13
132	-0,669	0,436	0,533	0,052	-0,032	1,12
133	-0,682	0,438	0,533	0,049	-0,032	1,11
134	-0,695	0,440	0,532	0,047	-0,032	1,10
135	-0,707	0,443	0,532	0,044	-0,031	1,10
136	-0,719	0,445	0,531	0,041	-0,030	1,09
137	-0,731	0,447	0,530	0,039	-0,028	1,09
138	-0,743	0,449	0,530	0,037	-0,027	1,08
139	-0,755	0,451	0,529	0,034	-0,026	1,08
140	-0,766	0,453	0,528	0,032	-0,024	1,07
141	-0,777	0,455	0,527	0,030	-0,023	1,07
142	-0,788	0,457	0,527	0,028	-0,022	1,06
143	-0,799	0,459	0,526	0,026	-0,020	1,06
144	-0,809	0,461	0,526	0,024	-0,019	1,05
145	-0,819	0,463	0,525	0,022	-0,018	1,05
146	-0,829	0,465	0,524	0,020	-0,017	1,04
147	-0,839	0,467	0,523	0,019	-0,016	1,04
148	-0,848	0,468	0,522	0,017	-0,014	1,04
149	-0,857	0,470	0,521	0,015	-0,013	1,03
150	-0,866	0,472	0,520	0,014	-0,012	1,03
151	-0,875	0,474	0,519	0,013	-0,011	1,02
152	-0,883	0,475	0,518	0,012	-0,010	1,02
153	-0,891	0,477	0,517	0,010	-0,009	1,02
154	-0,899	0,479	0,516	0,009	-0,008	1,02
155	-0,906	0,480	0,515	0,008	-0,008	1,02
156	-0,914	0,481	0,514	0,007	-0,007	1,02
157	-0,920	0,483	0,513	0,007	-0,006	1,01
158	-0,927	0,485	0,512	0,006	-0,005	1,01
159	-0,934	0,485	0,511	0,005	-0,005	0,01
160	-0,940	0,487	0,510	0,004	-0,004	0,01

θ°	$\cos \theta$	$\alpha_0 (\theta)$	$\alpha_1 (\theta)$	$\alpha_2 (\theta)$	$\alpha_3 (\theta)$	$\alpha_4 (\lambda)$
161	-0,946	0,488	0,509	0,004	-0,004	1,01
162	-0,951	0,489	0,509	0,003	-0,003	1,01
163	-0,956	0,490	0,508	0,003	-0,003	1,01
164	-0,961	0,491	0,507	0,002	-0,002	1,01
165	-0,966	0,492	0,506	0,002	-0,002	1,01
166	-0,970	0,493	0,506	0,002	-0,002	1,00
167	-0,974	0,494	0,505	0,001	-0,001	1,00
168	-0,978	0,495	0,504	0,001	-0,001	1,00
169	-0,982	0,496	0,503	0,001	-0,001	1,00
170	-0,985	0,496	0,502	0,001	-0,001	1,00
171	-0,988	0,497	0,502	0,000	0,000	1,00
172	-0,990	0,498	0,501	0,000	0,000	1,00
173	-0,993	0,498	0,501	0,000	0,000	1,00
174	-0,994	0,499	0,501	0,000	0,000	1,00
175	-0,996	0,499	0,500	0,000	0,000	1,00
176	-0,998	0,499	0,500	0,000	0,000	1,00
177	-0,999	0,500	0,500	0,000	0,000	1,00
178	-0,999	0,500	0,500	0,000	0,000	1,00
179	-1,000	0,500	0,500	0,000	0,000	1,00
180	-1,000	0,500	0,500	0,000	0,000	1,00

генератора (эквивалентного сопротивления нагрузки R_{oe} , U_b , E_k и др.) сильно меняется степень напряженности режима, что существенно влияет на форму импульса и гармонический состав тока коллек-

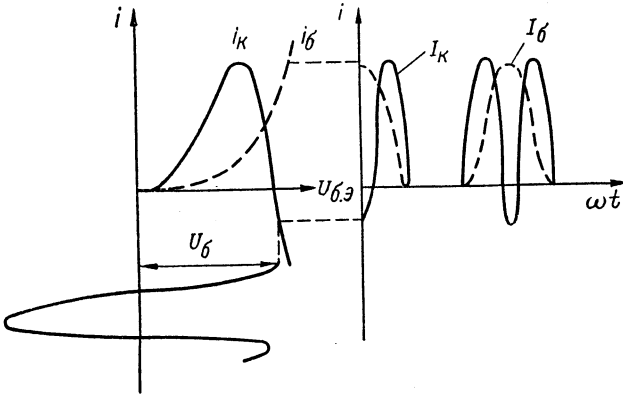


Рис. VIII.5. Перенапряженный режим генератора.

тора. Сложная форма импульса коллекторного тока определяет значительную интенсивность высших гармоник, что при малом R_{oe} ухудшает их фильтрацию. Сильно перенапряженный режим для транзисторных генераторов не рекомендуется.

Граничный (критический, или оптимальный) режим лежит на границе недонапряженного и перенапряженного режимов. В граничном

режиме получают наилучшие соотношения в генераторе, работающем телеграфом. Ток базы не настолько велик, чтобы заметно искажать форму импульса тока коллектора, и импульс можно считать острокопечным. Мощность и к. п. д. в цепи коллектора близки к максимальным, мощность возбуждения относительно невелика, так как токи базы малы.

Для транзисторных генераторов желателен граничный либо весьма близкий к нему режим.

Коэффициент использования коллекторного напряжения ξ характеризует степень напряженности режима. Он равен отношению амплитуды переменного напряжения на коллекторе U_k к напряжению источника питания E_k :

$$\xi = \frac{U_k}{E_k}.$$

Если у генератора, работающего в граничном режиме с коэффициентом использования коллекторного напряжения $\xi_{гр}$, сделать $\xi > \xi_{гр}$

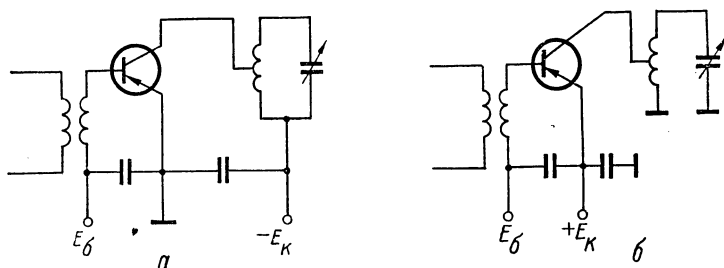


Рис. VIII. 6. Схема с последовательным питанием коллектора: *a* — с заземленным эмиттером; *b* — с заземленным по постоянному току коллектором.

(например, увеличить сопротивление нагрузки R_{oe} или напряжение возбуждения U_{δ}), то граничный режим перейдет в перенапряженный. Если изменением нагрузки или питающих напряжений сделать $\xi < \xi_{гр}$, то режим генератора станет недонапряженным.

Схемы генераторов с независимым возбуждением. Цепь коллектора может иметь схему с последовательным (рис. VIII.6) либо параллельным (рис. VIII.7) питанием.

В схеме с *последовательным питанием* напряжение на коллектор E_k поступает через катушку контура. Схема может иметь заземленный эмиттер (рис. VIII.6, *a*), При этом детали контура будут находиться под напряжением E_k по отношению к земле. Очевидные достоинства имеет схема (рис. VIII.6, *b*), где детали контура имеют заземленную точку, а эмиттер заземлен только для колебаний ВЧ. В этом варианте схемы напряжение E_k подается на эмиттер.

В схеме с *параллельным питанием* (рис. VIII.7) на элементах контура нет постоянного напряжения источника E_k , так как между коллектором и контуром включен разделительный конденсатор C_p . Цепи по-

стоянной ($I_{к0}$) и переменной ($I_{к1}$) составляющих коллекторного тока разделены: $I_{к0}$ протекает через блокировочный дроссель $L_{бл}$ транзистор и источник питания; переменные составляющие тока коллектора протекают через транзистор, C_p и контур. Схема с параллельным питанием может иметь заземленный эмиттер (рис. VIII.7, а) либо заземлен-

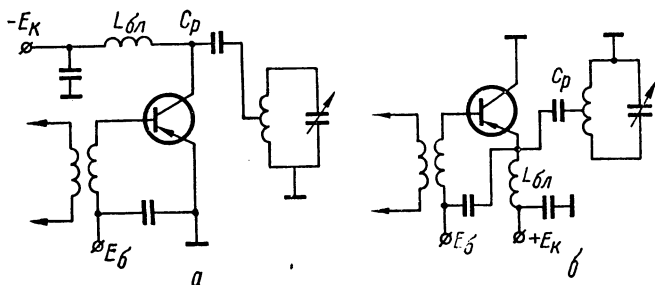


Рис. VIII.7. Схема с параллельным питанием коллектора
а — с заземленным эмиттером; б — с заземленным коллектором.

ный коллектор (рис. VIII.7, б). Поскольку у транзисторов, как правило, коллектор соединен с корпусом, схема с заземленным коллек-

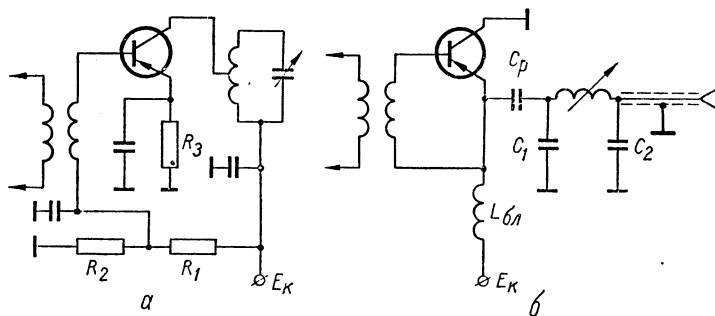


Рис. VIII.8. Схемы питания цепи базы:

а — с автосмещением и посторонним смещением от делителя напряжения E_K ; б — с нулевым напряжением на базе.

тором (корпусом транзистора) имеет существенные достоинства: упрощается крепление транзистора, так как корпус его может устанавливаться непосредственно на металлическое шасси; при этом существенно улучшается охлаждение транзистора и отпадает необходимость устройства специального теплоотвода. Кроме того, уменьшается паразитная емкость цепи коллектора, что важно на высоких частотах.

На базу транзистора подается напряжение возбуждения от предыдущего каскада $U_б \cos \omega t$ и напряжение смещения $E_б$, определяющее положение рабочей точки на характеристике транзистора.

$E_б$ может подаваться от постороннего источника питания (рис. VIII.6) при работе с малым углом отсечки тока коллектора θ_k

(класс С) либо от источника коллекторного напряжения E_K с помощью делителя R_1R_2 (рис. VIII.8, а) при работе с углом отсечки $\theta_K > 90^\circ$, в частности, когда рабочая точка должна находиться на линейном участке характеристики и генератор работает без отсечки тока коллектора (класс А). Наличие резистора R_3 (рис. VIII.8, а) создает эффект автосмещения за счет тока эмиттера, а также способствует температурной стабилизации режима. Осуществлять автосмещение за счет тока базы не рекомендуется, так как это снижает надежность работы каскада.

При работе с углом отсечки тока коллектора $\theta_K \approx 90^\circ$ (класс В) можно не подавать напряжение смещения на базу ($E_G = 0$) (рис. VIII.8, б). Это существенно упрощает схему. Поэтому для генераторов с независимым возбуждением желательна схема с $E_G = 0$.

§ 5. Расчет граничного режима генератора

Расчет режима транзисторного генератора встречает известные трудности в связи со сложностью происходящих в нем физических процессов и эквивалентной схемы, учитывающей работу транзистора в режиме больших амплитуд, инерцию носителей тока, наличие внутренних связей и т. п. Точные методы расчета сложны и еще недостаточно разработаны. Ниже приводится упрощенный метод расчета граничного режима транзисторного генератора, точность которого может удовлетворить инженерным требованиям при рабочей частоте $f \leq (0,1-0,15) f_T$, где f_T — частота, на которой модуль коэффициента усиления (B) по току схемы с ОЭ достигает единицы. Значение f_T указывается в паспорте транзистора.

Как правило, выбирается схема с ОЭ, обеспечивающая наибольший коэффициент усиления по мощности.

Исходными для расчета являются рабочая частота f и необходимая мощность высокочастотных колебаний в коллекторной цепи P_r (могут быть и другие исходные данные, но указанные — наиболее характерны). В паспортных данных транзистора, как правило, мощность P_r не указывается, а приводятся максимально допустимые значения коллекторного тока в импульсе $I_{кМ}$ либо постоянной составляющей $I_{кМ}$, максимально допустимое напряжение на коллекторе при работе с отсечкой тока коллектора $U_{к. б. о}$, наибольшая мощность, рассеиваемая транзистором без специального теплоотвода, P_m , либо с теплоотводом, P_m^T .

По этим данным можно оценить полезную мощность P_r , которую может отдать транзистор. Исходя из допустимой мощности рассеяния, получим:

$$P_r \approx (1-1,5)P_m, \text{ либо } P_r \approx (1-1,5)P_m^T.$$

Исходя из допустимых токов и напряжений, получим:

$$P_r \approx \frac{I_{кМ} U_{к. б. о}}{10 \div 15}.$$

Если есть несколько типов транзисторов, подходящих по мощности, желательно выбирать те, у которых f_T возможно больше. Чем больше f_T по сравнению с рабочей частотой f , тем меньше сказывается инерция носителей тока на работе генератора, и тем лучше работает последний.

Для генераторов, работающих в телеграфном режиме, желательно принимать нулевое напряжение смещения на базе. Тогда, в первом приближении, можно считать угол отсечки тока коллектора $\theta_k \approx 90^\circ$.

Пример расчета граничного режима генератора. Пусть задано считать телеграфный режим оконечной ступени передатчика, работающего на частоте 14 Мгц. Необходимая полезная мощность в контуре порядка 1 вт.

Выбираем транзистор П609 со следующими паспортными данными: мощность рассеяния $P_m = 1,5$ вт; $U_{к. б. о} = 30$ в; емкость коллектора $C_k = 50$ пф; постоянная времени $C_k r'_b = 500$; коэффициент усиления $B = (40 \div 120)$; граничная частота $f_T = 120$ Мгц; максимальное значение постоянного тока коллектора $I_{км} = 300$ ма.

Для оценки мощности, отдаваемой транзисторам, P_r , найдем $I_{км}$ — допустимый ток в импульсе:

$$I_{км} = \frac{I_{км}}{\alpha_0(\theta)} = \frac{300}{0,32} \approx 900 \text{ ма},$$

где $\alpha_0(\theta) = 0,32$ — коэффициент постоянной составляющей для принятого угла отсечки тока коллектора $\theta_k = 90^\circ$ (табл. VIII.3). Для выбранного транзистора

$$P_r = (1 \div 1,5) P_m = (1 \div 1,5) 1,5 = 1,5 \div 2,25 \text{ вт},$$

$$P_r = \frac{I_{км} U_{к. б. о}}{10 \div 15} = \frac{0,9 \cdot 30}{10 \div 15} = 2,7 \div 1,8 \text{ вт}.$$

Следовательно, выбранный транзистор по мощности удовлетворяет требованиям.

Граничный коэффициент использования коллекторного напряжения

$$\xi_{гр} = \frac{S_{гр} K_e U_{к. б. о} - K_i I_{км}}{S_{гр} K_e U_{к. б. о} + K_i I_{км}}.$$

Здесь $S_{гр}$ — крутизна линии граничных режимов — определяется по характеристикам транзистора (рис. VIII.9). Для этого через середины изгибов в левой части характеристики проводится прямая (пунктирная линия на рис. VIII.9, б) и определяется ее крутизна. Для П609 $S_{гр} = 0,08$ а/в.

K_e и K_i — коэффициенты запаса по напряжению и току, обеспечивающие необходимую надежность работы транзистора. Обычно берут $K_e = 1$, так как стремятся полностью использовать допустимое напряжение на коллекторе. Это дает максимальный коэффициент усиления по мощности и высокий к. п. д. Принимают $K_i \approx 0,4$ —0,6. Для обеспечения надежности работы транзисторов следует при полном использовании максимального напряжения недоиспользовать транзистор по току, так как нельзя допускать, чтобы два параметра одновременно достигали предельных значений. Кроме того, следует учесть, что, чем меньше K_i , тем больше $\xi_{гр}$, больше к. п. д. и меньше мощность, рассеиваемая транзистором.

Принимаем $K_e = 1$ и $K_i = 0,4$ (с учетом того, что транзистор имеет запас мощности)

$$\xi_{гр} = \frac{0,084 \cdot 30 - 0,4 \cdot 0,9}{0,084 \cdot 30 + 0,4 \cdot 0,9} = 0,74.$$

Напряжение источника питания коллектора

$$E_{\kappa} = \frac{K_e U_{\kappa. б. о}}{1 + \xi_{гр}} = \frac{30}{1 + 0,74} = 17 \text{ в.}$$

Амплитуда переменного напряжения на коллекторе

$$U_{\kappa} = U_{\kappa. б. о} K_e - E_{\kappa} = 30 - 17 = 13 \text{ в.}$$

Первая гармоника тока коллектора

$$I_{\kappa 1} = K_i I_{\kappa M} \alpha_1(\theta) = 0,4 \cdot 0,9 \cdot 0,5 = 0,18 \text{ а.}$$

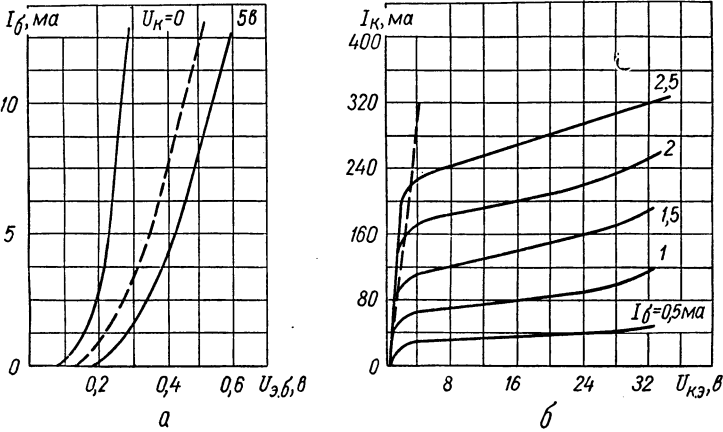


Рис. VIII.9. Типовые характеристики транзистора для схемы с общим эмиттером:

a — типовая входная; *b* — типовая выходная.

Полезная колебательная мощность

$$P_{\Gamma} = 0,5 I_{\kappa 1} U_{\kappa} = 0,5 \cdot 0,18 \cdot 13 = 1,17 \text{ вт.}$$

К. п. д. цепи коллектора

$$\eta_{\kappa} = 0,5 \frac{\alpha_1(\theta)}{\alpha_0(\theta)} \xi_{гр} = 0,5 \frac{0,5}{0,32} \cdot 0,74 = 0,58.$$

Мощность, рассеиваемая коллектором,

$$P_{р. \kappa} = P_{\Gamma} \frac{1 - \eta_{\kappa}}{\eta_{\kappa}} = 1,17 \frac{1 - 0,58}{0,58} = 0,85 \text{ вт.}$$

$P_{р. \kappa}$ получилось меньше, чем P_m . Однако окончательно судить о тепловом режиме транзистора можно будет только после расчета цепи базы и определения мощности рассеяния на базе $P_{р. б}$. Должно выдерживаться условие:

$$P_{р. б} + P_{р. \kappa} < P_m.$$

Постоянная составляющая тока коллектора

$$I_{K0} = K_f I_{KM} \alpha_0(\theta) = 0,4 \cdot 0,9 \cdot 0,32 = 0,115 \text{ а.}$$

Мощность, подводимая к коллектору,

$$P_{K0} = I_{K0} E_K = 0,115 \cdot 17 = 2 \text{ вт.}$$

Проверка: $P_{р.к} = P_0 - P_\Gamma = 2 - 1,17 = 0,83 \text{ вт; } \eta_K = \frac{P_\Gamma}{P_0} = \frac{1,17}{2} = 0,58.$

Эквивалентное сопротивление коллекторной нагрузки

$$R_{oe} = \frac{U_K}{I_{K1}} = \frac{13}{0,18} = 72 \text{ ом.}$$

Напряжение на переходе база—эмиттер

$$U'_6 = \frac{I_{K1} \sqrt{1 + \left(\frac{f}{f_S}\right)^2}}{S \alpha_1(\theta) (1 - \cos \theta)},$$

где S — крутизна характеристики транзистора для остаточного напряжения на коллекторе $e_{к. мин} = E_K - U_K$; f — рабочая частота, равная 14 МГц ; f_S — граничная частота по крутизне, т. е. частота, при которой крутизна уменьшается в $\sqrt{2}$ раз.

Крутизна S может быть определена экспериментально или найдена по входным и выходным характеристикам (рис. VIII.9). Для этого по выходным характеристикам для $e_{к. мин} = E_K - U_K$ определяют изменение тока коллектора ΔI_K при изменении тока базы I_6 от $0,5$ до $2,5 \text{ ма}$; $\Delta I_K \approx 200 \text{ ма}$.

На входных характеристиках строят характеристику для $e_{к. мин}$ (пунктирная кривая, рис. VIII.9), по которой для найденного диапазона изменения тока базы (от $0,5$ до $2,5 \text{ ма}$) находят изменение напряжения на базе

$$\Delta U_6 \approx 0,1 \text{ в.}$$

Тогда крутизна

$$S = \frac{\Delta I_K}{\Delta U_6} \approx 2 \text{ а/в.}$$

Граничная частота f_S иногда указывается в паспорте транзистора. В противном случае ее можно определить, исходя из зависимостей

$$f_S = \frac{f \alpha_0}{r'_6 S} \approx \frac{f \alpha_0}{20 \div 30},$$

$$f_\alpha = \frac{f_T}{\alpha_0 K},$$

где α_0 — коэффициент усиления в схеме с общей базой (для наших расчетов $\alpha_0 \approx 1$); $K = 0,6$ — для дрейфовых транзисторов; $K = 0,85$ — для бездрейфовых транзисторов,

$$f_S = \frac{f_T}{\alpha_0 K r'_6 S} = \frac{120}{1 \cdot 0,6 \cdot 10 \cdot 2} = 10 \text{ МГц.}$$

Получаем

$$U'_6 = \frac{0,18 \sqrt{1 + \left(\frac{14}{10}\right)^2}}{2 \cdot 0,5} = 0,31 \text{ в.}$$

Амплитуда напряжения возбуждения (с учетом потери напряжения в цепи базы)

$$U_6 = U'_6 \left[1 + \frac{R_{oe}}{R_{22}} \alpha_1(\theta) (1 - \cos \theta) \right],$$

где активная составляющая выходного сопротивления транзистора

$$R_{22} = \frac{1}{\omega C_k r'_6 S} \cdot \frac{1 + \left(\frac{f}{f_S}\right)^2}{\frac{f}{f_S}} = \frac{1}{2\pi \cdot 14 \cdot 10^6 \cdot 500 \cdot 10^{-12} \cdot 2} \times \\ \times \frac{1 + \left(\frac{14}{10}\right)^2}{\frac{14}{10}} = 23,5 \text{ ом}$$

$$U_6 = 0,31 \left[1 + \frac{72}{23,5} \cdot 0,5 \right] = 0,8 \text{ в.}$$

Мощность в цепи базы

$$P_6 \approx \frac{U_6^2}{2r_6}.$$

Сопротивление r_6 в паспорте транзисторов не указывается. Его можно найти из выражения:

$$r_6 = \gamma \frac{C_k r'_6}{C_k},$$

где $\gamma = 1 - 3$ — коэффициент, учитывающий рост потерь в цепи базы с частотой, влияние индуктивностей выводов транзистора и т. д. (нижний предел относится к относительно низким частотам, верхний — к относительно высоким),

$$r_6 \approx 1 \frac{500}{50} = 10 \text{ ом.}$$

Тогда

$$P_6 = \frac{0,8^2}{2 \cdot 10} = 0,032 \text{ вт.}$$

Коэффициент усиления по мощности

$$K_P = \frac{P_\Gamma}{P_6} = \frac{1,17}{0,032} = 37.$$

Мощность в цепи базы при нулевом смещении рассеивается на базе. Таким образом,

$$P_{p.6} = P_6 = 0,03 \text{ вт.}$$

Мощность, рассеиваемая транзистором,

$$P_p = P_{p.k} + P_{p.б} = 0,85 + 0,03 = 0,88 \text{ вт} < P_m = 1,5 \text{ вт.}$$

Расчет параметров контура. Задаемся емкостью колебательной системы

$$C = C_C + C_L + C_M + C_{\text{вых}},$$

где C_C — емкость конденсатора контура; C_L — собственная емкость катушки (2—10 пф); C_M — емкость монтажа (10—20 пф); $C_{\text{вых}}$ — выходная емкость транзистора (обычно C_K).

Индуктивность контура определяется по одной из формул:

$$L = \frac{0,282\lambda^2}{C} \text{ мкГн,}$$

$$L = \frac{2500}{Cf^2} \text{ мкГн,}$$

где λ — длина волны, м; C — емкость, пф; f — частота, МГц; L — индуктивность, мкГн.

Волновое сопротивление контура

$$\rho = \frac{531\lambda}{C} = \frac{16 \cdot 10^4}{Cf} \text{ ом.}$$

Размерность входящих в формулу величин та же, что и при расчете L .

Добротность нагруженного контура

$$Q = Q_{x.x} (1 - \eta_{\text{кон}}),$$

где $Q_{x.x}$ — добротность ненагруженного контура ($Q_{x.x} = 80 - 150$ в зависимости от диапазона и добротности деталей контура); $\eta_{\text{кон}}$ — к. п. д. контура. Для промежуточных каскадов задаются $\eta_{\text{кон}} = 0,3 - 0,6$.

К. п. д. контуров выходных каскадов, работающих на некоторую нагрузку R_H (в частности, на фидер с сопротивлением $R_H = \rho$ либо на антенну с сопротивлением $R_H = R_a$), рассчитывают.

Нагрузочный параметр

$$a = \frac{R_{oe x.x}}{R_{oe гр}},$$

где $R_{oe x.x}$ — эквивалентное сопротивление ненагруженного контура; $R_{oe гр}$ — эквивалентное сопротивление контура в граничном режиме (определяется при расчете режима цепи коллектора).

К. п. д. контура

$$\eta_{\text{кон}} = \frac{a-1}{a}.$$

Сопротивление связи с нагрузкой

$$X_{св} = \sqrt{(a-1)R_H \frac{\rho}{Q_{x.x}}}.$$

Эквивалентное сопротивление контура

$$R_{oe} = \rho Q_{x. x} (1 - \eta_{кон}).$$

Зная из расчета коллекторной цепи $R_{oe гр}$, находим коэффициент включения контура (коэффициент коллекторной связи):

$$\rho = \sqrt{\frac{R_{oe гр}}{R_{oe}}} = \sqrt{\frac{R_{oe гр}}{\rho Q_{x. x} (1 - \eta_{кон})}}$$

§ 6. Схемы выходных и промежуточных каскадов

Выходные и промежуточные каскады телеграфных передатчиков чаще всего собирают по схеме с ОЭ и заземленным коллектором (рис. VIII. 7, б). Как отмечалось выше, такой вариант схемы облегчает охлаждение транзистора, так как его корпус устанавливается непосредственно на шасси. При этом отпадает необходимость устройства специальных теплоотводов, упрощается крепление транзистора, уменьшаются вес, габариты, упрощается конструкция, уменьшается паразитная емкость в цепи коллектора. Напряжения смещения на базе либо принимают равным нулю, либо осуществляют автосмещение за счет тока эмиттера (резистор R_3 на рис. VIII. 8).

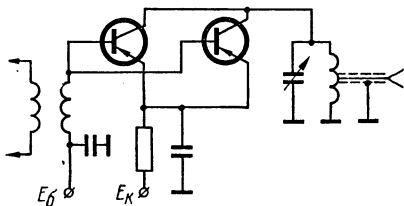


Рис. VIII. 10. Параллельное включение транзисторов.

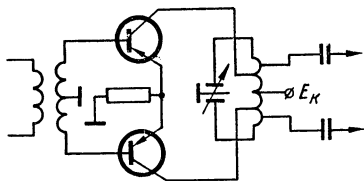


Рис. VIII. 11. Двухтактная схема включения транзисторов.

цию гармоник. На частотах более 10—12 Мгц конденсатор C_1 (рис. VIII.8, б) может отсутствовать, так как емкость коллектор—эмиттер $C_{к.э}$ уже достаточна для выполнения условий согласования.

Иногда для упрощения схемы и конструкции применяют автотрансформаторную связь транзистора с выходным контуром, но при этом согласование в диапазоне и фильтрация гармоник в нагрузке будут хуже, чем у П-образного контура.

Промежуточные каскады телеграфных передатчиков работают в классе В либо С. Связь цепи базы с контуром предыдущего каскада мо-

ются вес, габариты, упрощается конструкция, уменьшается паразитная емкость в цепи коллектора. Напряжения смещения на базе либо принимают равным нулю, либо осуществляют автосмещение за счет тока эмиттера (резистор R_3 на рис. VIII. 8). При этом уменьшается угол отсечки тока коллектора, повышается к. п. д., уменьшается мощность, рассеиваемая транзистором.

В выходных каскадах для согласования транзистора с нагрузкой (антенной, фидером) применяют П-образный контур (рис. VIII. 8, б), хорошо работающий в диапазоне частот от единиц до 100—120 Мгц и позволяющий осуществлять согласование с нагрузкой, меняющейся от единиц до сотен омов. Кроме того, П-образный контур обеспечивает хорошую фильтра-

жет быть трансформаторной, автотрансформаторной либо емкостной. Трансформаторная связь облегчает подбор необходимого напряжения возбуждения.

Маломощные промежуточные каскады усилителей модулированного однополосного и двухполосного сигнала собирают по схеме с ОЭ. Выбирают обычно класс А и работают на линейном участке характеристики. Напряжение смещения на базу подают от делителя R_1, R_2 (рис. VIII. 8, а). Иногда для стабилизации режима по постоянному току и компенсации искажений в цепь эмиттера включают резистор, создающий обратную связь по постоянному и переменному току.

Для совместной работы транзисторов на общую погрузку их можно включать параллельно (рис. VIII. 10) либо по двухтактной схеме (рис. VIII. 11). При нагрузке, несимметричной относительно земли. — штыревой антенне, коаксиальном кабеле и т. п. — выбирают параллельное включение, что упрощает схему и конструкцию. При симметричной нагрузке — двухпроводном фидере, двухтактном последующем каскаде и т. п. — предпочитают двухтактную схему.

§ 7. Задающие генераторы и возбуждители

Задающие генераторы могут иметь плавный диапазон и параметрическую стабилизацию частоты либо работать на одной частоте со стабилизацией с помощью пьезокварца.

Задающие генераторы с параметрической стабилизацией частоты предпочтительно собирать по схеме с емкостной обратной связью и за-

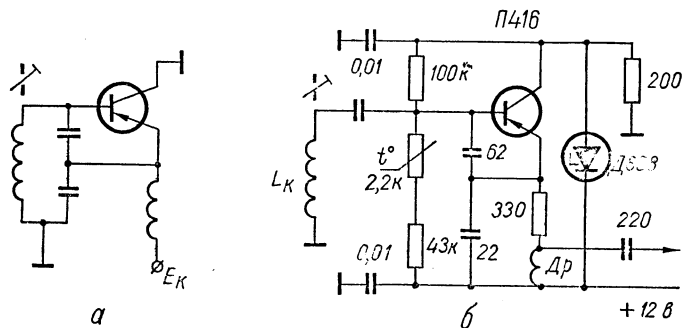


Рис. VIII. 12. Задающий генератор с емкостной обратной связью:

а — упрощенная схема; б — полная принципиальная схема.

земленным коллектором (рис. VIII. 12). Такая схема дает более высокую стабильность частоты, чем схемы с автотрансформаторной и с трансформаторной обратной связью. На рис. VIII. 12, а приведена схема цепей высокой частоты генератора с емкостной обратной связью, а на рис. VIII. 12, б — пример практического осуществления схемы на транзисторе П416, работающей на частоте $f = 14$ МГц. Для температурной стабилизации схемы в цепи делителя питания базы установлен терморезистор (2,2 ком). Напряжение питания коллектора стабилизировано стабилитроном Д-808. Настройка схемы на нужную частоту осуществляется карбонильным сердечником катушки.

Повысить выходную мощность и стабильность частоты задающего генератора можно, включив в цепь коллектора контур, настроенный на вторую либо третью гармонику частоты контура в цепи база—коллектор (схема для цепей высокой частоты приведена на рис. VIII. 13). Для первой гармоники контур в цепи коллектора представляет практически короткое замыкание, и схема автогенератора аналогична приведенной на рис. VIII. 12, а. Нагрузка связана с контуром, не участвующим в схеме автогенератора. Поэтому влияние изменения нагрузки на частоту в таком варианте схемы будет существенно ослаблено.

Беспоисковое вхождение в связь и бесподстроечное ведение связи требуют высокой стабильности частоты передатчика, значительно большей, чем могут обеспечить схемы автогенераторов с параметрической стабилизацией частоты. Поэтому большинство современных передатчиков имеют стабилизацию частоты с помощью пьезокварца.

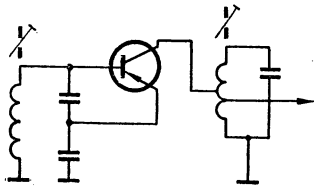


Рис. VIII. 13. Схема автогенератора с умножением частоты во внешнем контуре.

Эквивалентная схема пьезокварцевого резонатора приведена на рис. VIII. 14, а, а зависимость реактивного сопротивления схемы от частоты (без учета сопротивления r_q) и ее фазовая характеристика в районе резонансных частот — на рис. VIII. 14, б. Схема имеет две резонансные частоты: ω_q — частоту последовательного резонанса левой ветви эквивалентной схемы и ω_0 — частоту параллельного резонанса.

В узком интервале частот между ω_q и ω_0 (порядка сотых долей процента частоты ω_q) как реактивное сопротивление, так и фазовый угол φ положительны, т. е. осциллирующая (колеблющаяся) кварцевая пластинка ведет себя как некоторая эквивалентная индуктивность. Схемы автогенераторов, использующих кварцевый резонатор как некоторую индуктивность, называются *осцилляторными*. Эти схемы работают с высокой стабильностью на частотах вблизи частоты параллельного резонанса ω_0 (несколько меньше ее). Высокая стабильность частоты определяется тем, что добротность кварца как колебательной системы очень велика (сотни тысяч и даже миллионы), что определяет большую крутизну фазовой характеристики $\varphi(\omega)$ в районе рабочих частот.

Для образования схемы автогенератора пьезокварцевый резонатор можно включить в участок схемы между эмиттером и коллектором, эмиттером и базой либо базой и коллектором. Первые два варианта практически не применяются из-за того, что кварцевый резонатор шунтируется соответственно входным или выходным комплексным сопротивлением транзистора, что уменьшает добротность резонатора и вносит в него расстройку. Влияние параметров транзистора на работу резонатора будет наименьшим при включении последнего между базой и коллектором. На рис. VIII. 15, а показана упрощенная схема автогенератора для цепей высокой частоты, а на рис. VIII. 15, б — полная схема для автогенератора, работающего на частоте 14 Мгц.

Пьезокварцевый резонатор может быть использован как элемент цепи обратной связи (рис. VIII. 16). Такая схема работает в районе частоты последовательного резонанса ω_q . На всех частотах, отличных от ω_q , кварцевый резонатор представляет собой большое сопротивление; практически все напряжение обратной связи (с конденсатора $C_{св}$,

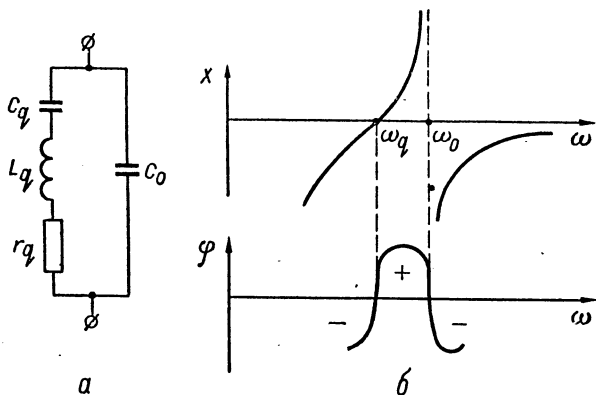


Рис. VIII. 14. Эквивалентная схема пьезо кварцевого резонатора и ее характеристики:

a — эквивалентная схема резонатора; *b* — характеристики реактивного сопротивления и фазовая.

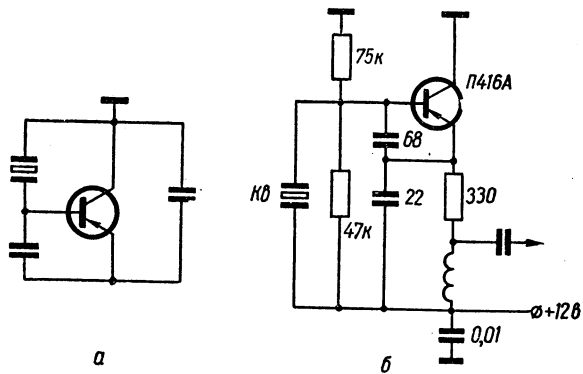


Рис. VIII. 15. Осцилляторная схема генератора:

a — упрощенная схема; *b* — полная принципиальная схема.

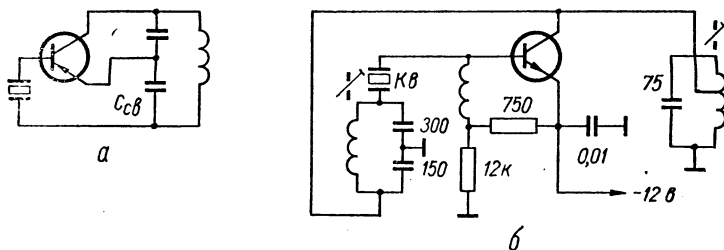


Рис. VIII. 16. Схема автогенератора с пьезо кварцевым резонатором в цепи обратной связи:

a — упрощенная схема; *b* — полная принципиальная схема.

рис. VIII. 16, а) падает на кварце и коэффициент обратной связи будет недостаточен для самовозбуждения. На частоте ω_q сопротивление кварца резко уменьшается (из-за последовательного резонанса левой ветви схемы рис. VIII. 15, а). При этом практически все напряжение обратной связи будет приложено к участку эмиттер — база, что обеспечит самовозбуждение схемы. Пример осуществления схемы, использующей последовательный резонанс кварца, приведен на рис. VIII. 16, б. В этой схеме в цепь коллектора включен контур, настроенный на вторую гармонику частоты кварца.

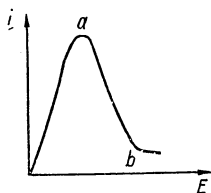


Рис. VIII. 17. Вольтамперная характеристика ТД.

§ 8. Генераторы на туннельных диодах

Вольтамперная характеристика туннельного диода (ТД) имеет падающий участок *ав* (рис. VIII.17), на котором сопротивление ТД отрицательно. При работе на этом участке можно получить генератор незатухающих колебаний.

Генераторы на ТД не требуют внешней обратной связи, имеют практически неограниченный частотный диапазон, но в настоящее время имеют весьма малые мощности (милливатты).

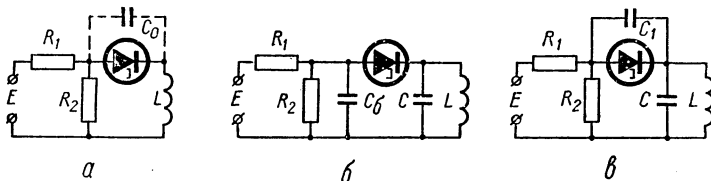


Рис. VIII. 18. Схемы автогенераторов на ТД:

а — последовательная; *б* — параллельная; *в* — последовательно-параллельная.

Генераторы на ТД могут осуществляться по *последовательной* (рис. VIII. 18, а), *параллельной* (рис. VIII. 18, б) и *последовательно-параллельной* (рис. VIII. 18, в) схемам.

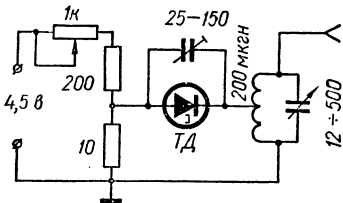


Рис. VIII. 19. Практическая схема автогенератора на ТД.

Последовательная схема наиболее проста, имеет наибольшую рабочую частоту. *Параллельная* схема дает наибольшую выходную мощность. *Параллельно-последовательная* схема обладает наилучшей стабильностью и формой выходного напряжения. На рис. VIII. 19 приведена практическая схема автогенератора на ТД.

§ 9. Модуляция

Изменение параметров тока высокой частоты по закону передаваемого сигнала называется модуляцией.

Наибольшее применение в любительских передатчиках находит амплитудная модуляция (АМ) благодаря наименьшей ширине излучаемо-

го спектра, простоте схемы и наладки. В диапазонах от 28 Мгц и выше иногда применяют узкополосную частотную модуляцию (ЧМ). При ЧМ уменьшается воздействие внешних помех (в частности, от телевизионных станций) на работу линии связи, уменьшаются помехи радиовещанию, не создаются помехи усилителям различной аппаратуры, что нередко имеет место при АМ.

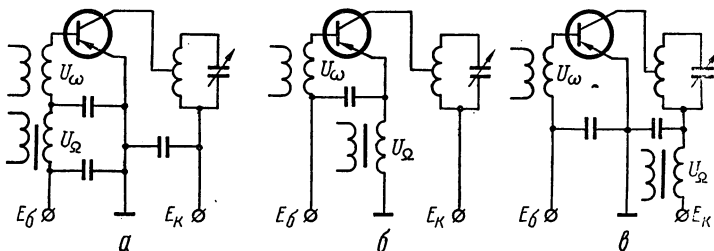


Рис. VIII. 20. Схемы амплитудной модуляции:
а — на базу; б — на эмиттер; в — на коллектор.

Метод фазовой модуляции как самостоятельный не применяется, а используется как промежуточный этап получения ЧМ с высокостабильной средней (несущей) частотой.

Амплитудная модуляция осуществляется воздействием модулирующего напряжения на базу (рис. VIII. 20, б) либо коллектор (рис. VIII. 20, а), эмиттер (рис. VIII. 20, в). Возможны и комбинированные схемы модуляции, при которых модулирующее напряжение воздействует одновременно на базу и на коллектор. Во всех схемах АМ должен быть выдержан единый принцип: напряжение питания, звуковое и высокочастотное напряжения, подаваемые на соответствующие электроды, всегда должны быть включены последовательно.

Схема модуляции на базу изменением смещения работает в недонапряженном режиме. Ее достоинство — в достаточно глубокой модуляции при относительно малых напряжениях и мощностях звуковой частоты. Недостаток — малый к. п. д. цепи коллектора в несущем режиме и при малых глубинах модуляции, что определяет относительно большую мощность рассеяния на коллекторе. Кроме того, при коэффициенте глубины модуляции $m > 0,6-0,7$ появляются заметные искажения.

Модуляция на базу изменением смещения применяется в каскадах малой (иногда средней) мощности. Пример практического осуществления этого метода показан на рис. VIII. 21 (угол отсечки тока коллектора в несущем режиме $\theta_{к.н} \approx 90^\circ$).

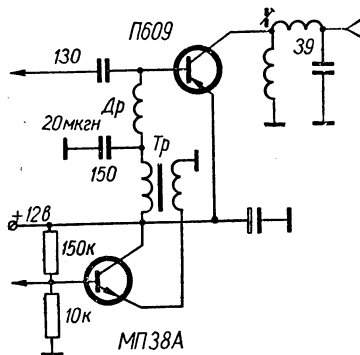


Рис. VIII. 21. Схема модуляции на базу изменением смещения.

Упрощенный расчет каскада с модуляцией на базу изменением смещения. Исходными данными являются: мощность генератора в несущем режиме $P_{г.н}$, максимальный коэффициент глубины модуляции m (обычно $m = 0,65-0,75$).

Мощность транзистора, устанавливаемого в каскаде, определяется максимальной генерируемой мощностью

$$P_{г.м} = P_{г.н} (1 + m)^2.$$

По этой мощности выбирают транзистор. Задаются углом отсечки тока коллектора в максимальном режиме $\theta_{кМ} = 90-100^\circ$ и принимают при максимуме мощности граничный режим. Производят расчет граничного режима на мощность $P_{г.м}$ (см. стр. 284).

Затем рассчитывают несущий режим. Первая гармоника и постоянная составляющая коллекторного тока

$$I_{к1н} = \frac{I_{к1М}}{1 + m}; \quad I_{к0н} = \frac{I_{к0М}}{1 + m}.$$

Напряжение на коллекторе

$$U_{к.н} = \frac{U_{кМ}}{1 + m}.$$

Мощность, подводимая к коллектору, и рассеиваемая мощность

$$P_{0н} = \frac{P_{0М}}{1 + m},$$

$$P_{р.н} = (P_{0н} - P_{г.н}) < P_m \text{ (либо } P_m^T).$$

Следует указать, что в несущем режиме мощность рассеяния на коллекторе может оказаться наибольшей.

К. п. д. коллекторной цепи

$$\eta_{к.н} = \frac{P_{г.н}}{P_{0н}} = \frac{\eta_{кМ}}{1 + m}.$$

Эквивалентное сопротивление нагрузки $R_{оен} = R_{оеМ}$.

Угол отсечки тока коллектора в несущем режиме определяется следующим образом. Находят коэффициент приведения внутреннего сопротивления транзистора $\alpha_{iн}$

$$\alpha_{iн} = \alpha_{iМ} (1 + m),$$

где $\alpha_{iМ}$ — коэффициент α_i для угла отсечки $\theta_{кМ}$ максимального режима определяют по табл. VIII.3.

По $\alpha_{iн}$ из табл. VIII.3 находят угол отсечки коллекторного тока в несущем режиме $\theta_{к.н}$. Тогда напряжение возбуждения и напряжения смещения

$$U_{б.н} = \frac{I_{к1н}}{S_{\alpha_{iн}}(\theta)(1 - \cos \theta_{н})} = U_{б.М},$$

$$E_{б.н} = E_{б.М}^t - U_{б.н} \cos \theta_{н}.$$

Напряжение и ток звуковой частоты

$$U_{62} = E_{6M} - E_{6.н.}$$

$$I_{62} = I_{60M} - I_{60н.}$$

Мощность модулятора

$$P_{\text{мод}} = 0,5U_{62}I_{62}.$$

Модуляция на эмиттер (рис. VIII. 20, б) требует значительно большей мощности модулятора, чем базовая модуляция, что обусловлено протеканием тока эмиттера через источник напряжения звуковой частоты. Энергетические показатели этой схемы (использование мощности транзистора, к. п. д. несущего режима) такие же плохие, как при модуляции на базу. При эмиттерной модуляции получаются несколько меньшие искажения, чем при базовой, особенно при глубине модуляции $m > 0,7-0,75$.

Плохие энергетические показатели, относительно большая мощность модулятора делают эмиттерную модуляцию не рациональной.

Модуляция на коллектор (рис. VIII. 20, в) отличается высокими энергетическими показателями, но требует относительно большей мощности модулятора, соизмеримой с мощностью модулируемого генератора.

Схема коллекторной модуляции (рис. VIII. 20, в) должна работать в перенапряженном режиме, что является ее существенным недостатком.

Для уменьшения степени напряженности режима и искажений при модуляции применяют двойную и тройную модуляцию (рис. VIII. 22). При двойной модуляции в цепь базы включают резистор автосмещения. За счет составляющей звуковой частоты тока базы, протекающего через резистор, получается дополнительная автотомодуляция на базу (первый каскад). При тройной модуляции модулирующее напряжение подается на два каскада: первый каскад с двойной модуляцией, второй каскад имеет тройную модуляцию с $m = 1$. На его базу подаются уже модулированные колебания, на резисторе в цепи базы создается модулирующее напряжение автосмещения, меняющееся со звуковой частотой, и на коллектор подается напряжение звуковой частоты, осуществляющее коллекторную модуляцию. Следует отметить, что для получения хорошего к. п. д. всей схемы модулятор должен быть двухтактным и работать в классе В.

Определение мощности транзисторов в модулируемых каскадах производится по известной мощности несущего режима $P_{г.н.}$ Мощность транзистора, установленного в каскаде (установочную мощность $P_{уст.}$), определяют по формуле:

$$P_{уст} = P_{г.н.}(1 + m).$$

Для предоконечного каскада принимают $m \approx 0,6-0,7$, а для окончного — $m = 1$. Для схем с двойной и тройной модуляцией режим

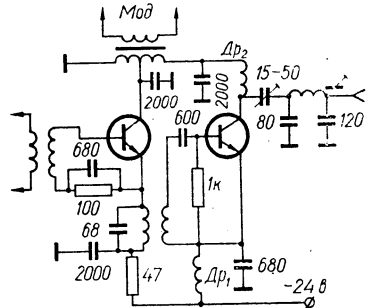


Рис. VIII. 22. Схема модуляции на коллектор.

получается близким к граничному на всем протяжении модуляционной характеристики.

Расчет режимов модулируемых ступеней при тройной модуляции достаточно сложен. Однако во многих случаях можно ограничиться упрощенным расчетом основных параметров.

Напряжение на коллекторе в несущем режиме $E_{к.н}$ можно принять равным 0,7—0,8 $U_{к.б.о}$. Мощность, рассеиваемая модулируемым генератором,

$$P_p = P_{г.н} \frac{1 - \eta_k}{\eta_k} (1 + 0,5m^2) < P_m \text{ (либо } P_m^T),$$

где η_k — к. п. д. коллскторной цепи в несущем режиме (обычно $\eta_k \approx 0,7$).

Напряжение звуковой частоты на коллекторе $U_{к\Omega}$ и мощность модулятора P_Ω определяют по формулам:

$$U_{к\Omega} = mE_{к.н}$$

$$P_\Omega \approx \frac{P_{г.н}}{\eta_k} \cdot \frac{m^2}{2}.$$

§ 10. Передача одной боковой полосой

Передача одной боковой полосой (ОБП) дает существенный выигрыш по сравнению с обычной амплитудой модуляцией АМ. Если передатчик с обычной АМ (несущей и двумя боковыми полосами) перевести на работу одной боковой полосой без несущей, то в месте приема это скажется так, как если бы мощность передатчика возросла в 16 раз. Поэтому ОБП широко применяется в современной радиосвязи. Если при передаче ОБП применить еще метод амплитудного ограничения, то эффективность передатчика еще больше возрастет, так как при этом как бы увеличивается средний коэффициент глубины модуляции.

Для формирования однополосного сигнала существует ряд методов. Основными являются *фильтровый* и *фазокомпенсационный*.

При фильтровом методе несущая частота подавляется в балансном модуляторе *БМ*. На выходе *БМ* получаются две боковые полосы, которые пропускают через фильтр. Последний подавляет нерабочую полосу.

При фазокомпенсационном методе с помощью специальных фазосдвигающих схем на суммирующее устройство подаются амплитудно-модулированные колебания так, чтобы колебания рабочей полосы приходили в фазе и складывались, а колебания нерабочей полосы поступали в противофазе и вычитались. Таким образом, происходит выделение одной боковой полосы.

Один из вариантов блок-схемы возбудителя, построенного по фазокомпенсационному методу, приведен на рис. VIII. 23. В схеме использован двухфазный метод формирования однополосного сигнала. Напряжение ВЧ с частотой ω после усиления поступает на высокочастотный фазовращатель *ВФв*, выдающий два напряжения, сдвинутые друг относительно друга на 90° . Аналогично построен тракт низкой частоты, где на низкочастотный фазовращатель *НФв* подается спектр низких частот с полосой $\Delta\Omega$. Фазовращатель выдает два напряжения, у которых все составляющие низкочастотного спектра будут сдвинуты друг отно-

сительно друга на 90° . Напряжения высокой и низкой частоты поступают на балансные модуляторы $БМ_1$ и $БМ_2$, на выходе которых получают только боковые полосы. Эти колебания поступают на УВЧ, где складываются. В результате сложения колебания одной из боковых

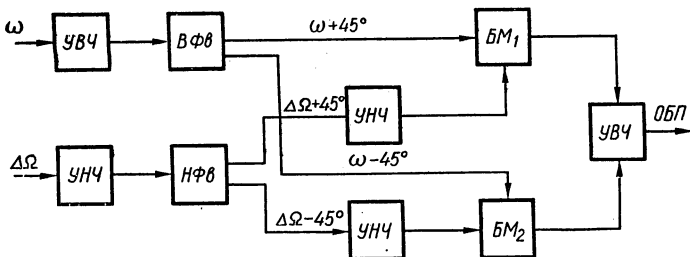


Рис. VIII. 23. Блок-схема возбудителя с фазокомпенсационным методом формирования сигнала ОБП.

полос подавляются, так как от $БМ_1$ и $БМ_2$ они поступают в противофазе, а колебания другой боковой полосы оказываются в фазе и усиливаются.

Достоинством фазокомпенсационного метода является возможность формирования однополосного сигнала непосредственно на рабочей

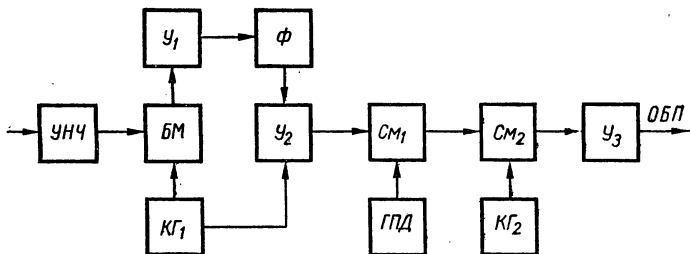


Рис. VIII. 24. Блок-схема возбудителя с фильтровым методом формирования сигнала ОБП.

частоте ω . К числу недостатков следует отнести жесткие требования к амплитудной и частотной характеристикам тракта НЧ (необходимость точного одинакового поворота фазы всех составляющих звукового спектра при высокой линейности амплитудной характеристики). Это обстоятельство усложняет схему, наладку и эксплуатацию устройства, в силу чего фазокомпенсационный метод применяется относительно редко.

Блок-схема возбудителя, использующего фильтровый метод формирования однополосного сигнала, приведена на рис. VIII. 24.

От микрофона сигнал поступает на УНЧ, затем на балансный модулятор БМ. На этот же каскад подаются колебания от кварцевого генератора $КГ_1$ с частотой $f_{кв} = 500$ кГц. В БМ подавляются несущая и на выходе получают боковые полосы, которые усиливаются усилителем $У_1$. Далее сигнал поступает на фильтр Φ (обычно электромеха-

нический), подавляющий одну из боковых полос. На выходе фильтра получается сигнал одной боковой полосы, ОБП, который усиливается усилителем $У_2$ и поступает для дальнейшего преобразования на смеситель $См_1$. В широкодиапазонных передатчиках на этот смеситель подаются колебания от генератора плавного диапазона ГПД, перекрывающего диапазон частот 3—3,5 Мгц. В нагрузке $См_1$ выделяется суммарная частота 3,5—4 Мгц, соответствующая 80-метровому диапазону.

Для получения других диапазонов предназначен второй смеситель $См_2$, на который поступают колебания от $См_1$ и кварцевого генератора $КГ_2$ с набором различных кварцев. В нагрузке $См_2$, в зависимости от частоты генератора $КГ_2$, получаются различные рабочие диапазоны, являющиеся суммой частот генератора $КГ_2$ и частот на выходе смесителя $См_2$.

Частота генератора $КГ_2$, Мгц	Рабочий диапазон, Мгц
3,1	6,6—7,1
10,5	14,0—14,5
17,5	21,0—21,5
24,5	28,0—28,5
25,0	28,5—29,5

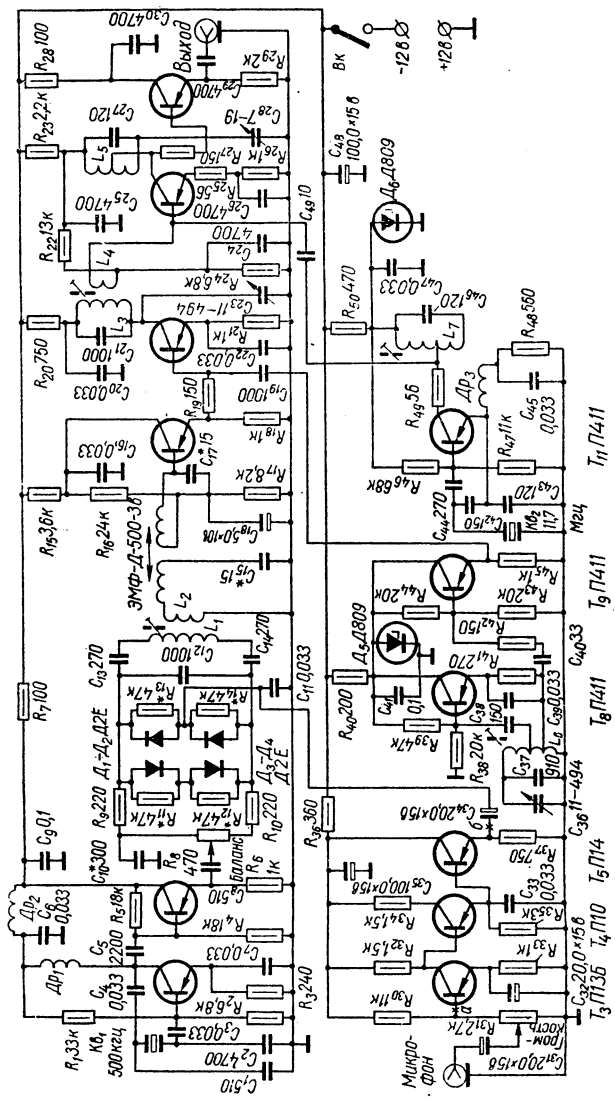
После $См_2$ сигнал поступает на усилитель $У_3$, где усиливается до уровня, необходимого для возбуждения следующих каскадов передатчика.

К недостаткам фильтрового метода следует отнести необходимость ряда преобразований сигнала, что определяет сложность схемы. Достоинством метода является хорошее подавление нерабочей полосы, устойчивость работы схемы, относительная простота наладки и регулировки. Благодаря этим достоинствам фильтровый метод находит в настоящее время преимущественное применение.

На рис. VIII. 25 приведена принципиальная схема возбудителя ОБП, работающего в диапазоне 28,3—29,3 Мгц.

Опорный генератор собран на транзисторе T_1 (П403) по осцилляторной схеме с кварцем между базой и коллектором. Частота генератора — 500 кГц. Через эмиттерный повторитель на транзисторе T_2 (П403), служащий развязкой между опорным генератором и остальными цепями, напряжение с частотой 500 кГц поступает на балансный модулятор. Последний собран на диодах $D_1—D_4$, Д2Е, имеющих одинаковые прямые сопротивления. Их обратные сопротивления выравнивают полбо- шунтирующих резисторов.

Одновременно с опорным напряжением на балансный модулятор подаются напряжение звуковой частоты с выхода трехкаскадного усилителя низкой частоты, собранного на транзисторах T_3 , T_4 , T_5 (П13Б, П10 и П14 соответственно). На выходе балансного модулятора получается двухполосный сигнал с подавленной несущей. Через согласующий трансформатор L_1L_2 этот сигнал поступает в электромеханический фильтр ЭМФ (Д-500-3В). Этот фильтр подавляет нижнюю боковую полосу, при этом дополнительно подавляется остаток несущей частоты. На выходе ЭМФ получается однополосный сигнал частоты порядка 500 кГц. Этот сигнал через эмиттерный повторитель на транзисторе T_6 (П403) поступает на первый смеситель, выполненный на транзисторе T_7 (П411). На базу этого транзистора кроме сигнала ОБП поступает напряжение частоты генератора плавного диапазона, ГПД. Последний собран на транзисторе T_8 (П411) по трехточечной схеме и работает в диапазоне 4,4—5,4 Мгц. Контур генератора $L_8C_{37}C_{38}$ слабо связан с транзистором. Между генератором и смесителем расположен эмиттерный



T₃ П135 T₄ П10 T₅ П14
 T₆ П41 T₇ П41 T₈ П41 T₉ П41 T₁₁ П411
 М24

повторитель на транзисторе T_9 (П411), осуществляющий развязку между ГПД и остальными узлами схемы. Напряжение питания транзисторов T_8 и T_9 стабилизировано с помощью кремниевого стабилитрона D_5 (Д809).

На контуре $L_3C_{21}C_{23}$ в коллекторной цепи транзистора первого смесителя выделяется напряжение в диапазоне частот 4,9—5,9 МГц. Через катушку связи L_4 оно поступает на базу транзистора T_{10} (П411) второго смесителя, где смешивается с напряжением частоты 23,4 МГц. Эту частоту вырабатывает генератор на транзисторе T_{11} (П411), собранный по осцилляторной схеме. Контур в коллекторной цепи L_7C_{46} настроен на вторую гармонику кварцевого резонатора. Напряжение питания транзистора T_{11} стабилизировано кремниевым стабилитроном D_6 (Д809).

Таблица VIII.4

Данные катушек ОБП возбуждателя

Обозначение по схеме	Каркас		Способ намотки	Число витков	Провод	Индуктивность, мкГн	Примечание
	материал	диаметр, мм					
L_1	Горшкообр. сердечник типа СБ-12а	—	Внавал	180	ПЭВ 0,1	840	—
L_2	То же	—	»	40	ПЭВ 0,1	—	—
L_3	Пластмасса	6	В один слой виток к витку	15	ПЭЗ 0,64	0,71	—
L_4	»	6	Между витками L_3	5	ПЭВ 0,21	—	—
L_5	»	6	В один слой виток к витку	5	ПЭВ 0,64	0,23	Отвод от середины
L_6	»	6	То же	16	ПЭВ 0,64	0,92	Отвод от 2 и 5 витков, считая от заземленного конца
L_7	»	6	» »	8	ПЭЗ 0,64	0,38	Отвод от середины
D_{p1}	Резистор ВС-0,5, 470 ком	—	Внавал. 3 секции шириной 3 мм	3×200	ПЭЛШО 0,1	—	—
D_{p2}	Резистор ВС-05, 470 ком	—	Внавал. 2 секции шириной 3 мм	3×100	ПЭЛШО 0,1	—	—
D_{p3}	Резистор МЛГ-0,5, 470 ком	—	Внавал. Одна секция шириной 3 мм	100	ПЭЛШО 0,1	—	—

Напряжение с контура $L_6C_{27}C_{28}$ в коллекторной цепи второго смесителя подается на эмиттерный повторитель, собранный на транзисторе T_{12} (П411). К эмиттеру этого транзистора подключен разъем, к которому присоединяется усилитель мощности. Максимальное напряжение ВЧ сигнала на выходе возбудителя — 0,15 в (на нагрузке 75 ом), напряжение источника питания — 12 в, общий потребляемый ток без сигнала — 55 ма.

Данные катушек приведены в табл. VIII. 4. Возбудитель описан в [VIII.3].

§ 11. Частотная модуляция

Частотная модуляция может осуществляться двумя методами: *прямым* и *косвенным*.

При прямом методе (рис. VIII. 26) модулирующее напряжение подается на частотный модулятор ЧМ, который подключается непосредственно к контуру задающего генератора ЗГ и изменяет его частоту. Прямой метод частотной модуляции осуществляют в передатчиках без кварцевой стабилизации частоты либо в кварцеванных передатчиках с очень малой девиацией при высокостабильной несущей частоте (например, при частотной манипуляции).

Основным недостатком прямого метода является невысокая стабильность несущей частоты, обусловленная дестабилизирующим дей-

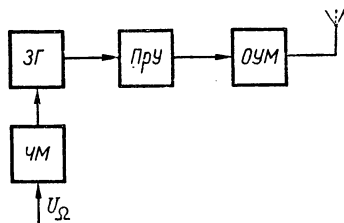


Рис. VIII. 26. Прямой метод осуществления частотной модуляции.

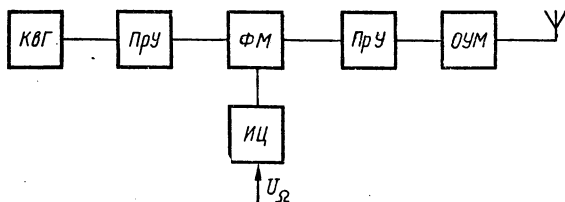


Рис. VIII. 27. Косвенный метод осуществления частотной модуляции.

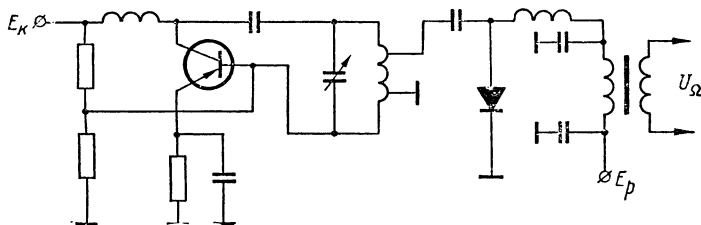


Рис. VIII. 28. Частотная модуляция с помощью управляемой емкости $p-n$ -перехода.

ствием модулятора, подключенного к контуру задающего генератора. Основными достоинствами метода являются простота схемы и наладки, возможность получения большой девиации частоты в задающем генераторе.

При косвенном методе (рис. VIII. 27) вначале осуществляется фазовая модуляция в одном из промежуточных каскадов передатчика с помощью интегрирующей цепочки ИЦ, затем фазовая модуляция преобразуется в частотную. Косвенный метод применяется в передатчиках с кварцевой стабилизацией частоты. Основным достоинством метода является возможность осуществления частотной модуляции с относительно высокой стабильностью несущей частоты. Основным недостатком косвенного метода является сложность схемы.

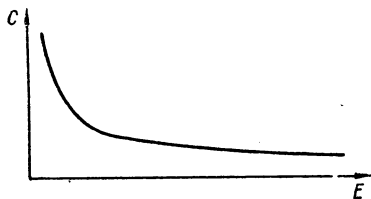


Рис. VIII. 29. Зависимость барьерной емкости $p-n$ -перехода от запирающего напряжения.

В любительской радиоаппаратуре предпочтительным является прямой метод.

Принципиальная схема автогенератора с частотным модулятором в виде управляемой емкости $p-n$ -перехода приведена на рис. VIII. 28. В качестве такой емкости лучше всего использовать варакторы (варикапы), но могут быть использованы и обычные диоды (например, Д7-Е). Варактор используется в режиме закрытого $p-n$ -перехода, поскольку открытому переходу свойственны большие токи и потери, а также повышенные температурные коэффициенты и уровень шумов. Типичная зависимость барьерной емкости закрытого $p-n$ -перехода от приложенного к нему напряжения показана на рис. VIII. 29. При изменении напряжения на диоде изменяется его емкость. Поскольку диод по высокой частоте подключен к контуру автогенератора (рис. VIII. 28), с подачей модулирующего напряжения U_{Ω} будет соответственно изменяться и генерируемая частота.

Глава IX

МАЛОГАБАРИТНЫЕ АНТЕННЫЕ УСТРОЙСТВА

§ 1. Общие сведения

В малогабаритных устройствах длинноволнового (ДВ) и средневолнового (СВ) диапазонов основным видом приемной антенны является ферритовая.

Ферритовая антенна, характеризующаяся хорошо выраженными направленными свойствами, применяется только в качестве приемной.

В диапазонах коротких (КВ) и ультракоротких (УКВ) волн для приема и передачи широко используются штыревые антенны (в тех случаях, когда не требуется направленности).

В качестве направленных антенн в диапазонах КВ и УКВ в радиолокационной практике применяются рамочные антенны и антенны типа «волновой канал».

§ 2. Основные параметры передающих антенн

Спротивление излучения — отношение мощности, излучаемой антенной, к квадрату тока, питающего антенну.

$$R_{\Sigma} = \frac{P_{\Sigma}}{I_A^2},$$

где P_{Σ} — мощность, излучаемая антенной, *вт*; R_{Σ} — сопротивление излучения, *ом*; I_A — эффективное значение тока, *а*.

Величина R_{Σ} зависит от типа антенны, ее размеров (по отношению к длине волны) и точки подключения питающего фидера. В общем случае сопротивление излучения имеет комплексный характер, т. е. кроме активной составляющей R_{Σ} имеет реактивную составляющую X_{Σ} .

Полное активное сопротивление антенны R_A состоит из сопротивления излучения R_{Σ} и сопротивления потерь R_{Π} :

$$R_A = R_{\Sigma} + R_{\Pi}.$$

Коэффициент полезного действия (к. п. д.) антенны — отношение излучаемой мощности $P_{\text{изл}}$ к подводимой мощности P :

$$\eta_A = \frac{P_{\text{изл}}}{P} = \frac{R_{\Sigma}}{R_{\Sigma} + R_{\Pi}}.$$

К. п. д. большинства типов передающих антенн близок к единице.

Диаграмма направленности антенны — зависимость напряженности поля в удаленной точке от направления. Обычно диаграмма направленности снимается в двух плоскостях — горизонтальной и вертикальной.

Для оценки направленности антенны в какой-либо плоскости пользуются понятием ширины диаграммы направленности — ширины основного лепестка, отсчитанной на уровне 0,7 максимальной напряженности поля в точке приема (или на уровне 0,5 максимально излучаемой мощности).

Коэффициент направленного действия (КНД) антенны D — число, показывающее, во сколько раз нужно увеличить мощность передатчика, чтобы в точке, лежащей на заданном удалении по направлению максимального излучения, получить такую же напряженность поля с помощью ненаправленной антенны. КНД однозначно определяется пространственной диаграммой направленности антенны.

Если известна ширина диаграммы направленности антенны в горизонтальной и вертикальной плоскостях, то КНД находят по следующей приближенной формуле:

$$D \approx \frac{41253}{\Phi_0 \Theta_0},$$

где Φ_0 (в градусах) — направленность антенны в горизонтальной плоскости; Θ_0 — направленность антенны в вертикальной плоскости.

Коэффициент усиления антенны по мощности G — произведение КНД на к. п. д. антенны — полностью характеризует выигрыш по мощности, который дает антенна по сравнению с ненаправленным идеальным излучателем (не имеющим потерь)

$$G = \eta_A D.$$

Частотная характеристика антенны и полоса пропускаемых частот характеризуют способность антенны работать в диапазоне частот. Частотная характеристика — зависимость тока, питающего антенну, от частоты, полоса пропускания — область частот, в которой ток не падает ниже уровня 0,7 от своего максимального значения.

§ 3. Основные параметры приемных антенн

Действующая высота h_d — величина, на которую нужно умножить напряженность электрического поля в точке приема, чтобы получить э. д. с., развиваемую антенной; h_d зависит от типа антенны и ее относительных размеров (по отношению к длине волны). Физически h_d равна высоте воображаемой антенны, обладающей одинаковой с реальной антенной способностью принимать радиоволны, но в которой ток по всей длине имеет постоянное значение, равное току в пучности реальной антенны $I_{A.п}$ (рис. IX. 1).

Понятием действующая высота удобно пользоваться при расчете одновибраторных антенн длиной не более $\lambda/4$.

Эффективная площадь антенны $A_{эфф}$ определяет величину мощности P (вт), извлекаемой антенной при нормальном падении на нее плоского волнового фронта с плотностью потока мощности p (вт/м²):

$$A_{эфф} = \frac{P}{p} \text{ (м}^2\text{)}.$$

Понятие эффективная площадь используется при расчете многовибраторных и других сложных антенн (это понятие может быть применено и к одновибраторной антенне).

Эффективная площадь антенны и КНД связаны следующей зависимостью:

$$D = 4\pi \frac{A_{\text{эфф}}}{\lambda^2},$$

где $A_{\text{эфф}}$ и λ^2 измеряются в одинаковых единицах, например м^2 .

Мощность сигнала на входе приемника, согласованного с антенной,

$$P_A = \frac{E_0^2}{120\pi} A_{\text{эфф}},$$

где E_0 — напряженность поля, в/м ; $A_{\text{эфф}}$ — эффективная площадь антенны, м^2 ; P_A — мощность в антенне, вт .

Диаграмма направленности — зависимость э. д. с. антенны от направления прихода волны. Ширина диаграммы направленности — угол, внутри которого э. д. с. антенны не падает ниже уровня 0,7 от своего максимального значения.

Коэффициент полезного действия η_A — отношение мощности, снимаемой с антенны, к мощности, получаемой антенной от электромагнитной волны.

Коэффициент направленного действия (КНД) антенны D — число, показывающее, во сколько раз мощность, снимаемая с антенны, превышает мощность, которую можно было бы получить в данной точке приема с помощью ненаправленной антенны, имеющей такой же к. п. д.

Величина КНД полностью определяется пространственной диаграммой направленности антенны.

Коэффициент усиления антенны по мощности G — число, показывающее, во сколько раз мощность, снимаемая с антенны, превышает мощность, которая могла бы быть снята в этих же условиях с ненаправленной антенны без потерь. Как и для передающей антенны,

$$G = \eta_A D.$$

Входное сопротивление антенны Z_A — сопротивление антенны на рабочей частоте в точках подключения. В общем случае Z_A (так же, как и сопротивление излучения передающей антенны) имеет как активную, так и реактивную составляющие.

Частотная характеристика антенны — зависимость входного сопротивления антенны от частоты.

Для антенн существует принцип взаимности, согласно которому одна и та же антенна при работе на передачу и прием обладает одинаковыми характеристиками (КНД, к. п. д., диаграмма направленности и т. д.). При этом предполагается, что сохраняется способ подключения к антенне.

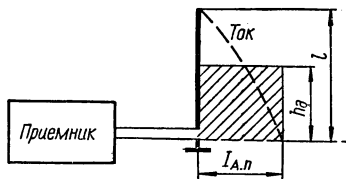
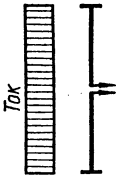
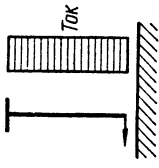
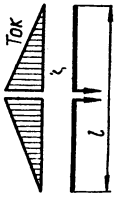
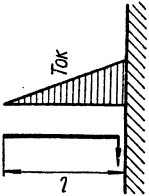
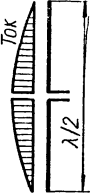
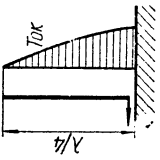
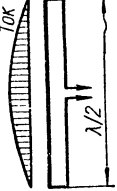


Рис. IX. 1. Действующая высота антенны.

Таблица IX.1

Формулы для расчета вибраторных антенн

Тип антенны	Распределение тока в антенне	Коэффициент направленного действия	Формулы для определения	
			действующей высоты	сопротивления, ом излучения, ом
Короткий симметричный вибратор ($l \ll \lambda/2$) с емкостями на концах		1,5	$h_D = l$	$R_{\Sigma} = 80\pi^2 \left(\frac{l}{\lambda}\right)^2$ $E = \frac{6,7 \sqrt{P}}{r}$
Короткий заземленный штырь ($l \ll \lambda/4$) с емкостью на конце		3	$h_D = l$	$R_{\Sigma} = 160\pi^2 \left(\frac{l}{\lambda}\right)^2$ $E = \frac{9,5 \sqrt{P}}{r}$
Короткий симметричный вибратор ($l \ll \lambda/2$) без емкостей		0,375	$h_D = 0,5l$	$R_{\Sigma} = 20\pi^2 \left(\frac{l}{\lambda}\right)^2$ $E = \frac{3,35 \sqrt{P}}{r}$

<p>Короткий заземленный штырь ($l < \lambda/4$) без емкости</p>		<p>0,75</p>	<p>$h_D = 0,5l$</p>	<p>$R_{\Sigma} = 10\pi^2 \left(\frac{l}{\lambda}\right)^2$</p>	<p>$E = \frac{4,75\sqrt{P}}{r}$</p>
<p>Полуволновой симметричный вибратор</p>		<p>1,64</p>	<p>$h_D = \lambda/\pi$</p>	<p>73,2</p>	<p>$E = \frac{7\sqrt{P}}{r}$</p>
<p>Четвертьволновой заземленный штырь</p>		<p>3,28</p>	<p>$h_D = \lambda/2\pi$</p>	<p>36,6</p>	<p>$E = \frac{10\sqrt{P}}{r}$</p>
<p>Полуволновой петлевой вибратор</p>		<p>1,64</p>	<p>$h_D = 2\lambda/\pi$</p>	<p>293</p>	<p>$E = \frac{7\sqrt{P}}{r}$</p>

• P — излучаемая мощность, *вт.* ** r — расстояние от антенны до измерителя напряженности поля, *км.*

§ 4. Вибраторные антенны

Основные данные простых вибраторных антенн приведены в табл. XI. 1.

Антенна типа «волновой канал» состоит из активного вибратора (2), рефлектора (1) и нескольких директоров (3). Максимум излучения (приема) такой антенны вдоль оси по направлению от активного вибратора к директорам.

Рекомендуемые размеры вибраторов и расстояний между ними приведены на рис. IX. 2. Окончательная подгонка размеров производится экспериментально. Для уменьшения габаритов можно исключить два передних директора. Увеличение количества директоров свыше трех малоэффективно.

Коэффициент направленного действия антенны типа «волновой канал» определяется по приближенной формуле

$$D \approx 5(n + 1),$$

где n — число директоров.

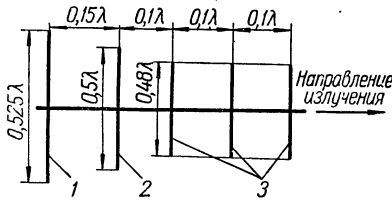


Рис. IX. 2. Антенна типа «волновой канал».

§ 5. Рамочные антенны

Рамочная антенна (рис. IX. 3) представляет собой плоскую катушку произвольного поперечного сечения.

Обычно общая длина провода рамочной антенны мала по сравнению с длиной волны

$$nl_w \ll \lambda,$$

где n — количество витков рамки; l_w — длина одного витка. Диаграмма направленности не зависит от формы сечения рамки и имеет вид, показанный на рис. IX. 4.

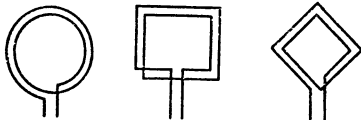


Рис. IX. 3. Варианты рамочных антенн.

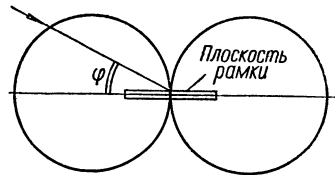


Рис. IX. 4. Диаграмма направленности рамочной антенны.

При работе на прием э. д. с., наводимая в рамке, равна

$$e = \frac{nSE}{\lambda} 2\pi \cos \varphi,$$

где e — э. д. с., наводимая в рамке; S — площадь рамки, m^2 ; λ — длина волны, m ; E — напряженность поля, v/m ; φ — угол между направлением приема и плоскостью рамки, $^\circ$.

Сопротивление излучения рамочной антенны

$$R_{\Sigma} \approx 31\,200 \left(\frac{nS}{\lambda^2} \right)^2 \text{ ом.}$$

Обычно R_{Σ} очень мало, а поэтому к. п. д. системы также мал.

Рамочная антенна, как правило, применяется только для приема.

§ 6. Приемные ферритовые антенны

Ферритовые антенны широко применяются в малогабаритных радио-приемных устройствах ДВ и СВ диапазонов, а также находят применение в диапазонах КВ и УКВ.

Ферритовая антенна состоит из ферритового стержня, на котором размещена антенная катушка. По принципу действия ферритовая антенна является магнитной, аналогично рамочной антенне.

Эффективность ферритовой антенны ДВ и СВ диапазонов сравнима с эффективностью штыревой антенны длиной 1—2 м.

Направленность ферритовой антенны соответствует направленности рамочной антенны.

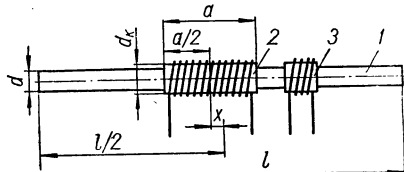


Рис. IX. 5. Ферритовая антенна.

Расчет и конструирование ферритовой антенны. Выбор марки феррита производится в соответствии с диапазоном частот:

$$\begin{aligned} \text{ДВ } \mu &= 1000 \div 2000; \\ \text{СВ } \mu &= 600 \div 1000; \\ \text{КВ } \mu &= 100 \div 400; \\ \text{УКВ } \mu &= 10 \div 50. \end{aligned}$$

Справочные данные по ферритовым стержням для антенн приведены в гл. I.

Антенная катушка. Каркас — из прессшпана на ДВ и СВ, из полистирола и фторопласта — на КВ и УКВ. Тип провода — одножильный или литцендрат (на СВ). Тип намотки — обычно однорядная сплошная (виток к витку). Следует стремиться к максимальной добротности антенной катушки, поскольку это определяет эффективность ферритовой антенны.

Напряжение на входном контуре

$$U_{\text{вх}} = Qe,$$

где e — э. д. с., наведенная в антенне; Q — добротность антенного контура.

Расчет ферритовой антенны (рис. IX. 5) состоит в определении количества витков антенной катушки. Требуемую индуктивность антенной катушки находят по формуле

$$L_k = \frac{2.53 \cdot 10^4}{f_{\text{max}}^2 C_{\text{min}}} \text{ мкГн,}$$

где f_{max} — максимальная частота диапазона, МГц; C_{min} — минимальная емкость контура, пф.

Для наиболее простой односекционной антенной катушки со сплошной намоткой количество витков

$$\omega = \sqrt{\frac{L_k}{L' d_k \mu_k}}$$

Коэффициент формы L' зависит от отношения длины катушки к ее диаметру. (рис. IX. 6).

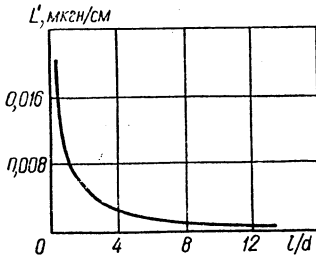


Рис. IX. 6. Зависимость коэффициента формы L' от отношения l/d .

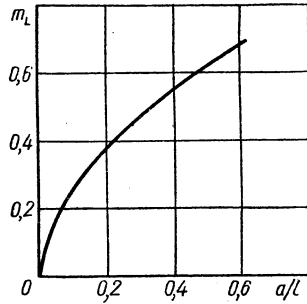


Рис. IX. 7. Зависимость коэффициента m_L от отношения a/l .

Коэффициент μ_k определяют как произведение четырех эмпирических коэффициентов:

$$\mu_k = \mu_c m_L \rho_L q_L,$$

где m_L определяется по графику, приведенному на рис. IX.7; ρ_L определяется по графику, приведенному на рис. IX.8; $q_L = \frac{d^2}{d_k^2}$; μ_c — действующая магнитная проницаемость ферритового стержня, зависящая от начальной магнитной проницаемости феррита μ_n и размеров стержня (рис. IX.9).

Для определения коэффициентов m_L , ρ_L и L' необходимо задаться прежде всего длиной катушки, которая определяется произведением диаметра провода на неизвестное количество витков. Поэтому расчет производится путем последовательных приближений.

Для облегчения расчета в табл. IX. 2 приведены типовые данные ферритовых антенн для диапазонов СВ и ДВ в приемниках с ламповым входом.

Таблица IX.2

Типовые данные ферритовых антенн в диапазоне средних и длинных волн

Диаметр сердечника d , мм	Количество витков, ω		Индуктивность L_k , мкГн	
	СВ	ДВ	СВ	ДВ
8	60—80	150—175	0,2—0,3	1,2—1,6
10	40—50	100—120		
15	25—30	70—80		

Таблица IX.3

Основные параметры промышленных образцов антенных катушек
и ферритовых сердечников

Рабочий диапазон частот, Мгц	Добротность Q, не менее	Частота f, Мгц	Индуктивность эталонной катушки с сердечником L _к , мкГн	Магнитная проницаемость μ_n	Размеры сердечников, мм			
					Стержни		Пластины	
					Диаметр	Длина	Сечение	Длина
0,0 — 0,35	120	0,35	4100 ± 20%	2000	8	60	—	—
					—	—	16 × 4	80
					8	100		100
					—	—	20 × 3	
0,15 — 1,6	120	1,5	350 ± 20%	600	8	60	—	—
						65	—	—
						80	16 × 4	80
						100		100
						—	—	20 × 3
—	150	—	—	400	—	—	20 × 3	115
					8	125	16 × 4	125
					—	—	20 × 3	
					8	140	—	—
						160	25 × 5	160
10	200	200						
4 — 12	100	12	5,2 ± 20%	200	8	125	—	—
						160	25 × 5	160
						10	200	—
6 — 18	140	18	2,2 ± 20%	100	8	125	—	—
						160	25 × 5	160
						10	200	—
18 — 30	100	30	0,9 ± 20%	50	8	160	—	—
						10	200	—
40 — 100	100	70	0,9 ± 20%	20	8	160	—	—
						10	200	—

Наряду с рассмотренным методом расчета антенной катушки часто пользуются более простым сравнительным методом расчета по известным параметрам «образцовых» катушек. В табл. IX. 3 приводятся основные параметры антенных катушек и ферритовых сердечников, выпускаемых отечественной промышленностью.

Данные добротности (см. табл. IX. 3) приведены только для образцовых катушек указанной индуктивности при однорядной намотке, выполненной многожильным проводом ЛЭШО $21 \times 0,07$ и расположенной в средней части сердечника.

При постоянной индуктивности катушки с диаметром $9,5$ мм и диаметре сердечника 8 мм (феррит с проницаемостью $\mu_n = 600$) количество витков образцовой катушки составляет 86, 81, 69 и 67 при длине

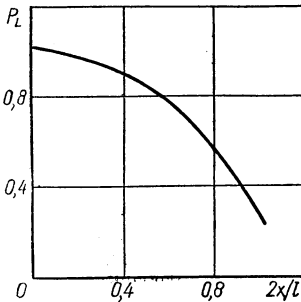


Рис. IX. 8. Зависимость коэффициента p_L от отношения $2x/l$.

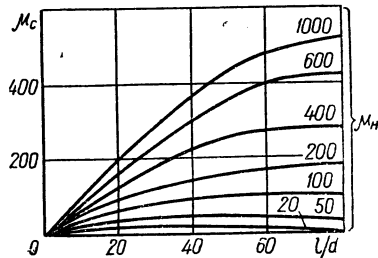


Рис. IX. 9. Зависимость μ_c от отношения l/d .

сердечника соответственно 65, 80, 140 и 160 мм. Эти данные позволяют определить требуемое количество витков антенной катушки при любой другой индуктивности.

Наиболее простой расчет количества витков может быть произведен для сердечников тех же конфигураций, что и в образцовых катушках. При этом индуктивность катушки

$$L = k\mu_c \omega^2 D^2,$$

где k — коэффициент пропорциональности; μ_c — действующая магнитная проницаемость стержня; ω — количество витков; D — диаметр стержня.

МАЛОГАБАРИТНЫЕ МАГНИТОФОНЫ

§ 1. Основные характеристики магнитофонов

Номинальная скорость ленты — скорость, установленная для магнитофонов определенного класса или типа. Фактическая скорость ленты может отличаться от номинальной. Если скорость ленты при воспроизведении отличается от скорости ленты при записи (например, при воспроизведении записей, сделанных на другом магнитофоне) более чем на 0,2%, то люди с музыкальным слухом определяют изменение тональности звучания.

Детонация — искажения, обусловленные непостоянством скорости движения носителя записи. При звукозаписи колебания скорости приводят к колебаниям высоты тона, которые воспринимаются на слух как «плавание», «дробление» звука (при частоте колебаний скорости менее 15—20 *гц*) или «хрипlosti» звучания (при более высоких частотах). Ухо особенно чувствительно к детонации с частотами 5—10 *гц*.

Величина детонации выражается коэффициентом детонации — пиковым значением относительного отклонения частоты записанного сигнала. Коэффициент детонации определяется с учетом слухового восприятия различных частот детонации.

Динамический диапазон магнитофона определяется наводками, шумами усилителей записи и воспроизведения, шумами носителя записи и копирэффектом. Динамический диапазон можно характеризовать относительным уровнем помех в канале записи—воспроизведение, т. е. отношением мощности помех на выходе канала к номинальной мощности сигнала.

Частотные искажения магнитофона зависят от частотной характеристики системы магнитной записи (системы магнитная головка—носитель записи—магнитная головка) и коррекции этой характеристики в усилителях магнитофона. Величина частотных искажений оценивается неравномерностью частотной характеристики канала записи—воспроизведение, т. е. отношением напряжений на выходе канала воспроизведения, соответствующих записи частот 1000 *гц* и крайней частоты рабочего диапазона, при постоянном напряжении на входе канала записи.

Нелинейные искажения магнитофона зависят от нелинейных искажений системы магнитной записи и нелинейных искажений в усилительном тракте. Степень нелинейных искажений выражают коэффициентом гармоник (см. § 1 гл. VI).

Номинальный уровень записи — величина остаточного магнитного потока ленты, при котором нелинейные искажения не превышают определенной величины. Величина остаточного магнитного потока выражается в пиковых значениях на 1 *м* или в пиковых значениях на 1 *мм* ширины дорожки записи.

Основные параметры монофонических бытовых магнитофонов

Параметры	Класс магнитофона					
	Е-ысший	I	II	III	IV-A	IV-B
Отклонение скорости ленты от номинального значения, не более: при скорости 19,05 см/сек и 9,53 см/сек, % → 4,76 см/сек, %	±2 ±3	±2 ±3	±2 ±3	±2 ±3	±2 ±3	±2 ±3
Коэффициент детонации, не более: для сетевых магнитофонов при скорости 19,05 см/сек, % → 9,53 см/сек, % → 4,76 см/сек, %	±0,1 ±0,2 ±0,3	±0,1 ±0,2 ±0,3	±0,2 ±0,3 ±0,4	— ±0,3 ±0,4	— — —	— — —
для батарейных магнитофонов при скорости 19,05 см/сек, % → 9,53 см/сек, % → 4,76 см/сек, %	— — —	— — —	±0,3 ±0,4 ±0,6	— ±0,4 ±0,6	— ±0,5 ±0,7	— — ±0,5
Номер катушки типа I по ГОСТу 7704—61 для сетевых магнитофонов → батарейных	18 —	18 —	15 13	15 13	— 10	— 7,5
Длительность перемотки полной катушки (для ленты толщиной 55 мкм): для сетевых магнитофонов, сек → батарейных	120 —	120 180	150 180	150 180	— 180	— 180
Номинальная выходная мощность, не менее: для сетевых магнитофонов, вт → батарейных	4 —	2 —	2 1	1 0,5	— 0,3	— 0,3

Диапазон воспроизводимых частот, не менее: при скорости ленты 19,05 см/сек, гц → → → 9,53 см/сек, гц → → → 4,76 см/сек, гц	40—16000	40—16000	40—12500	63—12500	80—8000	—
	40—12500	63—12500	63—6300	63—6300	80—5000	от 80
	40—6300	63—6300				80—6300
Относительный уровень помех в канале воспроизведения, не хуже: в магнитофонах с двумя дорожками на ленте, дб → в магнитофонах с четырьмя дорожками на ленте, дб	—50	—50	—45	—42	—40	—40
	—45	—45	—40	—37	—35	—
Относительный уровень помех в канале записи — воспроизведение, не хуже: в магнитофонах с двумя дорожками на ленте, дб → в магнитофонах с четырьмя дорожками на ленте, дб	—45	—45	—42	—40	—38	—38
	—42	—42	—40	—37	—35	—35
Коэффициент гармонических искажений в канале записи — воспроизведение на частоте 400 гц, не более: на линейном выходе, % → на эквивалентном сопротивлении громкоговорителей, %	3,5	3,5	4	4	5	5
	5	5	5	5	5	5
Диапазон регулировки уровня записи и воспроизведения, не менее: в сетевых магнитофонах, дб → батарейных , дб	60	50	50	40	40	40
	—	—	—	30	30	30
Частота тока подмагничивания, не менее, кгц	75	75	60	50	40	40
Вес переносных магнитофонов, не более: сетевых, кг батарейных, кг	20	16	12	10	3,5	3,5
	—	—	7	5	—	—
Диапазон регулировки тембра, не менее: по низким частотам, дб → высоким , дб	От +12 до —10	От +12 до —10	—	—	—	—
	От +12 до —10	От +12 до —10	—10	—10	—10	—10

Требования, предъявляемые к бытовым магнитофонам, установлены ГОСТом 12392—66. Этот стандарт относится к магнитофонам, работающим с магнитной лентой шириной 6,25 мм, и не распространяется на магнитофоны объемом менее 0,5 дм³, а также на диктофоны. Основные требования стандарта приведены в табл. X.1.

Для магнитофонов высшего и I классов обязательно наличие трех скоростей движения ленты (19,05; 9,53 и 4,76 см/сек); для магнитофонов II класса — двух скоростей (19,05 и 9,53 см/сек или 9,53 и 4,76 см/сек); для магнитофонов классов III и IV-A — одной скорости (9,53 см/сек) и для класса IV-B — 4,76 см/сек.

Относительный уровень стирания на частоте 1000 гц не хуже —65 дб для сетевых магнитофонов и не хуже — 60 дб для батарейных.

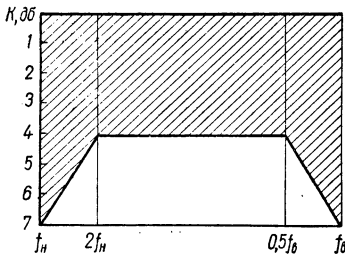
Номинальное напряжение микрофонного входа соответствует напряжению, создаваемому микрофоном, на работу с которым рассчитан

данный магнитофон, при звуковом давлении 0,2 н/м² на частоте 400 гц.

Номинальное напряжение входа, предназначенного для записи от радиоприемника, — 0,4 мв на 1 ком полного электрического сопротивления на частоте 400 гц. Полное электрическое сопротивление входа в рабочем диапазоне частот магнитофона не менее 25 ком.

Номинальное напряжение входа для записи от звукоусилителя 250 мв. Сопротивление входа не менее 0,5 Мом. При изменении входного напряжения в пределах от 150 до 500 мв должны обеспечиваться все параметры магнитофона.

Рис. X. 1. Поля допусков частотной характеристики магнитофона.



Номинальное напряжение входа для записи от радиотрансляционной линии 15 в; пределы изменения напряжения от 5 до 30 в. Сопротивление входа не менее 10 ком.

Номинальное напряжение линейного выхода 250 мв; пределы изменения напряжения от 250 до 500 мв. Полное сопротивление выхода не более 10 ком.

Номинальный уровень записи для магнитофонов всех классов должен соответствовать магнитному потоку ленты 256 нвб на 1 м ширины дорожки записи (25,6 ммкс на 1 мм) на частоте 400 гц.

Показания индикатора уровня записи при номинальном уровне должны соответствовать потоку ленты 256 нвб на 1 м ширины дорожки записи с отклонением не более ± 2 дб. Постоянная времени индикатора уровня должна находиться в пределах от 150 до 350 мсек (номинальное значение 250 мсек), время обратного хода индикатора в пределах от 0,5 до 1,5 сек (номинальное значение 1,5 сек). Частотная характеристика индикатора по току записи должна быть равномерной (допустимые отклонения ± 3 дб).

Поля допусков неравномерностей частотной характеристики канала воспроизведения по измерительной ленте и частотной характеристики канала записи — воспроизведение на линейном выходе магнитофона показаны на рис. X.1.

Запись и воспроизведение в четырехдорожечных магнитофонах производится в следующем порядке номеров дорожек: 1, 4, 3, 2 (при монофонической записи и монофоническом воспроизведении).

Для магнитофонов отдельных классов предусмотрены вспомогательные устройства и дополнительные функции (табл. X.2).

Таблица X.2

Вспомогательные устройства и дополнительные функции монофонических магнитофонов

Наименование устройства или функции	Класс магнитофона *				
	Высший	I	II	III	IV
Контроль записываемого сигнала в режиме «запись»:					
а) контроль уровня записи при помощи электронно-оптического или стрелочного индикатора	О	О	О	О	О
б) прослушивание на громкоговорителе с возможностью регулирования громкости	О	О	О	Н	Н
в) возможность прослушивания на телефон	О	О	О	О	Н
Контроль уровня записи по индикатору при неподвижной ленте	О	О	О	О	О
Отключение громкоговорителей при любом режиме работы магнитофона	О	О	О	О	О
Переключатель входов и отдельные внешние соединения для каждого входа **	О	О	О	Н	Н
Микшерское устройство для одновременной записи с нескольких входов	О	Н	Н	Н	Н
Клавишное или кнопочное управление основными функциями (запись, воспроизведение, остановка)	О	О	Н	Н	Н
Устройство для временной остановки ленты	О	О	О	Н	Н
Дистанционный пуск и остановка	О	О	Н	Н	Н
Счетчик ленты	О	О	О	Н	Н
Авгостоп при обрыве ленты	О	О	Н	Н	Н
Устройство для очистки ленты от пыли	О	О	Н	Н	Н
Раздельные регуляторы уровней записи и воспроизведения	О	О	Н	Н	Н

* «О» — обязательно; «Н» — необязательно. ** Для магнитофонов с питанием от автономных источников и с универсальным питанием данное требование обязательно.

В бытовых магнитофонах могут использоваться катушки типа I по ГОСТу 7704—61. Лента наматывается рабочим слоем внутрь рулона. Катушки при записи и воспроизведении должны вращаться против часовой стрелки. Диаметр шпинделей для посадки катушек 8 мм (с допуском от $-0,05$ до $-0,15$ мм).

Напряжение питания сетевых магнитофонов 127 в и 220 в с отклонениями $\pm 10\%$.

Продолжительность работы магнитофона от автономного источника питания (один комплект или одна зарядка) не менее 10 ч.

§ 2. Магнитные носители записи

В настоящее время в качестве носителей записи используются стальная проволока, покрытая слоем кобальта или никеля, и магнитные ленты с основой из ацетилцеллюлозы, полиэфирной смолы или поливи-

нилхлорида, покрытые ферромагнитным слоем. Чаще всего применяются магнитные ленты, так как они обеспечивают более высокое качество записи, но в тех случаях, когда требуется большая длительность записи (до нескольких часов), например для стенографии, записи телефонных переговоров, докладов и др., применяется стальная проволока.

Механические свойства магнитных лент в значительной степени определяют их качество и возможность применения.

Ширина ленты определяет емкость записи. Чем больше ширина ленты, тем больше дорожек может быть на ней записано. В Советском Союзе согласно ГОСТу 8303—62 установлена ширина неперфорированных лент 6,25 (с допуском $\pm 0,05$); 12,7; 19,05; 25,4; 35; 50,8 и 70 (с допуском — 0,1) мм и перфорированных — 16; 17,5; 32; 35 и 70 мм. Перфорированные ленты применяются в кинематографии для синхронной записи.

Ширина ленты должна быть постоянной по всей длине, чтобы не возникали поперечные перемещения ее во время движения возле головок, приводящие к паразитной амплитудной модуляции и уменьшению амплитуды сигнала при воспроизведении высоких частот.

Толщина ленты определяет ее прочность и срок службы. Для лент шириной 6,25 мм согласно ГОСТу 8303—62 установлена толщина 18; 27; 37 и 55 мк, а для остальных неперфорированных лент — 37 и 55 мк.

Толщина ферромагнитного слоя ленты определяет ее электромагнитные показатели. При увеличении толщины ферромагнитного слоя пропорционально возрастает остаточный магнитный поток и, следовательно, чувствительность ленты, но при этом ухудшается частотная характеристика. У лент, обеспечивающих нормальную длительность звучания, толщина рабочего слоя составляет 10—20, у долгоиграющих — 8—14 и сверхдолгоиграющих — 9—16 мк.

Качество поверхности магнитной ленты определяет уровень шумов при записи и воспроизведении, а также интенсивность износа магнитных головок. Для улучшения поверхности магнитных лент их рекомендуется полировать.

Прочность ленты характеризуется нагрузкой, разрывающей ленту, и равна 2,0—4,4 для обычных и 1,5—3 кг — для долгоиграющих лент.

Растяжение ленты, характеризующееся относительным удлинением при определенной нагрузке (обычно 1 кг), для обычных лент не превышает 1,5, а для долгоиграющих — 2,2%.

Жесткость ленты определяет ее способность плавно огибать поверхность магнитных головок у щелей, что необходимо при записи и воспроизведении высоких частот.

Механические свойства магнитных лент в значительной степени зависят от температуры и влажности окружающей среды.

Электроакустические характеристики магнитных лент. *Чувствительность магнитной ленты* характеризуется ее отдачей, т. е. внешним остаточным магнитным потоком, соответствующим определенному значению напряженности магнитного поля при записи. Обычно измеряют относительную чувствительность, представляющую собой отношение чувствительности данной ленты к чувствительности типовой ленты. Типовая лента 2ТП выпускается по техническим условиям ТУ—79 № 220/62.

Чувствительность ленты сильно зависит от напряженности поля подмагничивания высокой частоты и максимальна при определенном ее значении.

Относительная частотная характеристика ленты — зависимость ее относительной чувствительности от частоты сигнала. Относительную

частотную характеристику измеряют в канале, откорректированном по измерительной и типовой лентам. На испытуемой ленте производят запись сигналов с частотой 400 и 10 000 *гц* (при скорости 9,53 *см/сек*) при одинаковом входном напряжении усилителя записи. О результате судят по отношению напряжений, измеренных на выходе усилителя при воспроизведении сделанных записей. Ток подмагничивания должен соответствовать максимуму отдачи на частоте 400 *гц* для испытуемой ленты.

Относительный уровень шумов ленты — отношение номинального остаточного полезного магнитного потока, т. е. остаточного потока, при котором нелинейные искажения не превышают допустимой величины, к потоку шума. Номинальный полезный остаточный поток для ленты типа 2 равен 256 *пвб* на 1 *мм* ширины дорожки записи.

Относительный уровень стирания (размагничивания) ленты — отношение номинального остаточного потока записанного сигнала к остаточному магнитному потоку после стирания.

Относительный уровень копирэффекта* — отношение магнитного потока скопированного сигнала к магнитному потоку записанного сигнала.

Нелинейные искажения, вносимые магнитной лентой, оцениваются отношением амплитуды номинального остаточного потока к амплитуде третьей гармоники этого потока.

Т а б л и ц а X.3

Основные характеристики магнитных лент *

Наименование характеристики	Нормы по типам лент			
	Тип 2	Тип 6	Тип 9	Тип 10
Средняя относительная чувствительность, <i>дб</i>	0±1,5	+5±1,5	+5±1,5	+5±1,5
Неравномерность чувствительности в пределах рулона (не более), <i>дб</i>	±1,5	±1,5	±1,5	±1,5
Коэффициент нелинейных искажений (не более), %	2,5	2	2,5	2,5
Относительная частотная характеристика, <i>дб</i>	0±2	+5±1,5	+10±2	+12±2
Относительный уровень копирэффекта (не более), <i>дб</i>	-49	-52	-48	-48
Относительный уровень стирания (не более), <i>дб</i>	-72	-70	-70	-70
Усиление разрыва, <i>кГ</i>	2,35	2,35	1,7	1,5
Относительное удлинение под нагрузкой 1 <i>кГ</i> (не более), %	1,5	1,5	2	1,5
Коробление (не более), <i>мм</i>	0,2	0,2	0,3	0,2
Сабельность (не более), <i>мм/м</i>	10	10	10	10
Толщина, <i>мкм</i>	50-55	50-55	34-37	34-37
» рабочего слоя, <i>мкм</i>	15	15	10-12	10-12

* Все испытания проводят в помещении при температуре 20±3° С и относительной влажности 60±5%. Параметры ленты типа 2 сильно ухудшаются при температуре выше 30° С.

Магнитные ленты для бытовых магнитофонов. Отечественная промышленность выпускает для бытовых магнитофонов магнитную ленту шириной 6,25 ± 0,05 *мм* типов 2; 6; 9; 10. Основные характеристики этих лент приведены в табл. X. 3. Лента типа 2 предназначена для маг-

* Копирэффект состоит в том, что витки ленты с записью, соприкасаясь в рулоне, взаимно намагничиваются.

питофонов со скоростями 38,1 и 19,05 см/сек; типа 6 — для магнитофонов со скоростями 38,1; 19,05; 9,53 и 4,76 см/сек и типов 9 и 10 — для магнитофонов со скоростями 19,05; 9,53; 4,76 см/сек.

Магнитную ленту выпускают намотанной на пластмассовые катушки типа I в соответствии с ГОСТом 13275—67. Катушки типа I изготавливают пяти размеров. Каждому размеру присвоен номер, выражающий округленное значение наружного диаметра катушки в сантиметрах.

На нерабочей стороне ленты (на основе) через определенные интервалы проставляют марку завода-изготовителя, тип ленты и шестизначное число, первые две цифры которого обозначают год выпуска, а остальные — номер полива. Все ленты одного полива практически одинаковы по своим качественным показателям.

При использовании ленты определенного типа в магнитофоне, настроенном на ленту другого типа, изменится уровень записи и частотная характеристика сквозного канала запись—воспроизведение. Могут возникнуть нелинейные искажения.

Измерительные ленты (тест-фильмы) содержат специальные записи и предназначены для проверки качественных показателей магнитофонов. Они изготавливаются для различных скоростей движения.

Измерительная лента каждого типа состоит из четырех частей. Часть с индексом «У» содержит запись так называемого установочного уровня и предназначена для измерения усиления канала воспроизведения. Установочный уровень для лент типа РТ-19 и РТ-9 соответствует эффективному значению остаточного магнитного потока 0,08 мкс. Частота записи установочного уровня для ленты типа РТ-19 — 400 гц, для ленты типа РТ-9 — 200 гц.

Часть с индексом «Ч» предназначена для проверки положения рабочих щелей головок по отношению к направлению движения ленты и для измерения частотной характеристики канала воспроизведения. Эта часть содержит запись таких частот: 30, 60, 125, 250, 400, 1000, 2000, 4000, 6000, 8000, 10 000, 12 000 гц. Уровень записи отдельных частот подобран с таким расчетом, чтобы при воспроизведении измерительной ленты в стандартном канале воспроизведения обеспечивалось постоянство выходного напряжения.

Часть с индексом «Д», содержащая запись частоты 3000 гц, выполненную на специальном магнитофоне, предназначена для измерения коэффициента детонации.

Часть с индексом «С», предназначенная для измерения частотных характеристик сквозного канала запись—воспроизведение магнитофона, содержит так называемую типовую ленту с электромагнитными показателями, средними для ленты данного типа.

Размагничивание ленты (стирание записи) производится стирающей головкой в процессе записи либо специальным электромагнитом, питающимся от сети переменного тока, перед записью. Второй способ часто используется для размагничивания ленты, предназначенной для записи на магнитофонах с питанием от батарей.

Эффективность размагничивания зависит от конструкции стирающей головки и типа ленты, условий и длительности ее хранения после записи. Непосредственно после записи лента размагничивается лучше, чем по прошествии некоторого времени. При повторном размагничивании ослабляется уровень только старой записи.

Хранение ленты. Ленты рекомендуется хранить в сухом помещении при температуре 10—20° С. В случае длительного пребывания при температуре выше 30° С основа ленты высыхает, становится хрупкой и рвется. При воздействии влаги лента коробится.

Ленту с записью следует предохранять от воздействия сильных магнитных полей; нельзя укладывать ее на трансформаторы и электродвигатели, находящиеся под током, на динамические микрофоны и громкоговорители.

Склеивают ленты типов 2,6 и 9 специальным клеем, состоящим из уксусной кислоты (23 см³), ацетона (64 см³) и бутилацетата (13 см³). Ленты всех типов можно склеивать при помощи специальной липкой ленты типа ЛТ-40, накладываемой на нерабочую сторону. Концы ленты перед склейкой следует обрезать под углом 45° хорошо разогнутыми ножницами. При использовании липкой ленты концы магнитной ленты складывают в стык. Для защиты концов магнитной ленты от повреждений к ним подклеивают ракорд (цветную немагнитную ленту), изготовленный из диэтилцеллюлозы.

§ 3. Блок-схемы магнитофонов

Малогобаритные магнитофоны обычно собираются по схеме, приведенной на рис. X. 2. Здесь использован один универсальный усилитель УУ для записи и воспроизведения. Источники записываемых сигналов — микрофон М, звукосниматель Зв и линия Л (трансляционная или с выхода радиоприемника) — при записи подключаются на вход делителей напряжения Д или непосредственно на вход усилителя. С помощью делителей напряжения сигналы, поступающие от источников, приводятся к одному уровню (обычно к уровню микрофона).

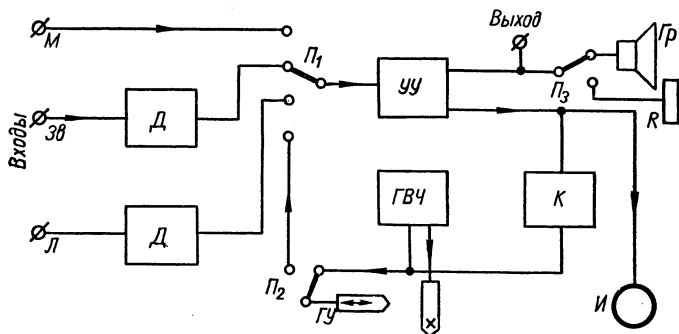


Рис. X. 2. Блок-схема магнитофона с универсальной головкой.

Усилитель имеет два выхода, из которых один предназначен для подключения громкоговорителя Гр, а другой — для подключения магнитной головки. В режиме записи ко второму выходу через корректирующую цепь К подсоединяется универсальная (записывающая и воспроизводящая) головка ГУ. Одновременно при записи включается питание генератора высокой частоты ГВЧ, создающего стирающий и подмагничивающий ток. В портативных магнитофонах для уменьшения потребления тока от источника питания ГВЧ используют только для подмагничивания ленты. Стирание записей производится на другом магнитофоне или с помощью размагничивающего дросселя.

При записи от звукоснимателя или линии записываемый сигнал контролируется громкоговорителем. При записи от микрофона для

устранения микрофонного эффекта громкоговоритель выключают. Вместо него к выходу усилителя подключается эквивалент R . В этом случае можно вести контроль с помощью телефонов, включаемых в гнездо «Выход».

Уровень записи контролируется индикатором I , откалиброванным таким образом, что при его максимальном показании и магнитной ленте среднего качества (типовой) обеспечивается максимально допустимая намагниченность.

Во всех других режимах работы, кроме записи, схема переключается на воспроизведение переключателем рода работы на лентопротяжном механизме. Генератор $ГВЧ$ выключается, на вход усилителя

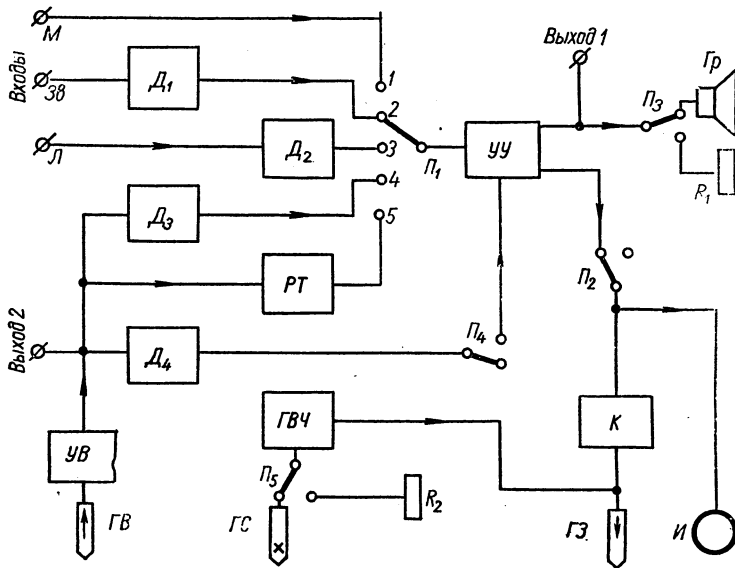


Рис. X. 3. Блок-схема магнитофона с отдельными головками для записи и воспроизведения:

1, 2, 3, 4 и 5 — положения переключателя.

через переключатель $П_2$ подсоединяется головка $ГУ$, а на выход — громкоговоритель $Гр$. Это предохраняет запись от случайного стирания во время воспроизведения или при перемотке ленты. В некоторых магнитофонах при переходе с записи на воспроизведение включаются необходимые корректирующие цепи.

Регулятор усиления в $УУ$ при записи используется для регулировки уровня записи, а при воспроизведении — для регулировки громкости. Регуляторы тембра (если они имеются) при записи выключаются.

В некоторых малогабаритных магнитофонах с целью упрощения коммутации при переходе с записи на воспроизведение применяются отдельные головки для записи и воспроизведения. Один из вариантов блок-схем такого магнитофона приведен на рис. X. 3. Следует отметить, что, хотя эта схема несколько сложнее схемы, приведенной на рис. X. 2, она создает некоторые эксплуатационные удобства. Частотная коррекция сигналов, поступающих с $ГВ$, осуществляется только в отдельном

усилителе воспроизведения $УВ$ с небольшим коэффициентом усиления, а частотная коррекция сигналов при записи — в специальной корректирующей цепи $К$. Частотная характеристика универсального усилителя $УУ$ практически параллельна оси частот и не регулируется как при записи, так и при воспроизведении, что также упрощает коммутацию при переходе с записи на воспроизведение.

В положениях 1, 2, 3 переключателя рода работы $П_1$ производится запись сигналов, поступающих от источников, а в положениях 4 и 5 — воспроизведение. Переключатель $П_2$ замыкается при нажатии на кнопку «Запись» на лентопротяжном механизме. При этом включается также питание $ГВЧ$.

В положении 5 переключателя $П_1$ включается регулятор тембра, а в положении 4 — делитель напряжения $Д_3$, ослабляющий сигнал так же, как и регулятор тембра $РТ$ на средних частотах. В положение 4 переключатель $П_1$ ставится при воспроизведении через внешнюю высококачественную акустическую систему, имеющую свой регулятор тембра, и при налаживании магнитофона.

К гнезду «Выход 1» подключается внешний громкоговоритель, усилитель, контрольные телефоны и измерительная аппаратура. Гнездо «Выход 2», которое является выходом сквозного канала во время записи, позволяет с помощью дополнительного усилителя вести слуховой контроль. Сюда же следует подключать измерительные приборы при снятии частотной характеристики, выборе подмагничивающего тока, установке правильного положения записывающей и воспроизводящей головок.

Сквозной канал позволяет создавать искусственную реверберацию. Если во время записи замкнуть переключатель $П_4$, напряжение с выхода усилителя воспроизведения через делитель $Д_4$ попадет в канал записи. Образуются многократная запись с временным сдвигом, создающая имитацию серии отраженных от стен помещения звуков (эхо-сигналов). Делителем $Д_4$, включенным между выходом усилителя $УВ$ и переключателем $П_4$, можно регулировать скорость затухания искусственных эхо-сигналов. Для получения эффектной искусственной реверберации расстояние между записывающей и воспроизводящей головками, а также скорость движения ленты нужно выбирать так, чтобы эхо-сигналы следовали один за другим не чаще чем через каждые 0,1 сек.

Если во время записи отключить стирающую головку переключателем $П_5$, старая запись стирается лишь частично за счет подмагничивающего поля записывающей головки, и новая фонограмма записывается на фоне ослабленной старой. При отключении стирающей головки генератор $ГВЧ$ нагружается на эквивалентное сопротивление R_2 .

Иногда в малогабаритных магнитофонах каналы записи и воспроизведения полностью разделяют (магнитофон «Репортер»). Блок-схема такого магнитофона приведена на рис. X. 4. Достоинством схемы является возможность создавать сквозной канал запись — воспроизведение при записи, что позволяет контролировать качество записи и создает удобства при наладке магнитофона.

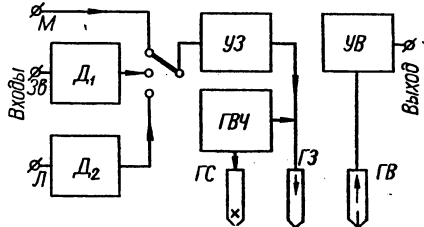


Рис. X. 4. Блок-схема магнитофона с отдельными каналами записи и воспроизведения.

§ 4. Лентопротяжные механизмы

Требования, предъявляемые к лентопротяжным механизмам. При записи и воспроизведении механизм должен перемещать ленту по рабочей поверхности магнитных головок с постоянной заданной скоростью, ограничивать перемещение ленты по высоте, натягивать ее у магнитных головок и подматывать на приемную катушку. При перемотке механизм должен наматывать ленту на катушку с большей скоростью, чем при записи и воспроизведении, отводить ее от магнитных головок и натягивать. Во время работы магнитофона не должна создаваться механическая перегрузка для ленты. При торможении лента должна останавливаться без образования петли. Конструкция механизма должна обеспечивать удобство пользования им.

Отклонение средней скорости от номинального значения, а также периодические и непериодические колебания скорости с частотой более 0,1 *ц* не должны превышать значений, приведенных в табл. X. 1.

Ограничение перемещения ленты по высоте необходимо для того, чтобы у всех магнитофонов было одинаковое относительное расположение ленты и сердечников магнитных головок по высоте. Это особенно важно при двух- и четырехдорожечной записи, поскольку в этом случае при смещении ленты возможна запись или воспроизведение на двух соседних дорожках одновременно.

Натяжение магнитной ленты у магнитных головок обеспечивает равномерное и плотное прилегание ее к рабочей поверхности головок, что необходимо для нормального взаимодействия магнитных головок и ленты. Натяжение ленты должно быть по возможности постоянным на протяжении всего рулона. Лента, прошедшая через магнитные головки, должна наматываться на приемную катушку с некоторым натяжением, что способствует получению плотного рулона на приемной катушке и исключает возможность появления петли. Натяжение ленты при подмотке на приемную катушку выбирается примерно равным натяжению ее у магнитных головок, которое должно быть не менее 100 Г для обычных лент и не менее 50 Г — для долгоиграющих.

При работе лентопротяжного механизма лента может испытывать повышенную механическую нагрузку (особенно во время пуска и остановки), которая не должна превышать 1 кг. В противном случае возможна деформация ленты или обрыв.

Кинематические схемы лентопротяжных механизмов. Лентопротяжный механизм магнитофона должен содержать три основных узла: узел, обеспечивающий продвижение ленты с постоянной скоростью при записи и воспроизведении (узел ведущего вала); приемный узел, осуществляющий подмотку ленты и ее перемотку вправо; подающий узел, с помощью которого лента подается к магнитным головкам и перематывается влево. Эти узлы приводятся в движение электродвигателями. В малогабаритных переносных магнитофонах с автономным питанием, как правило, используется только один электродвигатель.

Кинематические схемы лентопротяжных механизмов с одним электродвигателем показаны на рис. X. 5. В схеме, представленной на рис. X. 5, а, вращение электродвигателя передается к подающему и приемному узлам через обрезиненные ролики либо непосредственно шкивом электродвигателя. Для получения двух скоростей движения ленты на валу электродвигателя укрепляется двухступенчатый шкив.

При записи и воспроизведении вращение электродвигателя передается через обрезиненный ролик переключателя скорости 12 маховику ведущего вала 7 и от маховика пасиком — к приемному узлу 4. Лента протягивается ведущим валом 6 и прижимным роликом 8. Подматывает

ленту приемный узел 4, а натягивет ее у головок подающий узел 1. К рабочим поверхностям головок 9 и 11 ленту прижимает специальный рычаг 10.

Для перемотки ленты вправо приемный узел, укрепленный на рычаге переключателя рода работы лентопротяжного механизма, смещается рычагом до полного соединения через обрезиненный ролик перемотки 3 со шкивом электродвигателя 2. Натягивает ленту при этом подающий узел.

Для перемотки ленты влево подающий узел, также укрепленный на рычаге переключателя рода работы, смещается рычагом до сцепления со шкивом электродвигателя. Ленту натягивает приемный узел. При перемотке лента отводится от головок направляющими стойками 5, которые укреплены на рычаге переключателя рода работы.

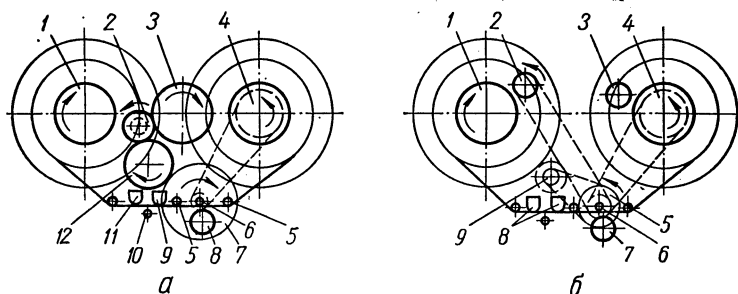


Рис. X. 5. Кинематические схемы лентопротяжных механизмов с одним двигателем.

При остановке и переходе механизма с одного режима работы на другой движение ленты тормозится подающим и приемным узлами при помощи специальных рычагов с фетровыми накладками.

Лентопротяжный механизм управляется кулачковым переключателем рода работы, связанным с узлами механизма тягами и рычагами управления.

В схеме, изображенной на рис. X. 5, б, вращение от двигателя 9 через пасик передается на маховик 5 и ведущий вал 6. На ведущем валу укреплен шкив, который пасиками связан со шкивом приемного узла 4 и обрезиненным роликом 2 перемотки влево.

В положении «Стоп» подающий 1 и приемный 4 узлы заторможены с помощью специальных пружинных рычагов с фетровыми накладками. При воспроизведении и записи ролик 7 прижимается к ведущему валу 6, а лента — к головкам 8. Подающий и приемный узлы растормаживаются, а необходимое натяжение ленты у головок осуществляется путем некоторого подтормаживания подающего узла специальным рычагом с фетровой накладкой.

При обратной перемотке подающий и приемный узлы растормаживаются, а ролик 2 прижимается к барабану подающего узла. Натяжение ленты обеспечивается подтормаживанием приемного узла фрикционным, вращающимся в обратную сторону. При ускоренной перемотке вперед ролик 3 прижимается к барабану и фрикциону приемного узла. Благодаря этому вращение барабана передается фрикциону, жестко связанному с катушкой приемного узла. Подающий узел подторма-

живается тем же рычагом, что и в режиме записи или воспроизведения.

Электродвигатели для магнитофонов с автономным источником питания. В магнитофонах с автономным источником питания применяют коллекторные электродвигатели постоянного тока с центробежными регуляторами оборотов. Регулятор оборотов имеет контакты, которые в зависимости от скорости вращения ротора то замыкаются, то размыкаются. Если скорость вращения ротора превысит заданную, то контактами регулятора в цепь якоря включается дополнительное сопротивление. Чтобы уменьшить ток, проходящий через контакты, и тем самым облегчить их работу, используют электронные схемы на транзисторах (рис. X. 6). Контакты регулятора включаются в цепь базы транзистора; в результате переключаемый ток уменьшается в β раз по сравнению с током якоря электродвигателя.

На рис. X. 6, а приведена схема включения двигателя типа 4ДКС-8. По той же схеме можно включать двигатели других типов с центробежными регуляторами. Сопротивление резистора, отмеченное звездочкой, следует подбирать при регулировке. На рис. X. 6, б приведена более

Таблица X.4

Основные данные двигателей постоянного тока для магнитофонов

Тип	Напряжение питания, в	Номинальная скорость вращения, об/мин	Мощность на валу, вт	Потребляемая мощность, вт	Пусковой момент, Г·см	Размеры корпуса, мм		Размеры выступающей части вала, мм		Вес, г	Примечание		
						Диаметр	Длина	Диаметр	Длина				
Д-0,3	1,5	3000	—	2,25	8	23,5	40,5	—	—	—	5		
ДКС-0,5	12—16	2000	0,5	1,25	25	40	65	2,0	—	260	1		
ДКС-8	12—16	2000	0,4	0,9	19	40	64	2,0	—	250	1		
ДКС-16	9—15	2000	0,8	—	—	39	64	—	—	—	1		
2ДКС-7	5—7,5	2000	0,13	0,6	19	30	48	1,5	7	80	1		
4ДКС-8	12—16	2000	0,8	1,75	39	40	65	2,0	—	270	1		
ДПМ-20	12/6	9000	1,0	4,2	10	20	40	2,0	8	65	2		
		7500	0,9	4,0	13								
		6000	0,85	3,7	15								
		4500	0,7	3,0	16								
ДПМ-25	12/6	9000	1,72	6,6	25	25	46	2,0	10	120	2		
		7500	1,7	6,5	30								
		6000	1,62	6,25	35								
		4500	1,4	5,4	40								
ДПМ-30	12/6	2500	1,1	4,2	50	30	57	3,0	12	220	2		
		9000	5,6	12,0	55								
		7500	5,0	10,8	70								
		6000	4,5	9,6	75								
ДРВ-0,1	6—9	1600	—	—	25	40	54	3,0	18	185	3		
		МГ85-706	4,5	2000	0,24	2,1	12	36	35	1,5	8	—	4
		ПДО, 75-1,7	27	3500	1,7	4,0	—	30	72	2,8	11	140	6
		ПДО, 75-3	27	4500	3,0	8,1	—	30	72	—	—	140	6
ПДО, 75-5	27	6600	5,0	12	—	30	72	—	—	—	140	6	
		9000	8,0	19	—	30	72	—	—	—	140	6	

Примечание: 1. Применяется в профессиональных репортажных магнитофонах. 2. Исполнительный двигатель для устройств автоматики, может быть использован в любительских магнитофонах. 3. Предназначен для переносных электропроигрывателей. 4. Предназначен для самоходных игрушек и может быть использован в карманных магнитофонах для записи речи. 5. Предназначен для электробритвы «Уиро». 6. Может работать при напряжении питания 9—12 в.

совершенная схема. В режимах записи и воспроизведения двигатель включается контактами Π_1 . При чрезмерном повышении скорости размыкаются контакты Π_3 и Π_4 , вследствие чего резко возрастает сопротивление транзистора, включенного в цепь двигателя. При этом ток двигателя протекает через резистор R_1 и лампочку L_1 (типа КМ-2 для дви-

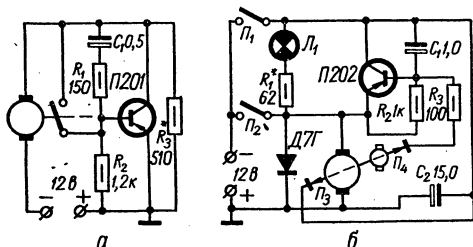


Рис. X. 6. Схемы включения электродвигателей в магнитофонах.

гателей типа ДКС). В режиме перемотки двигатель включается контактами Π_2 , а регулятор скорости не работает. Дiod и конденсаторы предназначены для подавления помех, возникающих при работе регулятора.

Основные данные электродвигателей постоянного тока, применяемых в малогабаритных магнитофонах с автономным питанием, приведены в табл. X. 4.

§ 5. Магнитные головки

Конструкция головок. В настоящее время применяются магнитные головки кольцевой системы (рис. X. 7) с замкнутым магнитопроводом из ферромагнитного материала с большой магнитной проницаемостью. В магнитопроводе имеются небольшие магнитные зазоры (щели). Магнитопроводы малогабаритных головок обычно имеют форму прямоугольника с одной округленной стороной (рис. X. 8).

Записывающая, воспроизводящая, универсальная (записываю-

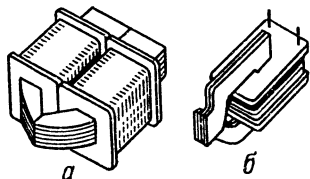


Рис. X. 7. Магнитные головки магнитофона «Днепр-11»: а — универсальная; б — стирающая.

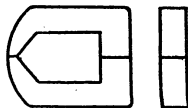


Рис. X. 8. Магнитопровод магнитной головки.

щая и воспроизводящая) и стирающая головки одинаковые по конструкции, но отличаются материалом магнитопровода, размерами зазоров, числом витков и диаметром провода обмоток.

Для устранения волнообразности частотной характеристики необходимо выбрать длину зоны контакта $l_{\text{конт}}$ воспроизводящей или уни-

версальной головки с лентой из условия

$$l_{\text{конт}} \geq \frac{v}{2f_{\text{мин}}} = \frac{\lambda_{\text{макс}}}{2} \text{ мм.}$$

где v — скорость движения ленты, мм/сек; $f_{\text{мин}}$ — минимальная воспроизводимая частота, Гц ; $\lambda_{\text{макс}}$ — максимальная записываемая длина волны, мм.

Необходимо также, чтобы расстояние между полюсом головки и перемещающейся лентой увеличивалось постепенно. Поэтому полюса головок закругляют.

Магнитопроводы магнитных головок. Для уменьшения потерь на вихревые токи магнитопроводы магнитных головок собирают из штампованных пластин толщиной 0,1—0,3 мм, которые склеивают между собой. Клей одновременно является изолятором. Применяются также магнитопроводы из прессованного феррита.



Рис. X. 9. Расположение магнитных головок относительно магнитной ленты при двухдорожечной записи.

Материал магнитопровода должен иметь более высокую магнитную проницаемость, чем носитель записи, и быть достаточно твердым. Широко применяются железоникелевые сплавы марок 80НХС, 79НМ, 50НХС, 38НС (см. § 7 гл. I). Недостатком этих

сплавов является низкая твердость и износостойкость. Кроме того, магнитные свойства сплавов ухудшаются при механических напряжениях, неизбежно возникающих при сборке и обработке магнитопроводов. Более высокие механические свойства и достаточно высокую магнитную проницаемость имеет сплав марки Ю-16 (альфенол).

Выбор материала магнитопровода и толщины пластин определяется самой высокой частотой рабочего диапазона магнитной головки. Чем больше частота, тем тоньше должны быть пластины. В диапазоне частот до 10—15 кГц магнитопроводы записывающих и воспроизводящих головок изготавливаются из сплавов 80НХС и 79НМ с толщиной пластин 0,15—0,2 мм. Стирающие головки необходимо выполнять из возможно более тонких материалов (до 0,07—0,08 мм). Целесообразно применять для стирающих головок магнитопроводы из ферритов. Такие же магнитопроводы рекомендуется использовать для записывающих и воспроизводящих головок, работающих при неабразивных носителях записи, какими являются стальная лента и проволока.

Высота магнитопровода головки определяется шириной носителя записи или количеством дорожек на нем. На магнитной ленте шириной 6,25 мм обычно записывается одна или две дорожки. При одноканальной записи высота магнитопровода головки выбирается на 10—12% больше ширины ленты. Расположение магнитных головок и высота их магнитопроводов для двухдорожечной записи показаны на рис. X. 9. Благодаря различной высоте магнитопроводов головок при поперечных колебаниях ленты магнитопровод воспроизводящей головки 3 не выходит за пределы дорожки, записанной головкой 2, а поле стирающей головки 1 всегда перекрывает записанную дорожку.

Пластины должны быть безупречно отштампованы (без заусенцев, вмятин и других дефектов). Режим отжига устанавливается соответствен-

но использованному материалу. Склейка магнитопровода из пластин производится в приспособлении, обеспечивающем одинаковое взаимное положение пластин, клеем БФ-4 или эпоксидным клеем. Клей БФ-4 наносится на поверхность пластин кистью, после чего пластины собираются в пакет и обжимаются в приспособлении, вместе с которым пакет подвергается сушке при температуре около 150°C в течение 30 мин. Затем пакеты подвергаются старению в естественных условиях на протяжении 5—6 дней.

Грани щелей магнитопровода шлифуются и полируются. При этом половина магнитопровода прижимается боковой поверхностью к направляющей призме (рис. X. 10). В головках с шириной щели 5—7 мкм поверхность пакета, образующая рабочую щель, полируется с точностью до 1 мкм.

Магнитопроводы магнитных головок закрепляются в арматуре, обеспечивающей жесткое соединение обеих частей. Торцовые поверхности магнитопровода должны прочно сжимать прокладку в рабочей щели по всей ее поверхности. Взаимное расположение частей магнитопровода должно оставаться постоянным, независимо от времени и климатических условий.

Самым лучшим способом крепления магнитопроводов оказывается запрессовка их в гетинаксовые или пружинящие металлические рамки (рис. X.11, а и б), а также склеивание эпоксидным клеем (рис. X.11, в). При склейке магнитопровода эпоксидным клеем его предварительно сжимают в приспособлении. Сразу после нанесения клея приспособ-

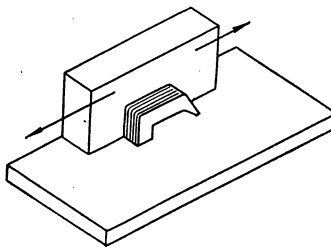


Рис. X. 10. Приспособление для шлифовки и полировки граней щелей.

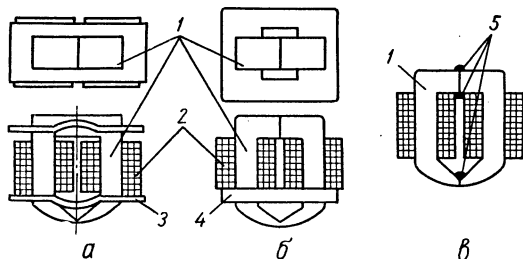


Рис. X. 11. Способы закрепления магнитопроводов магнитных головок:

1 — магнитопровод; 2 — обмотка; 3 — пружинящая металлическая рамка; 4 — гетинаксовая рамка; 5 — клей.

ление с магнитопроводом помещают в термостат, в котором температура повышается в течение 75—90 мин до 120°C , и выдерживают на протяжении 4—5 ч.

Рабочую поверхность магнитопровода (у рабочей щели) шлифуют и полируют. При этом следует использовать приспособление, обеспечивающее взаимно перпендикулярное положение плоскости обработки

Основные данные некоторых

Назначение головки*	Где установлена	Магнитопровод			Обмот	
		Толщина на-бора, мм	Толщина ра-бочей щели, мм	Ширина зад-ней щели, мм	Количество витков	
У С	«Астра», «Астра-2»	2,5 3	0,005 0,2	0	4000 420	
У С	«Днепр-9», «Днепр-10»	2,4 3	0,008 0,1	0,1 0	1500×2 100×2	
У С	«Днепр-11»	2,4 3	0,008 0,1	0	1500×2 100×2	
В	Кинопроектор ПП-16	2,2			—	
В З	«Репортер-2»	5,5 6	0,01	0 0,1	2000 600	
В З	«Репортер-3»	5,5 6		0	600 150	
У С	«Эльфа-17», «Эльфа-19»	2,4 3	0,01 0,1	0,1 0	1500×2 200×2	
У С	«Яуза»	2,4 3	0,008 0,2		2550 450	
У С	«Яуза-5»	2,4 3	0,008 0,2		2500×2 300	
У С	«Яуза-20»	2,4 3	0,005 0,15	0	1250 250	
У С	«Комета»	2,4 3	0,008 0,2		2200 370	
У С	«Мелодия»	2,4 3	0,008 0,2		2550 400	
У С	«Айдас»	2,4 3	0,005 0,18	— —	1200×2 1650****	

* В — воспроизводящая; З — записывающая; У — универсальная. ** Обеспе-
*** На нагрузке 1 Мом при частоте 1000 гц и остаточном потоке ленты 0,05 мкс.

ка		Индуктивность на частоте 1000 гц, мкГ	Номинальный ток стирания, мА	Ток записи, не более, мА**	Оптимальный ток высокочастотного подмагничивания, мА	Номинальное вы- ходное напряже- ние, мВ***
Диаметр про- вода, мм	Сопротивле- ние, Ом					
0,05 0,18	600 3,5	4000 8	— 40	0,5 —	2 —	— —
0,1 0,27	180 1,6	900 10	— 100	0,05 —	0,7 —	2 —
0,1 0,31	180 1,5	1000 10	— 100	0,25 —	1 —	2 —
—	30	30	—	—	—	0,4
0,08 0,1	150 40	2000 130	— —	— 0,6	— 2	— —
0,12 0,15	12 3,5	40 4—5	— —	— 3,5	— 12	— —
0,08 0,2	220 5	750 10	— 40	0,3 —	1,3 —	— —
0,05 0,12	500 11	900 7	— 50	0,2 —	2 —	— —
0,05 0,12	1000 9	1200 4	— 30	0,1 —	1 —	— —
0,06 0,15	— —	75—100 1,5	— 50	0,25 —	2,5 —	1,5 —
0,05 0,12	500 10	900 7	— 40	0,13 —	0,5 —	— —
0,05 0,15	500 10	900 7	— 45	0,13 —	0,5 —	— —
0,05 0,16	— —	1000 5	— —	— —	— —	— —

чивающий на частоте 1000 гц остаточный поток 0,08 мкс для лент типов 2 и 6.

*** С отводами от 75-го и 150-го витков.

и основания головки. Головка перемещается по абразиву в том же направлении, в котором впоследствии будет перемещаться носитель записи.

Щели магнитных головок. Рабочие щели в магнитопроводах записывающей и стирающей головок предназначены для создания магнитного поля рассеяния, которое воздействует на носитель записи. Рабочая щель в воспроизводящей головке необходима для того, чтобы магнитный поток носителя проходил через обмотку.

Ширина рабочей щели в записывающей и стирающей головках определяет действующую на магнитоноситель напряженность поля; в записывающей головке ширина рабочей щели, кроме того, определяет и эффективность записи высоких частот, а в воспроизводящей головке — также разрешающую способность, т. е. максимальную частоту, которая еще может быть воспроизведена. В записывающих и воспроизводящих головках ширина рабочей щели должна быть в три-четыре раза меньше, чем наименьшая длина записываемой волны.

Заднюю щель в воспроизводящей головке стараются устранить; для этого соответствующие поверхности половин магнитопровода тщательно подгоняют одну к другой. Чем меньше эта щель, тем выше чувствительность головки. В магнитопроводах записывающих головок, наоборот, специально создают заднюю щель, располагая в ней немагнитную прокладку. В результате этого снижается восприимчивость головки к остаточному намагничиванию, которое может возникнуть при перегрузке большим током записи или от толчков тока при включении. Остаточное намагничивание головки вызывает дополнительные шумы.

Глубина рабочей щели в головках, предназначенных для работы при скорости носителя записи $19,05 \text{ см/сек}$ и ниже, обычно составляет $0,5\text{—}0,8 \text{ мм}$. При меньшей глубине электрические свойства головки улучшаются, однако уменьшается срок службы.

Ширина рабочей щели фиксируется прокладкой соответствующей толщины. Материал прокладки должен быть немагнитным и более твердым, чем материал магнитопровода, например фольга из бериллиевой бронзы, толщина которой благодаря многократному прокату достигает $4\text{—}5 \text{ мкм}$.

Обмотки магнитных головок изготавливаются из медного провода в эмалевой изоляции (ПЭЛ или ПЭВ). Количество витков обмотки определяется ее назначением.

Для воспроизводящей головки необходима обмотка с возможно большим количеством витков, поскольку при увеличении числа витков при прочих равных условиях возрастает э. д. с. головки. Повышение количества витков ограничивается индуктивностью обмотки, при которой резонансная частота входной цепи оказывается в рабочем диапазоне частот. Головки с максимально допустимой индуктивностью называются *высокоомными* в отличие от *низкоомных* головок, рассчитанных на включение через повышающий трансформатор.

Для записывающей головки желательна обмотка с умеренным количеством витков, поскольку при увеличении количества витков возрастает ее индуктивность и требуется как большее напряжение сигнала на выходе усилителя записи, так и большее напряжение от генератора подмагничивающего тока.

В универсальной головке с учетом этих противоречивых требований количество витков обмотки выбирают таким образом, чтобы индуктивность головки составляла около 1 гн для рабочего диапазона частот до $10\text{—}12 \text{ кГц}$.

Обмотки в зависимости от конструкции головки наматываются на каркас или магнитопровод, предварительно обмотанный лакотканью.

Экранирование головок. Записывающие и воспроизводящие головки тщательно экранируются для защиты от влияния внешних магнитных полей, которые создаются двигателями лентопротяжного механизма, электромагнитами и др. В качестве магнитных экранов применяются колпаки из пермаллоя толщиной 1—3 мм. Для воспроизводящих и универсальных головок используется двойное экранирование (при значительном уровне помех).

Стирающие головки закрывают экранами для ослабления внешних полей, возникающих при протекании относительно больших токов высокой частоты. Экраны для стирающих головок изготавливаются из материала, хорошо проводящего электрический ток, например меди или латуни. Для прохода ленты в экранах головок делают щели и прорези. Основные данные некоторых магнитных головок приведены в табл. X. 5.

§ 6. Усилители для магнитофонов на транзисторах

Усилители в магнитофонах предназначены для усиления и частотной коррекции сигналов, поступающих от головки при воспроизведении и сигналов при записи. В малогабаритных магнитофонах применяются главным образом универсальные усилители, используемые при записи и воспроизведении.

Особенности усилителей для магнитофонов состоят в следующем: 1) трудно получить хорошее перекрытие собственных шумов усилителя (большое отношение сигнал/шум), поскольку э. д. с., развиваемая магнитной головкой при воспроизведении, мала и обычно даже у высокоомных головок на низких частотах не превышает 100—150 мкв; 2) частотная характеристика усилителя должна быть определенной формы и изменяться при переходе от записи к воспроизведению; 3) коэффициент нелинейных искажений не должен превышать 0,5—1%, чтобы общий коэффициент нелинейных искажений магнитофона определялся главным образом искажениями в магнитном носителе записи и частично в выходном каскаде; 4) внутреннее сопротивление источника входного сигнала при воспроизведении резко изменяется с частотой; 5) выходной каскад при записи работает на индуктивную нагрузку (записывающая головка); 6) в режиме записи работа ведется при постоянном токе в нагрузке в широком диапазоне частот и некотором возрастании тока на высоких частотах; 7) ток записываемого сигнала смешивается с высокочастотными колебаниями, осуществляющими подмагничивание ленты во время записи.

При воспроизведении универсальный усилитель работает от магнитной головки, а при записи — от источника сигнала. При воспроизведении усилитель нагружен на громкоговоритель, а при записи еще и на цепь записывающей головки. При записи и воспроизведении может использоваться одна и та же (универсальная) головка либо две отдельные головки. Во втором случае можно добиться более высоких качественных показателей, поскольку упрощается коммутация при переходе с записи на воспроизведение и обратно, а также ослабляются паразитные обратные связи через цепи коммутации. Однако это несколько увеличивает габариты магнитофона и его стоимость.

Схема коммутации в усилителе с универсальной головкой при переходе с записи на воспроизведение приведена на рис. X. 12. Для ослабления паразитных связей через цепи коммутации свободные участки этих цепей соединяют с «землей» переключателями, смонтированными на одной оси с основными переключателями.

В усилителе с двумя головками воспроизводящая головка может быть постоянно подключена ко входу первого каскада, а источники записываемого сигнала можно подключать ко входу второго каскада на время записи, отключая первый. В этом случае действие помех на цепи коммутации не так опасно, так как уровень сигнала в месте коммутации выше.

Выходная мощность универсального усилителя и минимальное входное напряжение определяются работой в режиме воспроизведения, в котором выходная мощность должна быть достаточной для нормальной работы громкоговорителя (обычно 1—3 *вт*). Входное напряжение на низшей рабочей частоте составляет обычно около 0,5 *мв* (при работе от микрофона).

Входные цепи усилителей и первый каскад являются одним из наиболее ответственных узлов магнитофона, так как именно они определяют отношение сигнал/шум

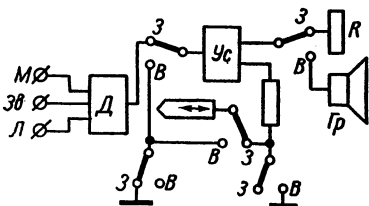


Рис. X. 12. Схема коммутации в усилителе с универсальной головкой.

в усилителе при воспроизведении сигнала. Допустимые отношения сигнал/шум (относительный уровень помех) в сквозном канале запись—воспроизведение и в канале воспроизведения при разных скоростях ленты приведены в табл. X. 1. Цифры указывают на допустимую интенсивность всех шумов усилителя, т. е. соответствуют показаниям вольтметра эффективных значений на выходе, независимо от источника шумов и их частотного состава.

Однако ухо человека сильнее реагирует на высокочастотные шумы (выше 400 *гц*), поэтому уровень полезного сигнала должен превышать уровень высокочастотных шумов приблизительно на 60 *дб*.

Степень перекрытия шумов усилителя сигналом зависит от конструкции воспроизводящей головки, схемы ее включения и уровня собственных шумов усилителя (см. § 9 гл. VI). Для обеспечения перекрытия высокочастотных шумов следует использовать магнитные головки с малой рабочей щелью. Если усилитель предназначен для воспроизведения частот до 15 *кГц*, оптимальный размер рабочей щели должен составлять примерно 7 *мкм* для скорости 19,05 *см/сек* и 5 *мкм* для скорости 9,53 *см/сек*. При уменьшении верхней граничной частоты рабочего диапазона ширина рабочей щели головки может быть увеличена. Отношение сигнал/шум при воспроизведении тем больше, чем выше добротность воспроизводящей головки, т. е. отношение ее э. д. с. к индуктивности.

Схема включения транзистора в первом каскаде усилителя выбирается в зависимости от типа применяемой головки. Если головка низкоомная, можно использовать схему с общим эмиттером. При высокоомной головке необходимо применять схему с общим коллектором. В этом случае улучшается воспроизведение высоких частот. Целесообразнее использовать высокоомную головку и схему с общим коллектором в первом каскаде, поскольку при этом повышается отношение сигнал/шум.

В малогабаритных транзисторных магнитофонах воспроизводящая головка подключается на вход первого каскада усилителя непосредственно (без трансформатора). Чтобы не было завала частотной характеристики на высших звуковых частотах, входное сопротивление первого каскада усилителя при высокоомной головке должно быть не менее

0,5—0,6 *Мом*. Транзисторные каскады с большим входным сопротивлением описаны в § 5 гл. VI.

Для повышения отношения сигнал/шум режим транзистора в первом каскаде усилителя следует выбирать таким образом, чтобы уровень шумов был минимальным (см. § 9 гл. VI).

Частотная коррекция в усилителе. Для обеспечения возможности обмена фонограммами, записанными при одной скорости, но на различных магнитофонах, частотную характеристику канала воспроизведения строго нормируют. Вводится понятие стандартного канала воспроизведения, состоящего из идеальной воспроизводящей головки (без щелевого эффекта) и усилителя со стандартизованной частотной харак-

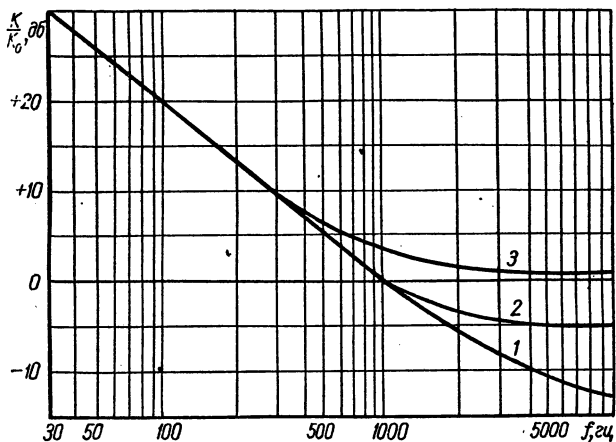


Рис. X.13. Стандартизованные частотные характеристики усилителей воспроизведения:

1 — для скорости ленты 38,1 см/сек; 2 — для скорости 19,05 см/сек; 3 — для скорости 9,53 см/сек.

теристикой, неодинаковой для разных скоростей (рис. X.13). Идеальной воспроизводящей головкой считается головка, у которой э. д. с. при воспроизведении фонограммы с постоянным остаточным потоком пропорциональна частоте. Под коэффициентом K на рис. X.13 следует понимать отношение напряжения на выходе усилителя к э. д. с. воспроизводящей головки.

Частотная характеристика реального усилителя воспроизведения должна отличаться от стандартизованной частотной характеристики так, как отличаются частотные характеристики реальной и идеальной головок. Частотная характеристика усилителя воспроизведения должна иметь подъем на высоких частотах, поскольку необходимо компенсировать щелевые и частотные потери реальной головки. Если размер рабочей щели выбран из условий лучшего перекрытия высокочастотных шумов, то необходимый дополнительный подъем на частоте 15 000 гц должен составлять приблизительно 7 дб. Желательно иметь дополнительный запас коррекции на 3—5 дб на случай ухудшения частотной характеристики головки по мере ее износа. Таким образом, частотная характеристика реального усилителя при воспроизведении должна

проходить выше стандартизованной на 8—12 дб (в зависимости от типа головки и скорости ленты). Необходимая величина подъема характеристики на высоких частотах устанавливается при наладке магнитофона.

На низких частотах вследствие конечных размеров полюсов головки и влияния экрана наблюдается возрастание э. д. с., поэтому харак-

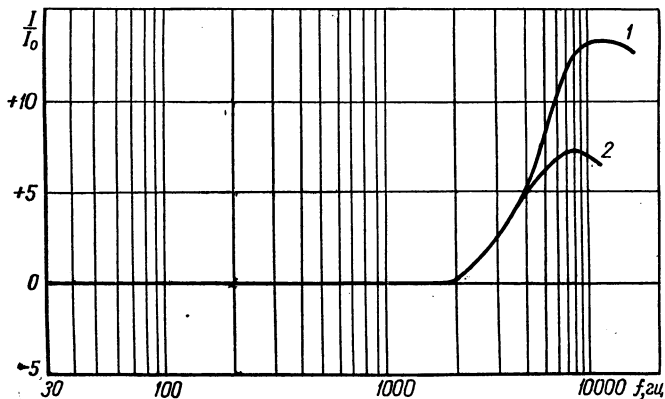


Рис. X.14. Частотные характеристики усилителей записи:

1 — для ленты типа 2 при скорости 19,05 см/сек и щели 7 мкм;
2 — для ленты типа 2 при скорости 9,53 см/сек и щели 5 мкм.

теристика усилителя должна проходить ниже стандартизованной на 1 дб (на частоте 30 гц).

При записи частотная коррекция должна быть такой, чтобы при воспроизведении фонограммы, полученной с помощью данного усилителя, через стандартный канал воспроизведения выходное напряжение на всех частотах оказывалось практически одинаковым, т. е. имело неравномерность, допускаемую стандартом или техническими условиями для данного типа магнитофона. Для этого частотная характеристика усилителя при записи должна иметь подъем на высоких частотах (рис. X.14). Частотные характеристики на рис. X.14 представляют собой зависимости отношения тока в записывающей головке на любой частоте к току на средней частоте от частоты при постоянной э. д. с., действующей на входе усилителя.

Рис. X.15. Схема включения корректирующей цепи в усилителе воспроизведения.

Одна из возможных схем коррекции в усилителе приведена на рис. X.15. Ориентировочно элементы корректирующей цепи можно определить по приведенным ниже формулам.

Емкость конденсатора коррекции

$$C_{кор} = \frac{300 \div 500}{f_n R_{вых}} \text{ мкф,}$$

где f_n — низшая воспроизводимая частота, *гц*; $R_{\text{вых}}$ — выходное сопротивление предыдущего каскада, *ком*. Величину $R_{\text{вых}}$ можно принять равной сопротивлению в цепи коллектора предыдущего каскада.

Величина сопротивления коррекции

$$R_{\text{кор}} = \frac{\tau}{1000 C_{\text{кор}}} \text{ ком},$$

где $C_{\text{кор}}$ — емкость конденсатора коррекции, *мкф*; τ — постоянная времени цепи коррекции, равная 100 *мксек* для скорости ленты 19,05 *см/сек* и 200 *мксек* для скорости 9,53 *см/сек*.

Емкость разделительного конденсатора

$$C_p \geq \frac{5 \cdot 10^2}{f_n R_{\text{вх}}} \text{ мкф},$$

где f_n — низшая воспроизводимая частота, *гц*; $R_{\text{вх}}$ — входное сопротивление последующего каскада, *ком*.

Колебательный контур *LC* должен быть настроен на максимальную воспроизводимую частоту. Чем больше отношение *L/C*, тем выше подъем

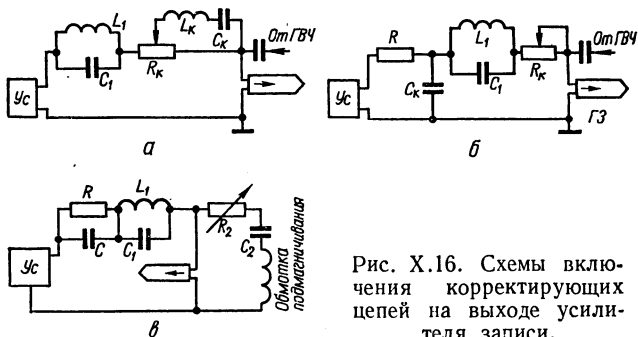


Рис. X.16. Схемы включения корректирующих цепей на выходе усилителя записи.

частотной характеристики и тем с более низких частот он начинается. Величину подъема частотной характеристики можно регулировать резистором переменного сопротивления.

В режиме записи параллельно конденсатору коррекции подключается конденсатор большой емкости. При этом выравнивается частотная характеристика в области низших и средних звуковых частот.

Коррекцию частотной характеристики усилителя производят с помощью частотно зависимой цепи отрицательной обратной связи.

В режиме записи частотная коррекция может осуществляться на выходе усилителя (рис. X.16). В схеме, представленной на рис. X.16, а, увеличение тока записи на высоких частотах достигается за счет резонанса напряжений в контуре коррекции $L_k C_k$, который настраивается на верхнюю рабочую частоту. Практически в этой схеме при сопротивлении R_k , равном 8—10 *ком*, можно получить подъем высоких частот до 15—18 *дб*. При ббльших величинах сопротивления R_k подъем высоких частот увеличивается, однако при этом следует повышать выходное

напряжение усилителя, что приводит к возрастанию нелинейных искажений.

В схеме, приведенной на рис. X.16, б, индуктивность записывающей головки $L_{г.з}$ и катушки фильтра-пробки L_1 вместе с емкостью конденсатора C_K образуют параллельный колебательный контур; настраивающийся на верхнюю рабочую частоту усилителя.

Фильтр-пробка $L_1 C_1$ настраивается на частоту тока подмагничивания и препятствует прохождению этого тока через усилитель. Резисторами переменного сопротивления можно регулировать величину подъема частотной характеристики усилителя.

Включение записывающей (или универсальной) головки на выход усилителя при записи производится с таким расчетом, чтобы обеспечить

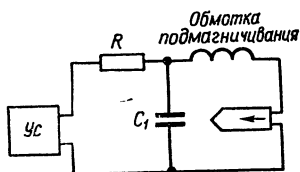


Рис. X. 17. Схема последовательного включения источников токов записи и подмагничивания.

постоянство нагрузки усилителя в рабочем диапазоне частот. Для этого последовательно с головкой включают достаточно большое сопротивление, величина которого выбирается из условия

$$R \gg 2\pi f_B L_T,$$

где f_B — верхняя рабочая частота, *гц*; L_T — индуктивность записывающей головки, *гн*. При таком выборе величины R может потребоваться значительное напряжение на выходе усилителя, поэтому практически можно выбрать $R = 12f_B L_T$.

Вторым способом стабилизации нагрузки усилителя при записи является включение последовательно с записывающей головкой параллельно соединенных резистора R и конденсатора C (см. рис. X.16, в).

Величина сопротивления резистора R может быть определена по формуле

$$R = 4f_B L_T \text{ ком},$$

а емкость конденсатора C — по формуле

$$C = \frac{2,53 \cdot 10^{-2}}{f_B^2 L_T} \text{ мкф},$$

где f_B — верхняя рабочая частота, *кГц*; L_T — индуктивность записывающей головки, *гн*.

Если выбрать большую величину сопротивления R , можно получить подъем высоких частот при записи.

Питание записывающей головки высокочастотным током подмагничивания может производиться при последовательном (рис. X.17) и параллельном включении (см. рис. X.16) источников тока записываемого сигнала и тока подмагничивания. При последовательном включении усилитель защищен от тока подмагничивания конденсатором C_1 , емкость которого рассчитывается по формуле

$$C_1 = \frac{8 \cdot 10^4}{f_B R} \text{ нф},$$

где R — сопротивление цепи стабилизации нагрузки усилителя, *ком*; f_B — верхняя рабочая частота, *кГц*.

На практике чаще применяется параллельное включение источников, допускающее регулировку тока подмагничивания и возможность стабилизации нагрузки с помощью RC -цепи (см. рис. X.16). В схемах, приведенных на рис. X.16, контур L_1C_1 (фильтр-пробка) настроен на частоту тока подмагничивания и преграждает этому току путь в усилитель. Разделительный конденсатор небольшой емкости C_2 не пропускает в генератор высокой частоты ток звуковой частоты. Сопротивление этого конденсатора на самой высокой рабочей частоте должно быть во много раз (не менее пяти) больше сопротивления головки. Изменяя емкость этого конденсатора, можно регулировать ток подмагничивания.

Индуктивность контура L_1 не следует выбирать слишком большой, так как в противном случае приходится увеличивать сопротивление цепи стабилизации нагрузки и, следовательно, напряжение на выходе усилителя. Практически выбирают

$$L_1 = (0,3 - 0,5) L_r,$$

где L_r — индуктивность записывающей головки.

В усилителях, работающих на транзисторах, следует применять низкоомные записывающие головки. При использовании высокоомных головок напряжение на выходе усилителя часто оказывается недостаточным.

§ 7. Генераторы высокой частоты

Генератор высокой частоты магнитофона предназначен для размагничивания ленты (стирания ранее выполненной записи) и подмагничивания ленты при записи. Он создает переменный ток с частотой 40—70 кГц, питающий обмотки стирающей и универсальной (записывающей) головок. В магнитофонах, рассчитанных только на запись речи (например, в диктофонах), эта частота может быть снижена до 25—30 кГц и менее для уменьшения необходимой мощности генератора.

В составе подмагничивающего тока не должно быть четных гармоник, т. е. форма колебаний должна быть симметричной. Асимметрия формы подмагничивающего тока до 1% увеличивает шум фонограммы (запись на ленте) на 4 дБ. Поэтому в некоторых магнитофонах применяется двухтактная схема генератора.

В отношении стабильности частоты к генераторам жесткие требования не предъявляются, поэтому большинство генераторов конструируется по схемам с самовозбуждением.

Для подбора оптимальной величины тока подмагничивания, зависящей от типа головок и применяемой ленты, в цепь подмагничивания включают подстроечный конденсатор (реже резистор).

Генератор высокой частоты включается только при работе магнитофона в режиме записи.

Схемы генераторов. Схема однотактного генератора на транзисторе, использованная в магнитофоне «Весна», приведена на рис. X.18. Генератор собран по схеме с автотрансформаторной обратной связью. Колебательный контур настроен на частоту 30 кГц. Регулировка тока подмагничивания производится подключением головки к различным отводам катушки. Режим транзистора определяется резисторами в цепи базы. Катушки генератора намотаны на броневой сердечник типа СБ-23—17 из карбонильного железа. Катушка L_1 состоит из 150 витков (между выводами 1 и 2 — 40 витков, между выводами 2 и 3 — 60 витков провода ПЭВ 0,23; между выводами 3 и 4 — 30 витков и между выводами 4 и 5 — 20 витков провода ПЭВ 0,14). Катушка L_2 содержит 65 витков провода ПЭВ 0,23.

На рис. X.19 приведены схемы двухтактных генераторов на транзисторах. Генератор, изображенный на схеме рис. X.19, а, обеспечивает ток стирания 50 ма при индуктивности стирающей головки 1,5 мГн и ток подмагничивания 5 ма при индуктивности записывающей (универсальной) головки 8—10 мГн. Частота генерируемых колебаний — 40 кГц.

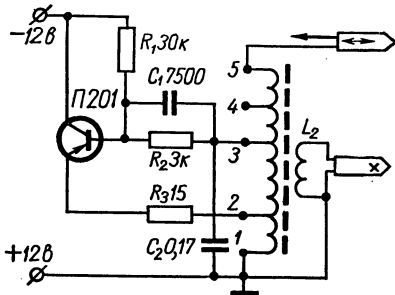


Рис. X.18. Схема одноконтурного генератора высокой частоты.

стабильности амплитуды колебаний в цепь эмиттеров включена катушка L_1 . Цепь подмагничивания связана с генератором через трансформатор Tr_1 . Регулировка тока подмагничивания производится резистором R_5 . Генератор обеспечивает на частоте 70 кГц ток стирания 70—90 ма при индуктивности стирающей головки 0,5 мГн и ток подмагничивания до 2 ма при индуктивности записывающей головки 60 мГн (на частоте 1000 Гц).

Трансформатор Tr_1 можно изготовить на броневом сердечнике диаметром 8 мм из феррита марки 600НН. При этом первичная обмотка

Катушки генератора наматываются в броневой сердечник диаметром 28 мм из феррита марки 600НН. Катушка I содержит $30 \pm 50 \pm 50 \pm 30$ витков провода ПЭЛ 0,25, а катушка II — 100 витков провода ПЭЛ 0,18.

Генератор высокой частоты, схема которого приведена на рис. X.19, б, представляет собой симметричный мультивибратор с колебательным контуром, выделяющим первую гармонику колебаний. Контур состоит из конденсатора C_3 , стирающей головки ГС и цепи первичной обмотки трансформатора Tr_1 . Для улучшения формы и повышения

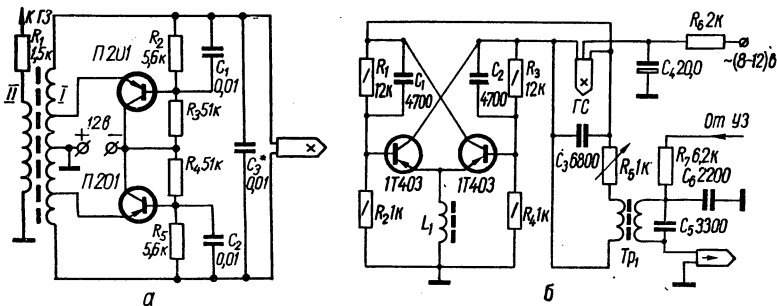


Рис. X.19. Схемы двухтактных генераторов высокой частоты.

должна содержать 180 витков провода марки ПЭВ-1 0,08, а вторичная — 400 витков такого же провода. Катушка L_1 содержит 300 витков провода марки ПЭВ-1 0,1 и сердечник из феррита марки 1000НМ диаметром 3 мм и длиной 15 мм.

Для двухтактных генераторов высокой частоты следует выбирать транзисторы с разбросом коэффициента усиления по току β не более 10%.

§ 8. Индикаторы уровня записи

Во время записи необходимо следить за тем, чтобы уровень ее имел номинальную для данной ленты величину. При низком уровне записи отношение сигнал/шум оказывается малым при воспроизведении; при чрезмерно высоком уровне записи происходит искажение сигнала.

Опорной величиной при измерении уровня записи является запись установочного уровня на измерительной ленте (см. § 2). При этом сравнивают напряжение на выходе канала воспроизведения при воспроизведении записи на данной ленте и записи установочного уровня на измерительной ленте. Поскольку коэффициент усиления в канале воспроизведения с течением времени изменяется очень мало, достаточно один раз измерить выходное напряжение при воспроизведении измерительной ленты («прокалибровать» канал воспроизведения) с тем, чтобы в течение длительного времени пользоваться каналом при измерении уровня записи. Измеритель выходного напряжения, специально предусмотренный в магнитофоне для этой цели, называют *индикатором уровня*.

В магнитофонах, не имеющих сквозного канала запись—воспроизведение, уровень записи определяется косвенным путем. В этом случае индикатор уровня измеряет напряжение сигнала, подводимое к цепи записывающей головки.

Основные параметры индикаторов уровня записи. *Время интеграции* — время, за которое показания индикатора нарастают (после включения сигнала) до 80% установившегося значения. При подаче на вход индикатора импульсного сигнала с длительностью, равной времени интеграции, его амплитуда будет измерена индикатором с погрешностью не более —20%.

Время срабатывания — время передвижения стрелки указателя на полную шкалу.

Время обратного хода (к нулевому отсчету) — время, в течение которого показания индикатора уменьшаются в 20 раз после отключения подводимого напряжения сигнала.

Чувствительность — напряжение сигнала на входе, соответствующее максимальному показанию индикатора.

Частотная характеристика — зависимость чувствительности от частоты подводимого сигнала.

Диапазон измерения — отношение напряжений подводимых сигналов, соответствующих максимальному и минимальному различимому показаниям.

Входное сопротивление — сопротивление входа индикатора для подводимого сигнала.

Требования, предъявляемые к индикаторам уровня записи, определяются назначением магнитофона. Основные требования изложены в стандартах. Согласно ГОСТу 12392—66, время интеграции (постоянная времени) индикаторов уровня записи бытовых магнитофонов должно быть в пределах 150—350 *мсек* (номинальное значение 250 *мсек*), время обратного хода — в пределах 0,5—1,5 *сек* (номинальное значение 1,5 *сек*), а неравномерность частотной характеристики не должна превышать ± 3 *дб*.

Время срабатывания индикатора может достигать 200 *мсек*, так как глаз человека не успевает реагировать быстрее.

Чувствительность индикатора должна соответствовать максимальному уровню записи на ленте данного типа. При пониженной чувствительности возрастают нелинейные искажения при записи, а при повышенной уменьшается отношение сигнал/шум.

Завал частотной характеристики индикатора за пределами диапазона частот 80—8000 гц практически не сказывается на результатах контроля уровня записи.

Диапазон измерений уровней должен быть достаточно большим. Для любительской записи он должен быть не менее 12—18 дб.

Входное сопротивление индикатора должно быть достаточно большим, так как в противном случае индикатор может вносить искажения в записываемый сигнал.

Схемы индикаторов уровня записи. В транзисторных магнитофонах применяются индикаторы уровня записи со стрелочными указателями. На рис. X.20, а приведена схема индикатора уровня записи, состоящего из фильтра R_1C_1 , детектора и стрелочного указателя. Фильтр препятствует прохождению колебаний высокочастотного генератора подмагничивания. Детектор собран по мостовой схеме. Чувствительность такого

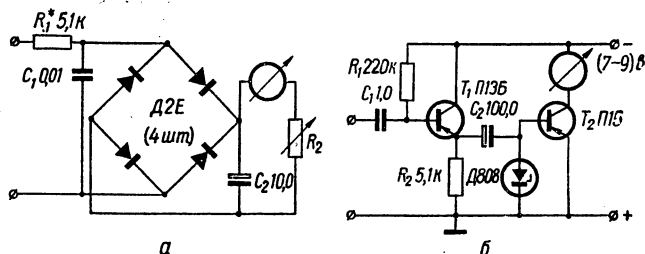


Рис. X.20. Схемы индикаторов уровня записи.

индикатора тем больше, чем выше чувствительность стрелочного указателя (гальванометра) и чем меньше сопротивление резистора R_1 . При уменьшении сопротивления R_1 снижается входное сопротивление индикатора и, следовательно, повышается потребляемая им мощность.

Чувствительность индикатора записи можно повысить, включив на его входе усилитель мощности, например каскад с общим коллектором.

На рис. X.20, б приведена схема индикатора уровня записи, состоящего из усилителя мощности сигнала на транзисторе T_1 , детектора на кремниевом стабилитроне, усилителя детектированного сигнала на транзисторе T_2 и стрелочного указателя. Время интеграции индикатора зависит от емкости стабилизатора. Время обратного хода составляет примерно 0,5 сек.

§ 9. Наладка электрического тракта магнитофона

Правильное положение воспроизводящей (универсальной) головки устанавливается при воспроизведении сигнала с участка измерительной ленты с индексом «Ч» (см. § 2), на котором записана максимальная рабочая частота данного магнитофона. Вместо измерительной ленты можно использовать любую другую ленту с записью частоты, близкой к верхнему пределу полосы рабочих частот данного магнитофона (см. табл. X.1). Головка устанавливается по наиболее громкому воспроизведению записи.

При установке головок необходимо учитывать следующие требования: 1) рабочая щель головки должна быть перпендикулярна направлению движения ленты и находиться в середине угла отгибания головки

лентой; 2) высота расположения головки должна быть отрегулирована таким образом, чтобы лента хорошо прилегала ко всей рабочей поверхности; 3) экран головки не должен мешать движению ленты; 4) экран воспроизводящей или универсальной головки должен устанавливаться по минимуму наводок.

Частотная характеристика усилителя воспроизведения снимается при воспроизведении сигнала с измерительной ленты с индексом «Ч». Вначале воспроизводится частота 1000 *гц*, и регулятором усиления устанавливается выходное напряжение, равное приблизительно 20% номинального. После этого воспроизводятся остальные частоты и измеряются выходные напряжения. Неравномерность частотной характеристики не должна превышать величин, указанных в табл. X.1.

Если измерительная лента отсутствует, для снятия частотной характеристики канала воспроизведения можно использовать звуковой генератор (рис. X.21). На вход делителя R_1R_2 от звукового генератора подается такое напряжение звуковой частоты, при котором на резисторе R_2 получается напряжение, равное номинальному выходному напряжению головки (табл. X.5). Регулятор усиления устанавливается в такое положение, при котором напряжение на выходе при минимальной частоте не превышает номинального. Зависимость напряжения на выходе усилителя от частоты при неизменном напряжении на входе звукового генератора представляет частотную характеристику тракта воспроизведения без учета частотных искажений, обусловленных конечной шириной рабочей щели головки.

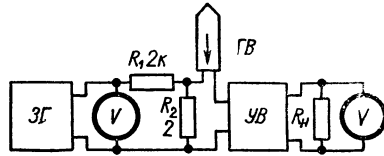


Рис. X.21. Схема для снятия частотной характеристики канала воспроизведения.

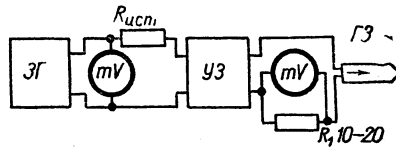


Рис. X.22. Схема снятия частотной характеристики усилителя записи.

Частотная характеристика усилителя записи снимается по схеме, приведенной на рис. X.22, при включенном генераторе подмагничивающего тока. Напряжение от звукового генератора подается на вход усилителя записи через резистор $R_{ист}$, сопротивление которого равно выходному сопротивлению источника сигнала (микрофона, звукоснимателя и др.). Напряжение на выходе звукового генератора поддерживается неизменным в пределах полосы записываемых частот. Ток в записывающей головке $ГЗ$ измеряется непосредственно термоэлектрическим миллиамперметром или определяется измерением напряжения на небольшом сопротивлении известной величины (10—20 *ом*), как показано на рисунке.

Типовые характеристики $УЗ$ приведены на рис. X.14.

Правильное положение записывающей головки в магнитофонах с разделенными усилителями записи и воспроизведения устанавливается при записи частоты, близкой к верхнему пределу полосы частот записи, по максимальному напряжению на выходе усилителя воспроизведения. В магнитофонах с универсальным усилителем правильное положение записывающей головки подбирается путем записи и воспроизведения такой же частоты при разных положениях головки.

Установка оптимального тока высокочастотного подмагничивания. Для определения оптимального тока подмагничивания производят несколько контрольных записей сигнала с частотой 1000 *гц* при различных токах подмагничивания. Во время воспроизведения контрольных записей следят за выходным напряжением усилителя воспроизведения (по прибору или на слух). Ток подмагничивания, при котором запись обеспечивает наибольшее выходное напряжение при воспроизведении, является оптимальным током подмагничивания. В магнитофонах с разделенными усилителями записи и воспроизведения оптимальный ток подмагничивания можно устанавливать непосредственно при записи сигнала.

Установленное значение оптимального тока подмагничивания следует измерить для того, чтобы можно было контролировать его в процессе эксплуатации магнитофона. Ток подмагничивания измеряется при

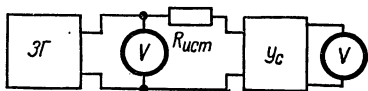


Рис. X.23. Схема снятия частотной характеристики сквозного канала запись — воспроизведение в магнитофоне с универсальным усилителем.

записи. На вход усилителя записи через резистор, сопротивление которого равно выходному сопротивлению источника сигнала, подается постоянное по величине напряжение различных частот и измеряется напряжение на выходе усилителя воспроизведения.

В магнитофонах с универсальными усилителями вначале записываются различные частоты по схеме, представленной на рис. X.23, при неизменной величине напряжения на выходе звукового генератора, а затем воспроизводится запись и измеряются напряжения на выходе усилителя для разных частот.

Неравномерность частотной характеристики сквозного канала не должна превышать величин, приведенных в табл. X.1.

Нормальный ток в цепи стирающей головки устанавливается после размагничивания головок и стальных деталей на верхней панели лентопротяжного механизма. Для этого вначале записывают сигнал чистого тона с частотой 400 *гц* на предварительно размагниченную типовую ленту (желательно применять часть измерительной ленты с индексом «С»). Уровень намагниченности ленты должен в два раза превышать максимальный. Затем выполненную запись стирают, причем подбирают такой ток в цепи стирающей головки, при котором обеспечивается заданный уровень ее размагничивания (за один проход). Этот ток и является нормальным током стирания. Величину тока стирания определяют, измеряя ламповым вольтметром падение напряжения на непроволочном резисторе (около 10 *ом*), включенном в разрыв заземленного конца обмотки магнитной головки.

отсутствии тока звуковой частоты таким же способом, как и ток звуковой частоты при снятии частотной характеристики УЗ (см. рис. X.22).

Частотная характеристика сквозного канала запись — воспроизведение в магнитофонах с разделенными усилителями записи и воспроизведения снимается непосредственно в режиме

записи. На вход усилителя записи через резистор, сопротивление которого равно выходному сопротивлению источника сигнала, подается постоянное по величине напряжение различных частот и измеряется напряжение на выходе усилителя воспроизведения.

В магнитофонах с универсальными усилителями вначале записываются различные частоты по схеме, представленной на рис. X.23, при неизменной величине напряжения на выходе звукового генератора, а затем воспроизводится запись и измеряются напряжения на выходе усилителя для разных частот.

Неравномерность частотной характеристики сквозного канала не должна превышать величин, приведенных в табл. X.1.

Нормальный ток в цепи стирающей головки устанавливается после размагничивания головок и стальных деталей на верхней панели лентопротяжного механизма. Для этого вначале записывают сигнал чистого тона с частотой 400 *гц* на предварительно размагниченную типовую ленту (желательно применять часть измерительной ленты с индексом «С»). Уровень намагниченности ленты должен в два раза превышать максимальный. Затем выполненную запись стирают, причем подбирают такой ток в цепи стирающей головки, при котором обеспечивается заданный уровень ее размагничивания (за один проход). Этот ток и является нормальным током стирания. Величину тока стирания определяют, измеряя ламповым вольтметром падение напряжения на непроволочном резисторе (около 10 *ом*), включенном в разрыв заземленного конца обмотки магнитной головки.

ЭЛЕКТРОПИТАНИЕ МАЛОГАБАРИТНЫХ РАДИОУСТРОЙСТВ

§ 1. Гальванические элементы и батареи,
их основные характеристики

Электродвижущая сила определяется химическими свойствами активных материалов (электролита и электродов) и не зависит от их размеров. Температура элемента почти не влияет на величину э. д. с. Только при температурах, близких к температуре замерзания электролита, э. д. с. элемента резко снижается. Замерзшие элементы восстанавливаются после отогревания.

Напряжение элемента или батареи измеряется при замкнутой внешней цепи, т. е. под нагрузкой. Оно зависит от э. д. с. E , внутреннего сопротивления элемента или батареи $R_{вн}$ и тока нагрузки $I_{н}$:

$$U = E - I_{н}R_{вн}$$

При разряде элемента или батареи различают начальное, среднее и конечное напряжение. Среднее напряжение определяется по кривым зависимости напряжения при разряде от времени. Конечное напряжение зависит от свойств элемента и условий эксплуатации.

Внутреннее сопротивление элемента складывается из сопротивлений электролита, электродов и сепараторов (прокладок между электродами). Чем меньше внутреннее сопротивление элемента, тем больше может быть разрядный ток при заданном напряжении на нагрузке.

Емкость элемента или батареи определяется количеством электричества, отдаваемого при определенных условиях разряда. Если ток разряда остается постоянным в течение всего разряда, то емкость может быть выражена произведением

$$Q = I_p t,$$

где I_p — ток разряда, а; t — время разряда, ч.

Если сила тока изменяется в процессе разряда, пользуются средним значением тока, определяя его как среднее арифметическое токов в начале и в конце разряда. При указании емкости элемента или батареи должны указываться условия разряда (величина сопротивления нагрузки, температура и напряжение в конце разряда). Емкость элемента или батареи будет больше при меньшем токе разряда, при разряде с меньшими перерывами, при более высоких температурах окружающей среды, а также при низком значении напряжения, до которого разряжается элемент или батарея.

Удельные характеристики представляют собой отношения емкости, мощности и энергии элементов или батарей к их объему или весу. Эти характеристики дают возможность оценить источник тока по его весу или объему.

Саморазряд элементов или батарей является вредным процессом, приводящим к снижению емкости и преждевременной порче элементов. Саморазряд происходит независимо от того, работает или не работает элемент на нагрузку. При повышении температуры саморазряд увеличивается.

При выборе элементов следует обращать внимание на дату их изготовления, так как элементы сохраняют свои характеристики только в течение определенного срока, указываемого в паспортных данных или на этикетке.

Сохранность элементов или батарей характеризуется временем, в течение которого все показатели элемента или батареи не хуже оговоренных в технических условиях.

Маркировка гальванических элементов и батарей. Обозначение типа гальванического элемента или батареи включает систему, конструкцию, назначение, температурную стойкость, напряжение и емкость или длительность работы. Первые цифры указывают напряжение, следующие за ними буквы — назначение, систему и в некоторых случаях конструкцию, например:

ПМЦ — приборная марганцево-цинковая,

РЦ — ртутно-цинковая,

НВМЦ — накальная воздушная (деполяризация) марганцево-цинковая,

СТМЦ — слуховая телефонная марганцево-цинковая,

АМЦГ — анодная марганцево-цинковая галетная,

САМЦЧ — слуховая анодная марганцево-цинковая чашечковая.

Строчные буквы «х» или «у» указывают температурную стойкость: «холодостойкие» или «универсальные». При отсутствии этих букв — «летние». Строчная буква «п» в конце обозначает, что выводы батареи расположены на контактной панели.

Следующие за буквами цифры обозначают: для марганцево-цинковых элементов и батарей — емкость или, если за ними стоит буква «ч», число часов работы; для остальных — типоразмер.

Марганцево-цинковые элементы являются самыми распространенными сухими элементами. Они изготавливаются в четырех модификациях: стаканчиковые, галетные, чашечные и пуговичные. Из отдельных элементов собирают батареи.

Положительным электродом марганцево-цинкового элемента служит двуокись марганца, отрицательным — металлический цинк. Электролит состоит из раствора соли или щелочи с добавкой наполнителей для получения густой массы. Токоотводом положительного электрода является угольный стержень.

Э. д. с. сухого марганцево-цинкового элемента находится в пределах 1,3—1,6 в, внутреннее сопротивление в зависимости от размеров элемента и степени его разряда может составлять от 0,1 до 10 ом. Температурные интервалы работоспособности элементов и батарей с соевым электролитом (раствор хлористого аммония) следующие:

Сухие элементы

Летние	от -20 до +60° С
Холодостойкие	от -40 до +40° С
Универсальные	от -40 до +60° С

Сухие батареи

Летние	от -20 до +60° С
Холодостойкие	от -50 до +40° С
Универсальные	от -50 до +60° С

Элементы и батареи с соевым электролитом отличаются большим сроком сохранности, однако уступают элементам и батареям со щелочным электролитом по удельным характеристикам.

Пуговичные элементы типа МЦ отличаются меньшими габаритами и весом, большим сроком сохранности и применяются для питания миниатюрной аппаратуры.

Основные данные малогабаритных марганцево-цинковых элементов и батарей приведены в табл. XI.1.

Зарядка марганцево-цинковых элементов и батарей производится асимметричным переменным током. Заряжать можно элементы с соевым или щелочным электролитом любой концентрации, но не слишком разряженные и не имеющие повреждений цинковых электродов. В пределах срока сохранности, установленного для данного типа элемента или батареи, можно производить многократное (6—8 раз, а иногда и больше) восстановление работоспособности.

Заряд сухих батарей и элементов производится от специального устройства, позволяющего получить зарядное напряжение необходимой формы. Схемы таких устройств для зарядки батарей типов 3,7-ФМЦ-0,5 и 4,1-ФМЦ-0,7 приведены на рис. XI.1, а и б. В схеме на рис. XI.1, а параллельно германиевому вентилю включен резистор. При этом зарядный ток приобретает асимметричную форму. Лампочка накаливания используется в качестве стабилизатора тока и индикатора окончания зарядки. В конце зарядки лампочка гаснет или ее накал резко уменьшается.

В схеме на рис. XI.1, б заряжаемая батарея включена через две параллельные цепочки с вентилями и резисторами. Асимметричный ток заряда получается вследствие различия сопротивлений резисторов. Окончание заряда определяется по прекращению роста напряжения на батарее.

Число витков вторичных обмоток трансформаторов зарядных устройств выбирается так, чтобы выходное напряжение превышало номинальное напряжение батареи на 50—60%.

Время зарядки батарей с помощью описанных устройств должно быть достаточно большим (12—16 ч). Зарядная емкость должна быть примерно на 50% больше номинальной емкости батарей.

Ртутно-цинковые элементы отличаются высокой удельной энергией, постоянством напряжения в процессе разряда, хорошим использованием активных материалов и высокой механической прочностью. Они широко используются для питания аппаратуры на транзисторах.

Активная масса положительного электрода элемента состоит из окиси ртути с добавкой графита. Отрицательный электрод изготовлен из порошка цинка с небольшим количеством ртути. Электролитом служит раствор едкого калия (КОН) и окиси цинка. Активная масса положительного электрода запрессована в стальной корпус, отрицательного — в крышку. Между электродами помещена фильтровальная бумага, пропитанная электролитом, а между корпусом и крышкой — резиновое кольцо. Корпус и крышка служат одновременно токоотводами

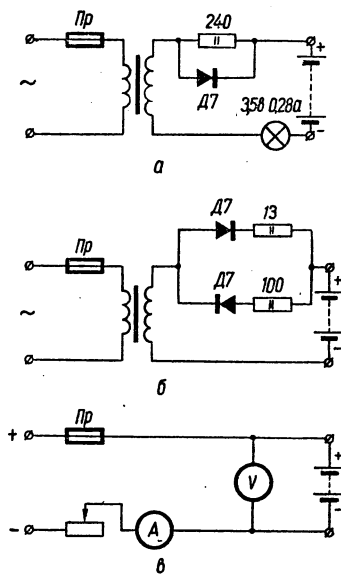


Рис. XI.1. Схемы зарядки:
а, б — гальванических батарей;
в — аккумуляторов.

Основные данные малобаритных гальванических элементов и батарей

Тип	Торговое наименование	Начальные характеристики			Характеристики в конце срока хранения			Условия разряда		Размеры максимальные, мм			Максимальный вес, г	Примечание
		Напряжение, в	Емкость, а·ч	Продолжительность работы, ч	Гарантийная сохранность, мес.	Емкость, а·ч	Продолжительность работы, ч	Сопротивление внешней цепи, ом	Конечное напряжение, в	Длина	Ширина	Высота		
1,3-ФМЦ-0,25	—	—	0,25	—	4	0,17	—	—	0,6	—	21*	38	22	—
1,48-ПМЦ-9	—	1,48	9	80	12	6	60	10	0,7	42	42	102	300	—
1,5-СНМЦ-0,6	Накал «Служ»	1,5	0,6	12	6	0,4	8	25	1,0	—	20*	59	40	Для слухового аппарата «Служ»
1,5-СТМЦ-60ч	«Кристалл»	—	—	60	—	—	—	200	—	—	16*	50	25	Для аппарата «Кристалл»
1,54-ПМЦ-х-48ч	—	1,54	—	48	24	—	48	10	—	—	22*	62	45	—
1,54-ПМЦ-у-48ч	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1,58-СНМЦ-2,5	Накал «Звук»	1,58	2,5	20	10	2,0	15	10	1,0	—	36*	101	160	Для слухового аппарата «Звук»
1,6-ПМЦ-х-1	—	—	1,0	—	8	—	—	117	—	—	21*	60	45	—
1,6-ПМЦ-у-3,2	—	1,6	3,2	32	—	2,6	26	—	—	—	34*	75	150	—
1,6-ПМЦ-у-8	—	—	8,0	80	12	—	—	10	0,7	42	42	102	300	—
1,6-ФМЦ-у-3,2	«Сатурн»	1,6	3,2	32	—	2,6	26	—	—	—	34*	64	105	—

2.9-НМЦ-1,5ч	—	2,9	1,5	—	—	—	—	—	—	40	2,3	48	26	70	110	Для метро-прибора
3-РЗН-МЦ-2ч	—	3,0	—	2	—	—	—	—	—	30	1,5	39	39	36	60	Для радио-зондов
3.7-ФМЦ-0,5	—	3,7	0,5	—	6	0,27	1,3	—	—	—	—	63	22	67	160	—
4.1-ФМЦ-0,7	—	4,1	0,7	3	8	0,38	2	—	—	10	2,0	—	—	—	—	—
4.2-САМЦ-1,0	—	4,2	1,0	—	6	0,7	—	—	—	—	—	102	37	81	400	—
5.6-НМЦГ-22ч	«Рассвет»	5,6	—	22	18	—	16	—	—	75	3,8	80	50	57	340	—
13-АМЦГ-0,5	—	13	0,5	—	12	0,35	—	—	—	—	8	70	52	42	250	—
13-АМЦГ-у-0,5	—	—	—	500	18	—	—	—	—	10000	—	65	51	41	—	—
15-РММЦГ-12ч	—	15	1,2	12	6	—	—	—	—	150	Ю	135	56	95	1300	Для репортёр-ского магнитного телефона
15-РММЦГ-20ч	«Звукозапись»	—	—	20	12	—	15	—	—	—	9	142	87	—	—	То же
21-РЗА-МЦ-2ч	—	21	—	2	—	—	—	—	—	9000	15	61	39	34	100	Для радио-зондов
31-САМЦГ-0,02	Анод «Слух»	31	0,02	40	6	0,007	14	—	—	50000	20	34	20	46	40	Для слухового аппарата «Слух»
49-САМЦГ-0,25-п	Анод «Звук»	49	0,25	100	8	0,15	70	—	—	25000	30	80	25	100	250	Для слухового аппарата «Звук»
67.5-АМЦГ-у-0,06	«Малыш»	67,5	0,06	10	6	—	—	—	—	10300	48	62	38	67	—	«Малыш»
80-АМЦГ-0,15	—	80	0,15	—	—	—	—	—	—	30000	50	77	53	80	400	Для метро-приборов

Тип	Торговое наименование	Начальные характеристики			Характеристики в конце срока хранения				Условия разряда		Размеры максимальные, мм			Максимальный вес, г	Примечание
		Напряжение, в	Емкость, а · ч	Продолжительность работы, ч	Гарантийная сохранность, мес.	Емкость, а · ч	Продолжительность работы, ч	Среднесуточные внешние температуры, °С	Конечное напряжение, в	Длина	Ширина	Высота			
—	«Крона» 1	9	0,1	15	12	—	—	—	5,6	26	16	49	—	—	Для карманных приемников
	«Крона» 2					—	—	—	—	—	21	—	—	—	
ЧМЦ-2	—		0,06	630	18	—	—	—	3000	—	11,2*	3,2	—	—	
ЧМЦ-3	—	1,6				—	—	—	1,3	—	11,4*	3,7	1,5	1,5	Для наручных часов
ЧМЦ-4	—		0,036	360	12	—	—	—	3000	—	9,1*	3,2	—	—	
283	—		—	20	3	—	16	—	460	—	10*	22	5	—	
286	—		—	60	3	—	48	—	460	—	10*	44	10	—	
312	—	1,6	—	45	6	—	36	—	460	—	14*	25	10	—	
314	—		—	100	6	—	80	—	460	—	14*	38	15	—	
316	—		—	130	6	—	104	—	460	—	14*	50	20	—	

326	—	—	200	6	—	160	460	0,9	—	16*	50	25	—
332	—	—	1,6	6	—	1,3	11	0,9	—	20*	37	30	—
336	—	1,6	3,5	6	—	2,8	8	0,9	—	20*	58	45	—
343	—	—	4,1	12	—	3,3	8	0,9	—	26*	49	52	—
373	«Марс»	—	18,3	12	—	12	7	0,75	—	34*	62	115	—
374	—	—	18,3	12	—	12	7	0,75	—	34*	75	132	—
376	—	—	28,3	12	—	19	7	0,75	—	34*	91	166	—
—	«Финиш»	9	100	—	—	—	900	5,6	26	21	62	60	—
МЦ-1к	—	—	—	15	—	—	680	—	—	16*	6,6	4	—
МЦ-2к	—	—	—	15	—	—	680	—	—	21*	4,4	8	—
МЦ-3к	—	1,5	—	15	—	—	150	—	—	25,5*	8,4	15	—
МЦ-4к	—	—	—	15	—	—	150	—	—	30*	9,4	22	—

* Диаметр.

Э. д. с. ртутно-цинкового элемента равна около 1,3 в. С повышением температуры емкость элементов возрастает. При увеличении разрядного тока эта зависимость проявляется более резко. Если элементы эксплуатируются в прерывистом режиме, то величины предельных токов, при которых емкость равна номинальной, значительно повышаются, особенно при низких температурах.

Промышленность выпускает пять серий элементов, отличающихся по конструкции и области применения: пуговичные (РЦ53, РЦ55, РЦ63, РЦ65, РЦ73, РЦ83, РЦ85), пуговичные с двойными корпусами (РЦ82, РЦ84), цилиндрические (РЦ57, РЦ59, РЦ93), миниатюрные (РЦ11, РЦ13, РЦ25, РЦ31, РЦ32) и холодостойкие (РЦ83х, РЦ85х). Основные данные этих элементов приведены в табл. XI. 2.

Таблица XI. 2

Основные данные ртутно-цинковых элементов

Тип	Начальные характеристики			Гарантийная сохранность, мес.	Условия разряда		Интервал рабочих температур, °С	Размеры, мм		Вес, г
	Напряжение, в	При сопротивлении внешней цепи, ом	Емкость, а · ч		Продолжительность, ч	Сопротивление внешней цепи, ом		Диаметр	Высота	
РЦ11	1,25	—	0,02	6	—	8300	От 0 до +50	4,7	5,0	0,5
РЦ13	1,25	—	0,02	6	—	8300	То же	6,0	3,5	0,45
РЦ15	1,25	—	0,04	6	—	4150	» »	6,3	6,0	0,85
РЦ31	1,25	—	0,07	12	—	12500	» »	11,5	3,6	1,3
РЦ32	1,25	300	0,05	6	1,5	100	» »	11,0	3,5	1,3
РЦ53	1,25	120	0,2	12	5	40	» »	15,6	6,3	4,6
РЦ55	1,22	120	0,6	18	18	40	» »	15,6	12,5	9,5
РЦ57	1,25	60	1,0	12	50	60	» »	16,0	17,0	15
РЦ59	1,26	20	3,0	12	50	20	» »	16	50	44
РЦ63	1,25	60	0,5	12	6	20	» »	21	7,4	10,5
РЦ65	1,22	60	1,1	18	8	20	» »	21	13	18,1
РЦ73	1,25	40	1,0	12	6	15	» »	25,5	8,4	17,2
РЦ75	1,22	40	1,8	18	8	15	» »	25,5	13,5	27
РЦ82	1,25	25	1,5	18	8	10	От 0 до +70	30,1	9,4	30
РЦ83	1,25	25	1,5	18	8	10	» 0 » +50	30,1	9,4	28,2
РЦ83X	1,25	25	1,5	12	8	10	» -30 » +50	30,1	9,4	28,2
РЦ84	1,22	25	2,5	18	12	10	» 0 » +70	30,1	14	45
РЦ85	1,22	25	2,5	18	12	10	» 0 » +50	30,1	14	39,5
РЦ85X	1,22	25	2,5	12	12	10	» -30 » +50	30,1	14	39,5
РЦ93	1,25	—	13	6	—	4	» 0 » +50	31	60	170

* При напряжении в конце разряда 0,9 в.

§ 2. Малогабаритные аккумуляторы

Основные характеристики аккумуляторов такие же, как и для гальванических элементов (см. § 1). Дополнительно вводятся понятия коэффициентов отдачи.

Коэффициент отдачи по емкости η_e выражается соотношением

$$\eta_e = \frac{I_p t_p}{I_3 t_3},$$

где I_p и t_p — ток и время разряда; I_3 и t_3 — ток и время заряда.

Коэффициент отдачи по энергии выражается соотношением

$$\eta_3 = \frac{U_p I_p t_p}{U_3 I_3 t_3},$$

где U_3 и U_p — средние значения напряжений во время заряда и разряда.

Кадмиево-никелевые аккумуляторы применяются для питания малогабаритной радиоаппаратуры. Основным рабочим веществом положительного электрода таких аккумуляторов являются гидратные формы окислов никеля, а отрицательного электрода — металлический кадмий и гидрат окиси кадмия. Электролит — раствор щелочи — не принимает участия в химических процессах образования тока и является лишь носителем кислорода или ионов с положительного электрода на отрицательный. Аккумуляторы допускают заряд и разряд большими токами, не боятся кратковременных коротких замыканий и могут долго находиться в разряженном состоянии. Существуют следующие разновидности кадмиево-никелевых аккумуляторов: герметичные дисковые, герметичные цилиндрические и герметичные аккумуляторы в прямоугольных корпусах.

Герметичные дисковые аккумуляторы являются наиболее распространенным видом кадмиево-никелевых аккумуляторов. Основные данные дисковых аккумуляторов приведены в табл. XI. 3. Номинальная емкость

Таблица XI. 3

Основные данные герметичных дисковых аккумуляторов

Тип	Номинальная емкость, а · ч	Рекомендуемый ток разряда, ма	Нормальный ток заряда, ма	Продолжительность заряда, ч	Размеры, мм		Вес, г
					Диаметр	Высота	
Д-0,02Д	0,02	2—4	2	15	11,5	4,2	—
Д-0,03Д	0,03	3—6	3	15	11,5	5,5	—
Д-0,05Д	0,05	5—10	5	15	15,5	4,9	—
Д-0,06	0,06	6—12	6	15	15,6	6,4	4
Д-0,08Д	0,08	8—16	8	15	15,5	7,0	—
Д-0,1	0,1	10—20	10	15	20	6,9	7
Д-0,125Д	0,125	12—24	12,5	15	20	6,6	—
Д-0,2Д	0,2	20—40	20	15	25	7	—
Д-0,25	0,25	25—50	25	15	27	10	16
Д-0,3Д	0,3	30—60	30	15	25	9,4	—
Д-0,5Д	0,5	50—100	50	15	34	8,8	—
Д-0,8Д	0,8	80—160	80	15	50	7,7	—
7Д-0,1	0,1	10—20	10	15	24	62	55
10Д-0,25	0,25	25—50	20	19	—	—	200

аккумуляторов, указанная в таблице, обеспечивается при разряде номинальным током. При увеличении тока разряда емкость аккумулятора уменьшается. Э. д. с. свежезаряженного дискового аккумулятора составляет 1,35 в. Среднее напряжение при разряде 1,2 в. Конечное напряжение разряда определяется потребителем, исходя из допустимого уменьшения напряжения, обеспечивающего номинальный режим работы аппаратуры. Обычное конечное напряжение разряда равно 1 в. При глубоком разряде до 0,7 в аккумулятор отдает дополнительно лишь 6% номинальной емкости. Коэффициент отдачи по емкости — 50%, по энергии — 42%. Температурный диапазон работы дисковых аккумуля-

торов составляет 5—35° С. Допускается разряд в диапазоне температур от —5 до +50° С, однако при этом не гарантируются электрические показатели и срок службы. При температуре —10° С аккумуляторы отдадут в среднем 50—60% номинальной емкости. Если уменьшить ток разряда по сравнению с номинальным, то емкость аккумулятора при отрицательных температурах повышается. Аккумулятор, разряженный при температуре ниже нуля, способен отдать дополнительную емкость после оттаивания. В течение срока службы дисковых аккумуляторов их емкость уменьшается. По ТУ допускается снижение емкости после половины срока службы на 20% номинальной. Саморазряд дисковых аккумуляторов при хранении в заряженном состоянии в течение 30 суток составляет 18%. Особенностью эксплуатации дисковых аккумуляторов является необходимость заряда их слабыми токами порядка 10% номинальной величины (по емкости). Заряд большим током может привести к раздутию аккумулятора и потере им герметичности. Дисковые аккумуляторы допускают 100%-ный перезаряд по емкости.

Герметичные цилиндрические аккумуляторы отличаются от дисковых конструкцией, температурным диапазоном работы (от —10 до +35° С) и сроком службы (100—300 циклов заряд — разряд в зависимости от типа аккумулятора и режима его работы). Основные данные герметичных цилиндрических аккумуляторов приведены в табл. XI. 4. Емкость цилиндрических аккумуляторов повышается при уменьшении тока разряда. Зарядка должна производиться малым током (из расчета получения номинальной емкости за 10—15 ч). Коэффициент отдачи по емкости 70%.

Таблица XI.4

Основные данные герметичных цилиндрических аккумуляторов

Тип	Номинальная емкость, а · ч	Условия разряда		Условия заряда		Размеры, мм		Вес, г
		Номинальный ток, ма	Длительность *, ч	Ток, ма	Длительность**, ч	Диаметр	Высота	
A5	0,006	70	0,08	0,6	15	7,1	20	3,3
A2	0,02	200	0,1	2,0	15	7,1	33	5,9
A4	0,1	200	0,5	10,0	15	7,0	77	15,0
HФ4	0,22	3300	0,06	22	15	20	33	41
HФ6	0,42	6300	0,06	42	15	24	49	90
H7	1,4	1200	1,1	140	15	24	77	130
ЦНК-0,2	0,2	20—40	—	20	15	16	25	15
ЦНК-0,45	0,45	45—90	—	45	15	14	50	23
ЦНК-0,85	0,85	85—170	—	85	15	14	96	41
ЗЦНК-0,2	0,2	20—40	—	20	15	16	74	40

* При разряде до напряжения 1 в. ** Для аккумуляторов, разряженных до напряжения 1 в.

Герметичные аккумуляторы в прямоугольных корпусах по характеристикам не отличаются от цилиндрических аккумуляторов. Основные данные их приведены в табл. XI. 5.

Серебряно-цинковые аккумуляторы характеризуются сравнительно большой удельной емкостью и очень малым внутренним сопротивлением. Отрицательные электроды аккумуляторов спрессованы из смеси окиси цинка и цинковой пыли на токоотводе, изготовленном из серебряной

проволоки, положительные электроды спрессованы из серебряного порошка. Сепараторы изготовлены из целлофана. Электролитом служит раствор химически чистого (марка ЧДА) едкого калия (КОН) плотностью 1,4. Сосуды изготавливаются из прозрачных и полупрозрачных пластмасс, что обеспечивает возможность контроля уровня электролита без вывинчивания пробок.

Таблица XI.5

Основные данные герметичных аккумуляторов в прямоугольных корпусах

Тип	Номинальная емкость, а · ч	Рекомендуемый ток разряда, ма	Условия заряда		Размеры, мм			Вес, г
			Ток, ма	Длительность *, ч	Высота	Длина	Ширина	
КНГ-0,35Д	0,35	35—70	35	15	41	15	10	21
КНГ-0,7Д	0,7	70—140	70	15	41	25	12	31
КНГ-1,0Д	1,0	100—200	100	15	41	35	14	61
КНГ-1,5	1,5	150—300	150	15	70	35	14	100

* Для аккумуляторов, разряженных до напряжения 1 в.

Таблица XI.6

Основные данные серебряно-цинковых аккумуляторов

Тип	Номинальное напряжение, в	Номинальная емкость *, а · ч	Нормальный разрядный ток, а	Ток при пятиминутном разряде, а	Нормальный зарядный ток, а	Размеры, мм			Вес аккумулятора с электролитом, кг
						Длина	Ширина	Высота	
СЦ-0,5	1,5	0,85	0,5	2	0,025	24	12	47	0,024
СЦ-1,5	1,5	1,8	1,5	3,5	0,08	28	14	50	0,035
СЦ-3	1,5	4,5	3,0	35	0,15	43	18	73	0,095
СЦ-5	1,5	7,5	5,0	60	0,5	45	32	77	0,16
СЦ-11	1,5	11	11	120	1,0	21	41	100	0,19
СЦ-12	1,5	14	14	80	1,0	48	22	115	0,195
СЦ-15	1,5	16,5	16	100	1,0	48	28	115	0,245
СЦ-18	1,5	20	18	120	1,5	48	33	115	0,3
СЦ-25	1,5	25	25	150	1,5	48	48	136	0,33
СЦ-40	1,5	45	40	180	4,0	53	50	160	0,72
СЦ-45	1,5	50	45	200	4,0	53	50	165	0,76
СЦ-50	1,5	55	50	250	5,0	64	49	165	0,84
СЦ-70	1,5	80	70	400	7,0	91	50	166	1,35
СЦ-95	1,5	95	95	1200	10	71	55	212	1,82
СЦ-100	1,5	100	100	600	10	106	50	153	1,6
СЦ-120	1,5	130	120	650	12	71	55	237	1,9
3СЦ-5	4,5	7,5	5	60	0,5	96	45	77	0,59
5СЦ-5	7,5	7,5	5	60	0,5	160	45	77	1,02
8СЦ-45	12,0	50	45	200	4,0	200	110	160	6,48
15СЦ-45	22,5	45	45	200	4,0	432	126	170	16,0

* При десятичасовом разряде.

Напряжение серебряно-цинкового аккумулятора в начале разряда составляет 1,88 в, в течение примерно третьей части общего времени разряда снижается до 1,5 в и далее остается почти постоянным. Коэффициент отдачи по емкости составляет около 100%, по энергии — около 85%, саморазряд в течение 6 мес. — около 30%, срок службы —

35—50 циклов заряд—разряд. Аккумуляторы нормально работают в интервале температур от -30 до $+50^{\circ}\text{C}$. В режимах кратковременного разряда они могут работать и при более низких температурах (до -59°C) благодаря саморазогреву. При температурах ниже -10°C емкость аккумуляторов уменьшается по сравнению с номинальной.

Внутреннее сопротивление серебряно-цинковых аккумуляторов очень мало, поэтому они могут работать в кратковременных режимах разряда (при больших токах разряда). Однако при этом сокращается срок службы. Величина емкости от режима разряда не зависит.

Серебряно-цинковые аккумуляторы чрезвычайно чувствительны к перезаряду и загрязнению электролита. При заряде батарей необходимо контролировать напряжение каждого аккумулятора, особенно в конце заряда. Во избежание выхода из строя батарей нельзя допускать глубокого разряда отдельных аккумуляторов. Запрещается разряжать и заряжать аккумуляторы, соединенные параллельно. Схема включения аккумуляторов при зарядке приведена на рис. XI. 1, в. Добавлять электролит в аккумуляторы следует после зарядки, когда его уровень максимален. Для этого можно использовать только химически чистый электролит. При отсутствии электролита можно доливать дистиллированную воду. Применение обыкновенной воды недопустимо.

Основные данные серебряно-цинковых аккумуляторов приведены в табл. XI. 6.

§ 3. Преобразователи напряжения на транзисторах

Преобразователи напряжения применяются в тех случаях, когда для питания радиоаппаратуры требуются напряжения, более высокие по сравнению с напряжением источника питания (аккумулятора или бортовой сети). Для питания маломощной радиоаппаратуры используются транзисторные преобразователи постоянного напряжения. Основной их недостаток — чувствительность к изменениям температуры окружающей среды, достоинства — высокая надежность, сравнительно высокий к. п. д. (70—90%), устойчивость к механическим воздействиям.

Преобразователи на транзисторах можно разделить на две группы: без усиления и с усилением. Преобразователь без усиления состоит из генератора, выходное напряжение которого имеет прямоугольную форму, выпрямителя и сглаживающего фильтра. Преобразователь второй группы состоит из генератора и усилителя, повышающего мощность колебаний генератора. Генератор и усилитель питаются от общего источника, постоянное напряжение которого необходимо преобразовать.

Недостатком преобразователей первой группы является сильная зависимость преобразованного напряжения от величины нагрузки. Такие преобразователи целесообразно применять при малых мощностях преобразованного напряжения (до 20—30 *вт*) в тех случаях, когда нежелательно усложнять схему. Преобразователи второй группы используются тогда, когда требуется значительная мощность преобразованного напряжения (свыше 30—50 *вт*) и при переменной нагрузке.

В транзисторных преобразователях напряжения в настоящее время широко используются двухтактные схемы генераторов с трансформаторной связью. Транзисторы генераторов могут быть включены по схеме с общей базой, с общим эмиттером или с общим коллектором (рис. XI. 2). Чаще всего применяется схема с общим эмиттером, при использовании которой можно получить большой к. п. д. при малых напряжениях источника питания. При высоких напряжениях источника питания (25—30 в) целесообразно включать транзисторы по схеме с общей базой,

так как в этой схеме допустимое напряжение на коллекторе транзистора больше. Включение транзисторов по схеме с общим коллектором удобно тем, что при этом не требуется изолировать корпус транзистора (к которому присоединен коллектор) от шасси преобразователя.

Для расчета преобразователя необходимо знать требуемое выходное напряжение U_2 , номинальный ток нагрузки I_2 , напряжение источника питания U_1 и условия работы преобразователя. Если ожидается кратковременная перегрузка, должно быть задано также максимальное значение тока нагрузки. Напряжение источника питания лучше всего выбирать в пределах 12—20 в. При меньших напряжениях питания к. п. д. преобразователя будет меньшим. При напряжениях источника питания выше 20—25 в обратное напряжение на коллекторе может оказаться близким к максимально допустимому для транзисторов.

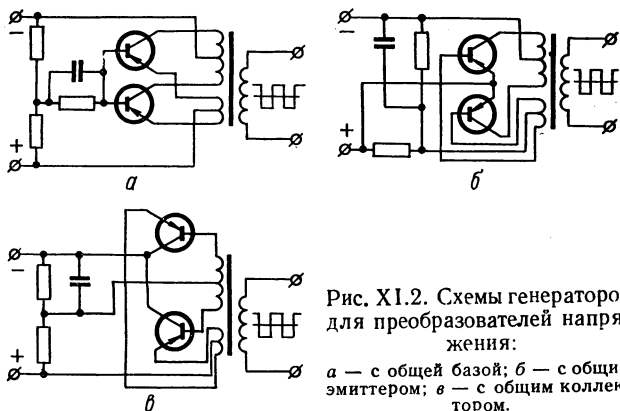


Рис. XI.2. Схемы генераторов для преобразователей напряжения:

a — с общей базой; *б* — с общим эмиттером; *в* — с общим коллектором.

Тип транзисторов выбирается по величине входного тока преобразователя I_1 , который приблизительно равен току коллектора $I_{км}$:

$$I_{км} \approx I_1 = \frac{U_2 I_2}{\eta U_1},$$

где η — к. п. д. преобразователя. Обычно принимают $\eta = 0,65$ — $0,90$. Верхний предел относится к преобразователям значительной мощности, нижний — к маломощным преобразователям при напряжении источника питания 2—4 в. Чаще всего (при мощностях от единиц до нескольких десятков ватт, напряжении источника питания 12—20 в и рационально выбранной частоте) $\eta = 0,8$.

Вычисленная по приведенной формуле величина тока должна быть в полтора—два раза меньше допустимого тока коллектора (см. § 2 гл. IV). Допускается применять параллельное включение транзисторов. При этом нужно выбирать транзисторы с одинаковыми характеристиками и размещать параллельно соединенные транзисторы на одной пластине, служащей теплоотводом. В преобразователях мощностью более 15—20 вт транзисторы должны быть снабжены радиаторами (теплоотводами). Допустимое максимальное обратное напряжение транзисторов должно быть по крайней мере в два раза больше напряжения источника питания.

Преобразователь напряжения, собранный по схеме, приведенной на рис. XI. 3, а, рассчитывается следующим образом.

1. Определяется количество полупроводниковых диодов в каждом плече мостовой схемы выпрямителя

$$N = \frac{U_2}{U_{обр}},$$

где $U_{обр}$ — допустимое обратное напряжение для выбранного типа диода. Полученное число округляется до целого в сторону увеличения.

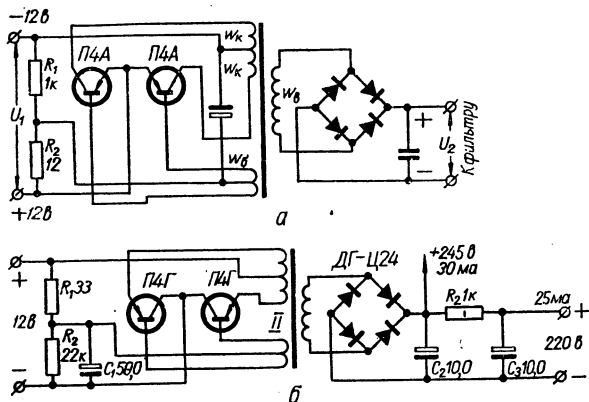


Рис. XI. 3. Схемы преобразователей напряжения постоянного тока:

а — с общим эмиттером; б — с общим коллектором.

Допустимое значение среднего выпрямленного тока для данного типа диодов должно быть больше половины номинального тока нагрузки преобразователя.

2. Ориентировочно определяется величина входной емкости фильтра

$$C = 1,5 \cdot 10^6 \frac{I_2}{f U_{2p}} \text{ мкф},$$

где f — частота преобразования, $гц$; p — допустимый коэффициент пульсаций, %; I_2 — ток нагрузки, $а$.

Если трансформатор преобразователя собирается на магнитопроводе из трансформаторной стали, частота преобразования выбирается равной 1—2 $кгц$ при мощностях до 100 $вт$ и 300—400 $гц$ при больших мощностях. Для маломощных преобразователей (единицы и один-два десятка ватт) при использовании ферритов частота преобразования может быть повышена до 4—5 $кгц$. Коэффициент пульсаций можно выбрать равным нескольким процентам.

3. Определяется габаритная мощность трансформатора

$$P_{габ} = 1,3 U_2 I_2 \text{ в}а.$$

4. Для выбора типа и размеров магнитопровода трансформатора определяется произведение площади сечения S_c на площадь окна $S_{\text{окн}}$

$$S_c S_{\text{окн}} = 1,5 \cdot 10^6 \frac{P_{\text{раб}}}{f B_m} \text{ см}^4,$$

где B_m — максимальное значение индукции, гс. Для материалов с прямоугольной петлей гистерезиса (например, пермаллой 50НП) и для тороидальных магнитопроводов из ферритов величину B_m можно считать равной индукции насыщения B_S . Для магнитопроводов из электротехнической стали и пермаллоя B_m зависит от марки материала, типа магнитопровода и обычно определяется экспериментально. В некоторых случаях для определения B_m можно воспользоваться данными табл. XI. 7.

Таблица XI. 7

Значение индукции B_m для магнитных сплавов, из которых изготавливаются магнитопроводы

Материал		Тип магнитопровода	Размеры магнитопровода, мм	Среднее значение B_m , гс
Марка	Толщина, мм			
Э42	0,35	Броневой Ш9	Толщина набора 5—18	8500
Э44	0,2	» Ш9	» » 5—10	9000
50Н	0,15—0,2	» Ш9	» » 4—15	7700
79НМ	0,2	» Ш12	» » 4—10	7400
Э310	0,08	Ленточный разрезной Ш9	Ширина ленты 10	10000
50НП	0,05	Тороидальный неразрезной	Диаметр внутренний 30; наружный — 40—60; ширина ленты 10	14500

Тип магнитопровода можно выбрать по табл. III. 9—III. 11.

5. Определяется количество витков половины коллекторной обмотки

$$w_k = 0,25 \cdot 10^8 \frac{U_1 - 0,5}{f B_m S_c};$$

количество витков половины базовой обмотки

$$w_b = w_k \frac{3 \div 4}{U_1 - 0,5};$$

количество витков выходной обмотки

$$w_b = w_k \frac{U_2}{U_1 - 0,5}.$$

6. Определяется действующее значение токов в коллекторной I_k , базовой I_b и выходной I_b обмотках

$$I_k = 0,7 I_{\text{км}}; I_b = 0,7 I_{\text{км}} \frac{1 - \alpha}{\alpha}; I_b = I_2,$$

где α — коэффициент усиления транзисторов по току.

7. Определяются диаметры проводов обмоток

$$d = 0,6 \sqrt{I} \text{ мм},$$

где I — ток в обмотке, a .

8. Определяется приближительное значение мощности, выделяющейся на одном транзисторе.

$$P_k = (0,25 + 0,017U_1) I_{к\text{т}}.$$

По величине P_k определяются размеры радиаторов (см. гл. IV).

9. Определяются ориентировочные величины сопротивлений резистора R_1

$$R_1 = \frac{3 \div 4}{\sqrt{2} I_6} \text{ ом}$$

и резистора R_2

$$R_2 = R_1 (U_1 - 1) \text{ ом}.$$

Пример. Рассчитать преобразователь напряжения для автомобильного приемника А-17 (напряжение питания — 12,6 в, выходное напряжение — 240 в при токе нагрузки 70 ма).

$$I_{к\text{т}} = \frac{240 \cdot 0,07}{12,6 \cdot 0,8} = 1,67 \text{ а}.$$

Выбираем транзисторы типа П4В (табл. IV. 14).

1. Выбираем диоды типа Д7Д (табл. IV. 20)

$$N = \frac{240}{300} \approx 1.$$

$$2. C = 1,5 \cdot 10^6 \frac{0,07}{10^3 \cdot 240 \cdot 3} = 0,146 \text{ мкф}.$$

$$3. P_{\text{габ}} = 1,3 \cdot 240 \cdot 0,07 = 22 \text{ в} \cdot \text{а}.$$

$$4. S_c S_{\text{окн}} = 1,5 \cdot 10^6 \frac{22}{10^3 \cdot 8500} = 3,9 \text{ см}^4.$$

$B_m = 8500 \text{ гс}$ (см. табл. XI. 7).

Выбираем магнитопровод типа УШ 14×14 : $S_{\text{окн}} = 2,25 \text{ см}^2$;
 $S_c = 1,76 \text{ см}^2$.

$$5. \omega_k = 0,25 \cdot 10^8 \frac{12,6 - 0,5}{10^3 \cdot 8500 \cdot 1,76} = 20 \text{ витков};$$

$$\omega_6 = 20 \frac{3,5}{12,6 - 0,5} = 6 \text{ витков}; \quad \omega_B = 20 \frac{240}{12,6 - 0,5} = 400 \text{ витков}.$$

$$6. I_k = 0,7 \cdot 1,67 = 1,17 \text{ а}; \quad I_6 = 0,7 \cdot 1,67 \frac{1 - 0,9}{0,9} = 0,13 \text{ а}; \quad I_B = \\ = 0,07 \text{ а}.$$

$$7. d_k = 0,6 \sqrt{1,17} = 0,65 \text{ мм}; \quad d_6 = 0,6 \sqrt{0,13} = 0,22 \text{ мм}; \quad d_B = \\ = 0,6 \sqrt{0,07} = 0,16 \text{ мм}.$$

8. $P_k = (0,25 + 0,17 \cdot 12,6) \cdot 1,67 = 0,78 \text{ вт}$. Радиаторы не нужны.

$$9. R_1 = \frac{3,5}{1,41 \cdot 0,13} \approx 20 \text{ ом}; \quad R_2 = 20 (12,6 - 1) \approx 230 \text{ ом}.$$

На рис. XI. 3, б приведена схема преобразователя напряжения, в котором транзисторы включены по схеме с общим коллектором. Такой преобразователь может отдавать мощность до 50 *вт*. Трансформатор выполнен на магнитопроводе типа УШ20 × 20 из стали марки Э41.

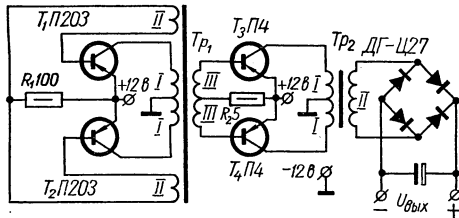


Рис. X.4. Схема преобразователя напряжения постоянного тока с услителем.

Магнитопровод собран вперекрышку. Обмотка I содержит 40×2 витков провода марки ПЭЛ 0,8; обмотка II — 50×2 витков провода марки ПЭЛ 0,2 и обмотка III — 950 витков провода ПЭЛ 0,2 (для выходного напряжения 240—250 в).

Преобразователь напряжения с выходной мощностью около 40 *вт* можно собрать по схеме, приведенной на рис. XI. 4. Такой преобразо-

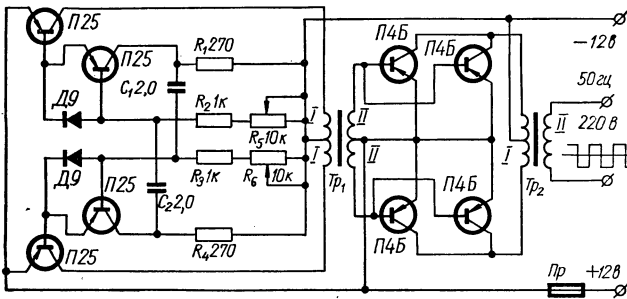


Рис. XI. 5. Схема преобразователя напряжения постоянного тока в переменное напряжение с частотой 50 *гц*.

ватель может кратковременно отдавать мощность до 100 *вт*. Задающий генератор выполняется на транзисторах типа П203; можно применять также и другие транзисторы с максимально допустимым напряжением эмиттер — коллектор не менее 25 в (например, транзисторы типов П20, П21, П25, П26).

Трансформатор Tr_1 выполняется на тороидальном магнитопроводе, изготовленном из пермаллоевой ленты (марка 50НП) толщиной 0,05 мм. Внутренний диаметр тороида 15, внешний 25, толщина 5 мм. Обмотки I и II наматываются проводом ПЭЛ 0,25, обмотки III — проводом ПЭЛ 0,51. Обмотки I содержат по 60 витков, обмотки II и III — по 10 витков.

Трансформатор Tr_2 выполняется на таком же магнитопроводе, как и трансформатор Tr_1 , но толщина тороида равна 10 мм. Обмотки I со-

держат по 35 витков провода ПЭЛ 0,69, обмотка *II* — 350 витков провода ПЭЛ 0,25.

Если на выходе преобразователя необходимо получить переменное напряжение со стабильной частотой (например, для питания магнитофона или проигрывателя), в качестве задающего генератора целесообразно использовать обычный мультивибратор. Практическая схема такого преобразователя приведена на рис. XI.5. Выходная мощность преобразователя — до 100 *вт*. Трансформатор Tr_1 может быть выполнен на магнитопроводе из пластин Ш12 (сталь Э330) при толщине набора 16 *мм*. Обмотки *I* содержат по 500 витков провода ПЭЛ 0,23, обмотки *II* — по 65 витков провода ПЭЛ 0,59. Обмотки наматываются в два провода, каждый из которых образует отдельную секцию. В средней точке каждой обмотки соединяется конец одной секции с началом другой. Трансформатор Tr_2 можно выполнить на магнитопроводе типа Ш32 \times 38. Обмотка *I* содержит 50 \times 2 витков провода ПЭЛ 1,4, обмотка *II* — 2100 витков провода ПЭЛ 0,49. Способ намотки такой же, как и для трансформатора Tr_1 .

Если желательно получить близкую к синусоидальной форму выходного напряжения, последовательно с выходной обмоткой трансформатора следует включить конденсатор, емкость которого подбирается экспериментально в зависимости от характера нагрузки преобразователя. При подборе емкости следует контролировать форму тока (а не напряжения!) на выходе преобразователя.

ОБРАЗЦЫ ПРОМЫШЛЕННЫХ И ЛЮБИТЕЛЬСКИХ МАЛОГАБАРИТНЫХ РАДИОУСТРОЙСТВ

§ 1. Радиоприемные устройства

Миниатюрные приемники и микроприемники

Простейший рефлексный приемник прямого усиления на одном транзисторе можно собрать с использованием минимального количества радиодеталей по схемам рис. XII. 1 и XII. 2. Его конструктивное выполнение может быть самым различным, все зависит от выбранных деталей и изобретательности радиолюбителя.

В первом варианте приемника прямого усиления [32], схема которого изображена на рис. XII.1, использованы всего один транзистор и один диод. Здесь применена фиксированная настройка на одну станцию, сигнал которой выделяется входным контуром L_1C_1 . Транзистор T_1 выполняет функ-

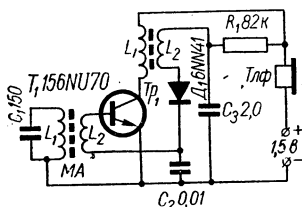


Рис. XII. 1. Схема простейшего рефлексного приемника (вариант I).

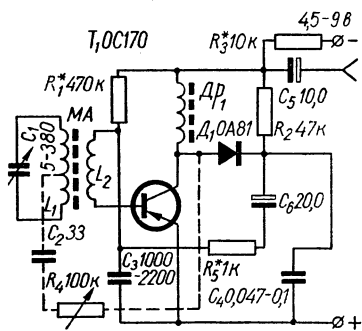


Рис. XII. 2. Схема простейшего рефлексного приемника (вариант II).

ции усилителя ВЧ и НЧ, диод D_1 — функции детектора. Магнитная антенна приемника состоит из плоского ферритового стержня длиной около 30 мм с намотанными на нем (внавал) катушками L_1 и L_2 . Катушка L_1 содержит от 70 до 100 витков, а L_2 — 15 витков провода ПЭЛШО 0,1. Высокочастотный трансформатор TP_1 наматывают на ферритовом кольце (диаметр кольца 10 мм и высота 2,5 или 5 мм); он имеет по 180 витков провода ПЭЛ — 0,1 в каждой обмотке.

В качестве источника питания используется элемент типа Д-0,06.

Вместо транзистора 156 NU70 в приемнике возможно применение транзистора П40З, при этом полярность источника питания и электрор-

литического конденсатора следует изменить на противоположную. В детекторе следует применить точечный диод Д9Е.

В схеме, показанной на рис. XII.2 (второй вариант), транзистор T_1 совмещает функции усилителя ВЧ и НЧ [33]. Сигнал ВЧ, снимаемый с антенного контура L_1C_1 , через катушку связи L_2 подводится к базе транзистора. Усиленный сигнал с ВЧ нагрузки (дросселя Dr_1) подается на детектор, выполненный на диоде D_1 . Выделенный фильтром R_2C_4 НЧ сигнал снова вводится в базовую цепь транзистора через разделительный конденсатор C_6 . Для НЧ сигнала нагрузкой в каскаде будет резистор R_3 , величина которого подбирается в зависимости от режима, в котором работает транзистор, что в конечном итоге определится напряжением источника питания. Если напряжение этого источника 9 в, сопротивление R_3 равно 10 ком, при уменьшении напряжения сопротивление резистора уменьшается. То же самое можно сказать и о выборе базового резистора R_1 , которым устанавливается режим всего каскада.

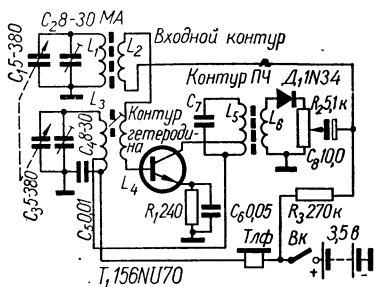


Рис. XII. 3. Схема рефлексного супергетеродина.

L_2 — 8 витков провода диаметром 0,1 мм. Отвод в контурной катушке производится примерно от восьмого — десятого витка.

В качестве транзистора T_1 можно применить как $p-n-p$ транзисторы типов П403—П423, так и $n-p-n$ транзисторы типа КТ301. В последнем случае полярность источника питания и электролитических конденсаторов меняется на противоположную. Диод ОА81 можно заменить на Д2Е или Д9Е.

Простейшие рефлексные приемники прямого усиления на одном транзисторе описаны в [32] и [33].

Рефлексный супергетеродин на одном транзисторе и одном диоде (рис. XII.3) рассчитан на работу в средневолновом диапазоне [32].

Входной сигнал, выделенный контуром магнитной антенны, посредством катушки связи L_2 вводится в базовую цепь транзистора T_1 , который совмещает в себе функции преобразователя и гетеродина (по высокой частоте). Напряжение гетеродина подается последовательно с входным сигналом при помощи катушки связи L_4 . Разностная частота выделяется в контуре ПЧ L_6C_7 . Вторичная обмотка контура ПЧ (L_6) нагружена на детектор D_1 , с нагрузки которого — переменного резистора R_2 — продетектированное напряжение снова подается на базу транзистора T_1 . На этот раз транзистор работает как усилитель НЧ, а его нагрузкой служат сопротивления головных телефонов, зашунтированные емкостью конденсатора C_6 , представляющего малое сопротивление для токов ВЧ.

Все элементы этого рефлексного приемника взяты от обычного транзисторного карманного приемника: входной контур и контур гетероди-

на — средневолнового диапазона, контур ПЧ — контур усилителя ПЧ, работающего на детектор. Источник питания — три элемента типа Д — 0,06 или батарея на 3,5 в от карманного фонаря.

Вместо транзистора 156 NU70 возможно применение транзистора П403, при этом полярность источника питания и электролитического конденсатора следует изменить на противоположную. В детекторе можно применить точечный диод Д9Е.

Рефлексный супергетеродин на одном транзисторе описан в [32].

Простой приемник с фиксированной настройкой, собранный по рефлексной схеме, предназначен для приема одной местной радиостанции.

Принципиальная схема приемника показана на рис. XII.4. Оба транзистора (T_1 и T_2) используются для усиления как высокой, так и низкой частоты, благодаря чему удалось ток, потребляемый приемником от батарей, уменьшить до 1 ма.

Магнитная антенна приемника выполнена на ферритовом стержне марки 600НН (Ф-600) диаметром 7 и длиной 40 мм. Катушка L_1 содержит 70 витков провода ПЭЛ 0,1—0,12, L_2 — 10 витков того же провода. При указанных намоточных данных катушек приемник может быть настроен конденсатором C_1 на радиоволну длиной 250—300 м.

Трансформатор Tr_1 наматывают на ферритовом кольце марки 600НН (Ф-600) диаметром 8—10 мм. Первичная обмотка (I) содержит 60 витков, а вторичная (II) — 120 витков провода ПЭЛ 0,08. Все резисторы типа УЛМ. Конденсатор C_1 типа КПК-М, C_2 — МБМ, C_3 — ЭМИ, C_4 — КДС или КЛС. Статический коэффициент усиления по току β транзисторов в пределах 20—100. Диод D_1 — любой точечный диод из группы Д9. Выключатель BK_1 — любой малогабаритный, в том числе самодельный. Прослушивание передач ведется на головные телефоны.

Все детали приемника, кроме телефона, смонтированы на гетинаксовой (или текстолитовой) плате размером 30×50 мм и толщиной 1 мм. При использовании малогабаритных деталей размеры приемника могут быть близкими к размерам спичечного коробка. Примерные размеры футляра приемника $12 \times 32 \times 52$ мм. Футляр можно изготовить из листового органического стекла толщиной 1—1,5 мм.

Налаживание сводится к установлению требуемого режима работы транзисторов и настройке контура магнитной антенны на волну желаемой станции. Первое осуществляется путем подбора сопротивления резистора R_1 таким образом, чтобы миллиамперметр, включенный в общую цепь питания приемника, показывал ток в пределах 1,0—1,2 ма. Настройка на станцию производится вращением ротора конденсатора C_1 .

Если приемник настроить на радиостанцию не удастся, то следует изменить число витков катушки L_1 . Увеличивать число витков этой катушки более чем до 200 нецелесообразно. Для приема длинноволновой станции надо параллельно конденсатору C_1 подключать дополнительно слюдяной или керамический конденсатор емкостью 30—360 пф.

Конструкция приема с фиксированной настройкой описана в [20].

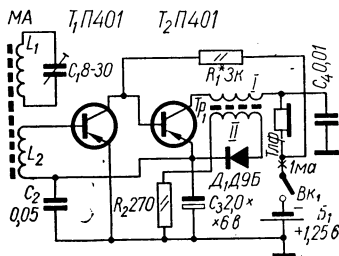


Рис. XII. 4. Схема простого приемника с фиксированной настройкой.

Детский приемник, несмотря на свою простоту, имеет относительно высокую чувствительность. На рис. XII.5. приведена схема такого приемника. Транзистор T_1 работает как рефлексный усилитель. Для напряжения ВЧ нагрузкой его коллекторной цепи является трансформатор Tr_1 , вторичная обмотка которого присоединена к детектору на диоде D_1 . Выделенное напряжение НЧ с нагрузки детектора вводится опять в базовую цепь транзистора T_1 , нагрузкой которого для напряжения НЧ будет на этот раз первичная обмотка трансформатора Tr_2 . Усиленное этим транзистором низкочастотное напряжение поступает в базовую цепь транзистора T_3 , работающего в классе А. Коллекторный ток последнего доходит до величины 25 мА, а полезная мощность такого выходного каскада НЧ приблизительно 80 мВт.

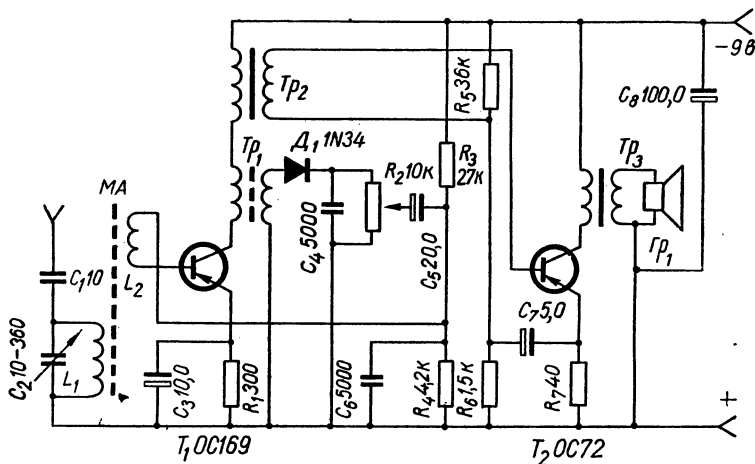


Рис. XII. 5. Схема детского приемника.

Число витков катушки контура L_1 — 93, L_2 — 7 витков провода типа ПЭЛШО 0,1. Использование проволочной внешней антенны значительно повышает чувствительность приемника. Вместо типов транзисторов, указанных в схеме, можно использовать транзистор типа П403 — в рефлексном каскаде, и транзистор типа МП40 — в выходном. Для сердечника ВЧ трансформатора Tr_1 можно использовать ферритовое кольцо диаметром 10 мм. Тогда первичная обмотка этого трансформатора будет иметь 150 витков, вторичная — 25 витков провода ПЭЛШО 0,1. Низкочастотные трансформаторы Tr_2 и Tr_3 могут быть применены от любого транзисторного приемника.

Детский приемник описан в [12].

Миниатюрный приемник на трех транзисторах собран по рефлексной схеме, приведенной на рис. XII.6. Для приемной антенны использован ферритовый стержень длиной 45 мм. Катушка L_1 состоит из $52 + 12$ витков провода ПЭЛШО 0,1—0,15.

Транзистор T_1 работает в каскаде усиления ВЧ сигнала и предварительного усиления НЧ. Сопротивление резистора R_1 выбирают таким, чтобы получить наибольшее усиление. Положительная обратная связь, повышающая добротность контура, устанавливается выбором емкости конденсатора C_4 . Нагрузка по высокой частоте для этого каскада —

дроссель L_2 (100—200 витков провода ПЭЛШО 0,1, намотанных на ферритовом кольце диаметром 10 мм). Протектированный сигнал с детектора на диодах D_1 и D_2 снова подается на базу транзистора T_1 и усиливается им. Нагрузка по низкой частоте этого каскада — резистор R_3 (поскольку дроссель L_2 представляет ничтожно малое сопротив-

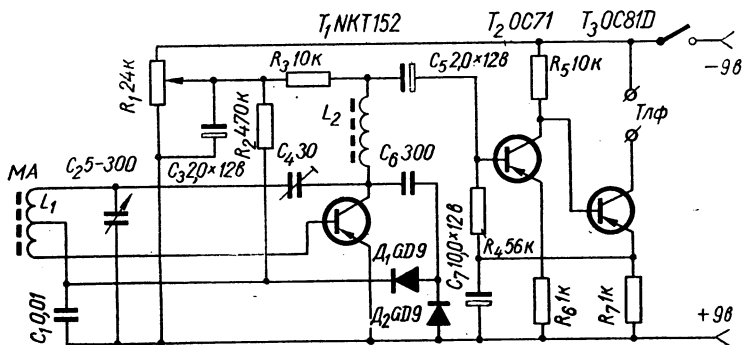


Рис. XII. 6. Схема миниатюрного приемника на трех транзисторах.

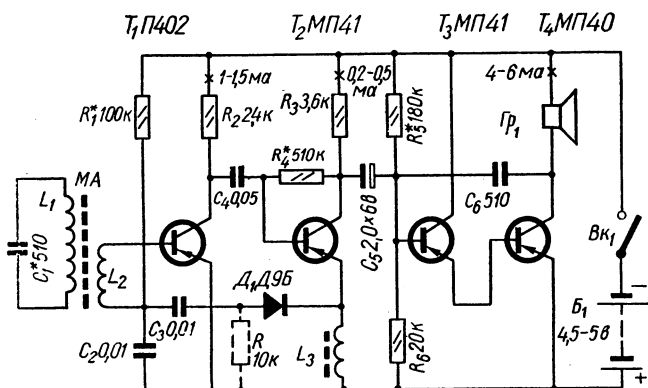


Рис. XII. 7. Схема громкоговорящего микроприемника.

ление для тока низкой частоты). НЧ сигнал усиливается затем двухкаскадным услителем на транзисторах T_2 , T_3 .

Транзистор первого каскада должен иметь возможно больший статический коэффициент передачи тока. Выбор транзисторов T_2 , T_3 по коэффициенту усиления не критичен.

В первом каскаде приемника можно применить также транзистор ГТ309Д, а для последующих двух каскадов — ГТ109А или с любым другим буквенным индексом. Диоды типа Д2 или Д9 с любым буквенным индексом. Миниатюрный приемник на трех транзисторах описан в [27].

Громкоговорящий микроприемник можно собрать в футляре величиной со спичечный коробок. Несмотря на столь малые размеры, он обеспечивает громкоговорящий прием местной радиостанции.

Приемник собран по рефлексной схеме прямого усиления 2—V—3 (рис. XII.7), содержащей четыре транзистора и один диод. В качестве громкоговорителя использован переделанный капсюль типа ДЭМШ-1а. Все детали приемника малогабаритные.

Для магнитной антенны использован ферритовый стержень марки 600 НН (Ф-600) диаметром 7 мм и длиной 35 мм, сточенный на квадрат со сторонами 4 мм. Катушка L_1 содержит 90 витков провода ПЭВ 0,12, а L_2 — 10 витков того же провода. Намотка катушек — виток к витку. При указанных намоточных данных и емкости конденсатора C_1 470—510 пф приемник может быть настроен на радиостанцию, работающую на волне длиной 1000—1100 м.

Дроссель L_3 намотан на ферритовом кольце марки 600 НН (Ф-600) с внутренним диаметром 7 мм и содержит 200 витков провода ПЭВ 0,12.

Диффузородержатель громкоговорителя, имеющий форму рамки с размерами 37×50 мм (на всю внутреннюю площадь лицевой панели приемника), вырезан из деревянной линейки толщиной 3 мм. По периметру диффузородержателя закреплены картонные планки сечением 2×2 мм, питательные клеєм БФ-2, к которым приклеен диффузор — полоска черной оберточной фотобумаги. Устройство громкогово-

рителя, аналогичное примененному в этом приемнике, более подробно описано в [25].

Налаживание приемника сводится в основном к установке режимов работы транзисторов, что достигается путем подбора сопротивлений резисторов R_1 , R_4 и R_6 .

Перед налаживанием приемника полезно вмонтировать в него нагрузочный резистор детектора (на схеме показан пунктиром), создающий путь постоянной составляющей протектированного сигнала.

Громкоговорящий приемник описан в [37].

Рефлексный приемник на трех транзисторах. При сохранении основного построения схемы для ВЧ сигнала в этом устройстве транзисторы используются вторично для усиления НЧ сигнала, причем оконечный каскад нагружен на громкоговоритель (рис. XII. 8).

ВЧ сигнал, снимаемый с ферритовой антенны (для подключения внешней антенны в приемнике предусмотрен соответствующий вывод), через катушку связи L_2 подается на базу первого транзистора T_1 , включенного по схеме с ОЭ. Нагрузкой этого транзистора по ВЧ является высокочастотный трансформатор Tr_2 . Вторичная обмотка трансформатора нагружена на детектор D_1 , с нагрузки которого сигнал снова подается на базу T_1 . На этот раз нагрузкой транзистора T_1 будет каскад на транзисторе T_2 , включенный по схеме

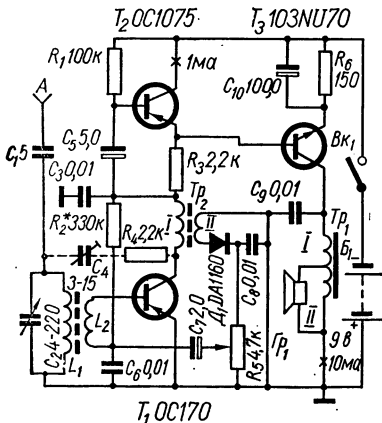


Рис. XII. 8. Схема рефлексного приемника на трех транзисторах.

рителя, аналогичное примененному в этом приемнике, более подробно описано в [25].

Налаживание приемника сводится в основном к установке режимов работы транзисторов, что достигается путем подбора сопротивлений резисторов R_1 , R_4 и R_6 .

Перед налаживанием приемника полезно вмонтировать в него нагрузочный резистор детектора (на схеме показан пунктиром), создающий путь постоянной составляющей протектированного сигнала.

Громкоговорящий приемник описан в [37].

Рефлексный приемник на трех транзисторах. При сохранении основного построения схемы для ВЧ сигнала в этом устройстве транзисторы используются вторично для усиления НЧ сигнала, причем оконечный каскад нагружен на громкоговоритель (рис. XII. 8).

ВЧ сигнал, снимаемый с ферритовой антенны (для подключения внешней антенны в приемнике предусмотрен соответствующий вывод), через катушку связи L_2 подается на базу первого транзистора T_1 , включенного по схеме с ОЭ. Нагрузкой этого транзистора по ВЧ является высокочастотный трансформатор Tr_2 . Вторичная обмотка трансформатора нагружена на детектор D_1 , с нагрузки которого сигнал снова подается на базу T_1 . На этот раз нагрузкой транзистора T_1 будет каскад на транзисторе T_2 , включенный по схеме

с ОК, что даст возможность получить не только большое усиление по НЧ, но и низкоомный выход для следующего каскада.

Выходной каскад собран на транзисторе T_3 (типа $n-p-n$) по схеме с ОЭ. Этот транзистор гальванически связан с предыдущими каскадами и имеет в качестве нагрузки НЧ автотрансформатор Tr_1 , к части витков которого и подключен громкоговоритель $Гр_1$.

Антенная катушка L_1 выполнена на ферритовом стержне длиной 110 мм проводом литцендрат $10 \times 0,05$. Число витков 90. Катушка L_2 имеет семь витков провода ПЭЛ 0,3. Трансформатор Tr_2 намотан на ферритовом кольце диаметром 10 мм и имеет в первичной обмотке 120 витков и во вторичной 80 витков, намотанным проводом ПЭЛ 0,2. Сечение сердечника автотрансформатора Tr_1 $0,5 \text{ см}^2$, обмотка I содержит 400 витков провода ПЭЛ 0,1 и обмотка II — 60 витков провода ПЭЛ 0,4.

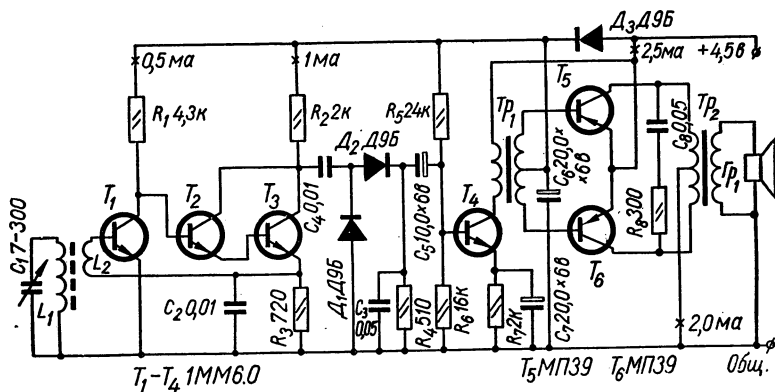


Рис. XII. 9. Схема приемника на микросхеме 1ММ6.0.

Статический коэффициент усиления транзисторов T_1 , T_2 — 65—100, T_3 — 130. Транзистор T_1 (ОС170) можно заменить П403—П423, T_2 (ОС1075) — МП42 и П401, транзистор 103НУ70 — МП113А, в качестве диода можно применить Д9Ж.

Рефлексный приемник на трех транзисторах описан в [34].

Приемник на микросхеме 1ММ6.0. Принципиальная схема приемника прямого усиления приведена на рис. XII. 9. Микросхема представляет собой устройство, содержащее четыре кремниевых планарных транзистора (T_1 — T_4) $n-p-n$ -структуры. Транзисторы микросхемы по своим параметрам в основном аналогичны транзисторам ГТ311 и ГТ313 с любым буквенным индексом, значительно превосходя последние по стабильности работы в рабочем диапазоне температур (от -20 до $+50^\circ \text{C}$). Микросхема конструктивно оформлена в металло-полимерном корпусе с 12 штырьковыми выводами. Вес микросхемы 1,5 г, размеры со штырями $11,6 \times 11,6 \times 10$ мм.

Приемник содержит три каскада усиления ВЧ, диодный детектор, собранный по схеме удвоения, и два каскада усиления НЧ. Питается приемник от батареи 4,5 в, потребляя ток в режиме покоя не более 4 ма, при номинальной мощности—20 ма. Чувствительность в диапазоне ДВ и СВ порядка 4—5 мв/м. Усилитель ВЧ собран на транзисторах T_1 , T_2 , T_3 с гальванической связью между каскадами. Четвертый транзистор микросхемы используется для предварительного усиления НЧ.

Детектор приемника выполнен на диодах D_1 и D_2 . Сравнительно малая величина нагрузочного резистора R_4 позволяет расширить динамический диапазон приемника по входному сигналу.

В выходном каскаде применены обычные низкочастотные транзисторы.

В приемнике могут быть использованы любые детали, желательны малогабаритные: резисторы УЛМ-0,12, МЛТ-0,25, конденсаторы КЛС и ЭМ, трансформаторы унифицированные. Входной контур намотан на ферритовом стержне из материала 600 НН, катушка L_1 содержит 100 витков провода ПЭВ-0,2 на диапазон СВ и 300 витков — на диапазон ДВ. Число витков катушки L_2 составляет 0,2 числа витков катушки L_1 . Приемник на микросхеме 1ММ6.0 и электрические параметры последней описаны в [29].

Карманные приемники

Приемник в записной книжке является упрощенным вариантом выпускаемого промышленностью радиоприемника «Сюрприз» и имеет примерно такие же размеры.

Приемник размещается в футляре, имеющем форму записной книжки с размерами $12 \times 85 \times 122$ мм, а размеры его платы с монтажом

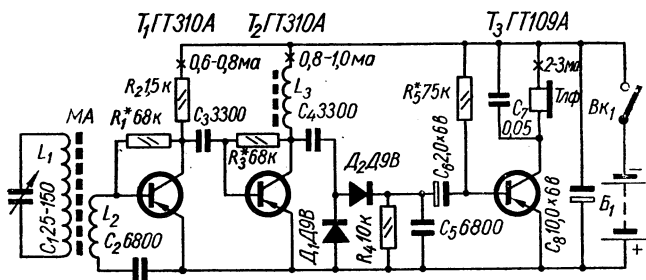


Рис. XII. 10. Схема приемника в записной книжке.

составляют $6,5 \times 65 \times 110$ мм. Приемник рассчитан на работу в диапазоне СВ, и его чувствительность достаточна для приема станций, удаленных на расстояние до 100—150 км.

В качестве источника питания применены три аккумулятора типа Д-0,06, соединенные последовательно. Энергии батареи аккумуляторов хватает примерно на двенадцать часов непрерывной работы приемника.

Приемник собран по схеме прямого усиления (рис. XII.10). Он содержит магнитную антенну МА, двухкаскадный усилитель ВЧ на транзисторах T_1 и T_2 , детектор на диодах D_1 и D_2 и однокаскадный усилитель НЧ на транзисторе T_3 с микротелефоном Тлф типа ТМ—2М.

Детали приемника должны быть малогабаритными: транзисторы T_1 и T_2 типа ГТ310А, T_3 — ГТ109А, а также с любыми другими буквенными индексами. Микротранзисторы типа ГТ310А можно заменить транзисторами П421—П423 (П401—П403), а ГТ109А — транзистором МП40. В этом случае общая толщина монтажной платы приемника увеличится до 10—12 мм. Диоды D_1 и D_2 могут быть любые из группы Д9,

резисторы — типа УЛМ или МЛТ-0,12; конденсаторы $C_2—C_5$ — типа КДС или КЛС; C_6 и C_8 — ЭМИ или ЭМ, К50-3; C_7 — КЛС или МБМ. В качестве конденсатора переменной емкости для настройки приемника применен подстроечный конденсатор типа КПК-2 на 25—150 пф.

Для магнитной антенны использован плоский ферритовый стержень, сточенный на наждачном камне до размеров $3 \times 15 \times 110$ мм. Дроссель L_3 намотан на ферритовом кольце марки 600 НН (Ф-600) с внутренним диаметром 8 мм. Намоточные данные всех катушек приведены в табл. XII. 1.

Т а б л и ц а XII. 1

Намоточные данные катушек к приемнику
в записной книжке

Наименование	Обозначение по схеме	Число витков	Провод
Магнитная антенна	L_1	60—70	ПЭЛШО 0,15—0,2
	L_2	5—10	ПЭЛШО 0,15—0,2
Дроссель	L_3	180	ПЭВ-1—0,1

Выключатель питания самодельный, совмещенный с конденсатором настройки. Монтаж деталей приемника выполнен на плате из фольгированного гетинакса печатным способом.

Налаживание приемника сводится к установке требуемых режимов транзисторов по постоянному току путем подбора сопротивлений резисторов R_1 , R_3 и R_5 .

Конструкция приемника в записной книжке показана в [37].

Малогобаритный приемник 2—V—2 рассчитан на индивидуальное прослушивание с помощью головного телефона программ местных радиовещательных станций длинноволнового диапазона. Чувствительность приемника по полю не хуже 10 мВ/м, номинальная выходная мощность около 5 мвт. Питание приемника осуществляется от одного дискового аккумулятора типа Д-0,1. Средний ток, потребляемый приемником от аккумулятора, около 5 ма. Продолжительность непрерывной работы от свежезаряженного аккумулятора — $10—15$ ч. Размеры приемника $84 \times 48 \times 20$ мм.

Характерной особенностью схемы приемника (рис. XII.11) является непосредственная связь между транзисторами его каскадов. Двухкаскадный усилитель высокой частоты, собранный на транзисторах T_1 и T_2 , аперриодический. С целью устранения отрицательной обратной связи при сохранении достаточного усиления, а также для исключения межкаскадного разделительного конденсатора нагрузочный резистор R_2 транзистора T_1 включен в его эмиттерную цепь, коллектор заземлен (через аккумулятор), а напряжение сигнала от катушки связи L_2 подводится к участку база — эмиттер. Транзистор T_3 (структуры $n-p-n$) является детектором и предварительным усилителем низкой частоты. Детектирование происходит на криволинейном участке его характеристики. Рабочая точка на этом участке характеристики устанавливается небольшим положительным смещением за счет падения напряжения на дросселе Dr_1 . Дальнейшее усиление низкочастотного сигнала

Катушки L_1 и L_2 магнитной антенны намотаны на ферритовом стержне Φ -600 длиной 70 мм. Контурная катушка L_1 имеет 7 секций по 50 витков в каждой, намотанных проводом ПЭЛШО $7 \times 0,06$ (можно применить и провод ПЭЛШО 0,12). Длина намотки каждой секции 4 мм, расстояние между секциями 2 мм. Катушка связи L_2 размещена между третьей — четвертой и четвертой — пятой секциями контурной катушки и содержит 15—25 витков провода ПЭЛШО 0,12. В качестве C_1 применен конденсатор переменной емкости чехословацкой фирмы «Тесла».

Высокочастотный трансформатор L_3L_4 намотан на ферритовом кольце Φ -600 диаметром 8 мм. Катушка L_3 содержит 60 витков, а L_4 — 240 витков провода ПЭЛ 0,1. Согласующий трансформатор Tr_1 и выходной Tr_2 использованы готовые (ТСМ и ТВМ), выпускаемые промышлен-

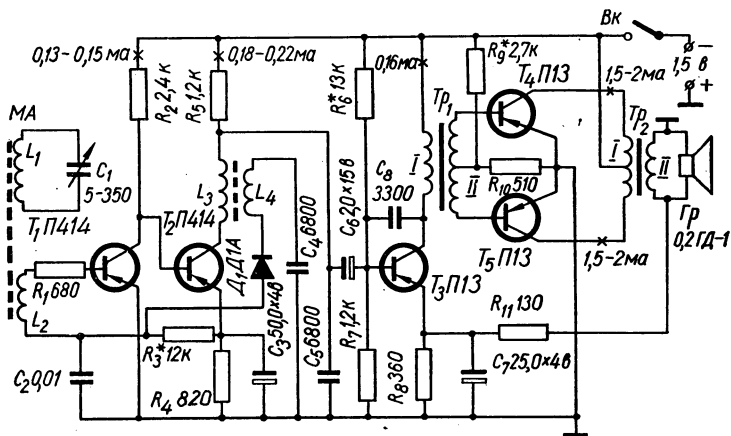


Рис. XII. 12. Схема экономичного карманного приемника.

ностью. Для самостоятельного изготовления данные их следующие: Tr_2 — обмотка I — 2×450 витков провода ПЭВ 0,09; обмотка II — 80 витков ПЭВ 0,23; Tr_1 — обмотка I — 2100 витков ПЭВ 0,06; обмотка II — 2×290 витков ПЭВ 0,06. Сердечники обоих трансформаторов набраны из стандартных пермалловых пластин Ш4, толщина набора 6 мм.

В приемнике применены два высокочастотных транзистора типа П414 и три низкочастотных транзистора П113. Первые из них можно заменить транзисторами П401—П403, П421—П422, вторые — П14—П16, П39—П42. Рекомендуемые коэффициенты усиления по току (β) транзисторов следующие: для T_1, T_2 $\beta = 40$ —80; для T_3 $\beta = 30$ —50; для T_4, T_5 $\beta = 25$ —40.

Режимы транзисторов по постоянному току указаны на схеме. Они устанавливаются подбором величин резисторов R_3, R_6, R_9 . При использовании деталей с номиналами, указанными на схеме, приемник не требует подгонки режимов.

Если собранный приемник будет возбуждаться, то в первую очередь необходимо попробовать повернуть кольцо с катушками L_3, L_4 вокруг своей оси до прекращения генерации, а затем закрепить его в этом положении каплей клея БФ-2. Если эта мера не поможет, то нужно последо-

вательно проделать следующие операции: поменять местами концы катушки L_4 , увеличить сопротивление резисторов R_1 и R_3 ; поменять местами концы катушки L_2 .

Для снижения нелинейных искажений в приемнике применена отрицательная обратная связь со вторичной обмотки Tr_2 на эмиттер T_3 . Здесь необходимо опытным путем (по качеству звучания) установить, какой конец вторичной обмотки Tr_2 следует подключить к резистору R_{11} . Подбором величины этого резистора можно установить и нужный тембр звучания.

Для питания приемника может быть использован любой источник питания с напряжением от 1,1 до 2 в, например элементы 1,3-ФМЦ-0,25; «316» и другие. Можно использовать и один элемент от батарей КБС-Л-0,5. В режиме молчания приемник потребляет ток 3,5—4,5 ма.

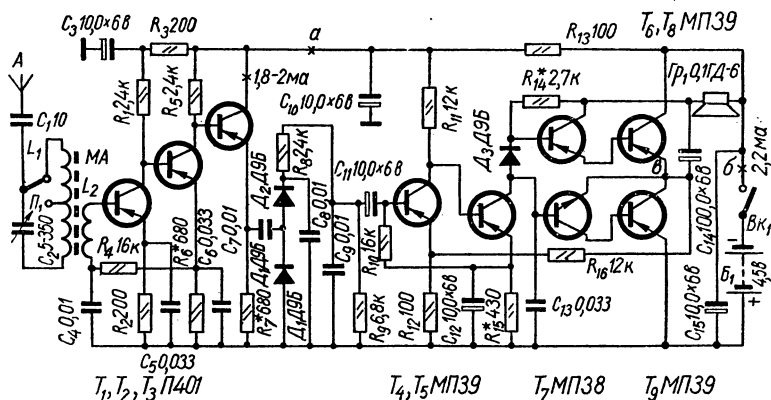


Рис. XII. 13. Схема простого в наладке приемника 3-V-4.

Приемник смонтирован в корпусе с внутренними размерами $80 \times 70 \times 35$ мм. Монтаж приемника выполнен на гетинаксовой плате толщиной 1,5 мм с размерами 80×70 мм.

Экономичный карманный приемник описан в [2].

Простой в наладке транзисторный 3-V-4 приемник собран по схеме прямого усиления на 9 транзисторах с питанием от одной батареи КБС-Л-0,50. Он обеспечивает прием радиовещательных станций в диапазоне ДВ и СВ. Его чувствительность 4—5 мв/м; ток, потребляемый от источника питания в режиме молчания, 5,5 ма; максимальная выходная мощность 90 мвт. Принципиальная схема приемника изображена на рис. XII. 13.

Несмотря на кажущуюся сложность схемы и применение в данной конструкции большого количества транзисторов, вызванное тем, что автор использует их с малым коэффициентом усиления по току (β не более 20), приемник довольно прост в налаживании. Наличие глубоких отрицательных обратных связей уменьшает вероятность самовозбуждения приемника и повышает надежность его работы.

Усилитель высокой частоты собран на трех высокочастотных транзисторах с непосредственной связью между ними. Два первых каскада собраны по схеме с общим эмиттером. В целях термостабилизации оба каскада охвачены параллельной отрицательной обратной связью по

постоянному току (через резистор R_4). Третий каскад на транзисторе T_3 выполнен по схеме эмиттерного повторителя. Для уменьшения вероятности самовозбуждения приемника поставлены RC -фильтры R_3C_3 , $R_{13}C_{10}$.

Детекторный каскад выполнен по схеме удвоения напряжения на диодах D_1D_2 .

Усилитель низкой частоты четырехкаскадный, с не посредственной связью между транзисторами. Последние два каскада выполнены по бестрансформаторной двухтактной схеме, не требующей подбора идентичных пар транзисторов в выходном каскаде. В УНЧ имеются две цепи отрицательной обратной связи. Основная цепь через резистор R_{16} термостабилизирует схему усилителя и уменьшает искажения. Вторая через резистор R_{10} соединяет эмиттер транзистора T_5 с базой первого транзистора УНЧ — T_4 . Кроме этого имеется положительная обратная связь по питанию через резистор R_{14} , увеличивающая коэффициент усиления всего усилителя и повышающая его термостабильность.

Контурная катушка L_1 и катушка связи L_2 наматываются на бумажные каркасы, которые можно свободно перемещать вдоль ферритового стержня марки 400НН длиной 109 мм, диаметром 8 мм. Катушка L_1 намотана на двух отдельных каркасах. На первом каркасе находится 75 витков провода ПЭЛ 0,08—0,1 (лучше применить литцендрат), на втором — 125 витков провода ПЭЛ 0,1—0,2. В диапазоне ДВ используется вся катушка индуктивности, а в диапазоне средних волн — 75-витковая катушка. Катушка связи L_2 содержит 6—10 витков провода ПЭЛ 0,08—0,1 (окончательно число витков этой катушки подбирается при налаживании приемника). Намотка катушек рядовая, виток к витку.

В качестве усилительных элементов в каскадах УВЧ можно использовать любые высокочастотные транзисторы. Транзисторы с наибольшим коэффициентом усиления по току β ставят в первый каскад (T_1), а с наименьшим — в третий (T_3). Указанные на принципиальной схеме транзисторы в УНЧ можно заменить на любые низкочастотные.

В качестве диодов D_1 — D_3 можно применять любой диод из серии Д9. Электролитические конденсаторы типа К50-6 или фирмы «Тесла». Конденсатор переменной емкости типа КПЕ. Остальные типа КЛС. Резисторы типа УЛМ.

Налаживание приемника начинают с УНЧ. Отсоединив высокочастотную часть приемника в точке a , выключают питание и подбором резистора R_{15} устанавливают ток в точке b , равный 2—2,2 ма. Затем, подключив вольтметр в точке v и к плюсу источника питания, с помощью резистора R_{14} добиваются показания прибора, равного половине питающего напряжения — 2,2 в.

Восстановив цепь в точке a , подбором резистора R_6 устанавливают ток в коллекторной цепи транзистора T_3 в пределах 1,8—2 ма.

При возникновении заметных искажений нужно последовательно произвести следующие операции: поменять местами концы катушки связи L_2 ; уменьшить количество витков катушки и увеличить емкость конденсатора C_9 до 0,022 мкф.

Конструкция приемника описана в [26].

Радиоприемник в записной книжке «Сюрприз» собран по супергетеродинной схеме на шести транзисторах и одном полупроводниковом диоде. Он предназначен для приема на внутреннюю магнитную антенну программ радиовещательных станций, работающих в диапазоне средних волн 186—570 м (1605—525 кгц).

Реальная чувствительность приемника не хуже 3 мв/м, максимальная чувствительность не хуже 0,5 мв/м. Избирательность по соседнему каналу не менее 12 дб, по зеркальному каналу — не менее 20 дб. Дна-

пазон воспроизводимых частот 500—3000 *гц*. Максимальная выходная мощность 100 *мвт*. Приемник питается от трех аккумуляторов типа Д-0,1, общим напряжением 3,6 *в*. Ток, потребляемый в режиме покоя, не более 12 *ма*. Габариты приемника (с записной книжкой) 135 × 88 × 17 *мм*. вес 200 *г*.

Принципиальная схема приемника показана на рис. XII. 14. Основная избирательность по соседнему каналу осуществляется двухконтурным фильтром ПЧ L_4C_7 и L_5C_8 , являющимся нагрузкой преобразователя, выполненного по схеме с совмещенным гетеродином на транзисторе T_1 . Число витков катушки связи L_3 с гетеродинным контуром $L_3C_{16}C_{56}$ и отвод от контурной катушки гетеродина выбраны так (табл. XII. 2), чтобы напряжение гетеродина было равномерным по всему диапазону и равным 100—120 *мв*. Для обеспечения лучшей прямоугольности резонансной кривой двухконтурного УПЧ связь между контурами выбрана близкой к критической (расстояние между центрами катушек L_4 и L_5 составляет 7,5 *мм*). Первый каскад УПЧ, собранный на транзисторе T_2 , — аperiодический, к нему подводится управляющее напряжение АРУ от нагрузки детектора R_{13} после подавления низкочастотных составляющих модуляции фильтрующей цепью $R_{12}C_{10}$. Второй каскад УПЧ, собранный на транзисторе T_3 , нагружен на широкополосный контур L_6C_{12} с полосой пропускания 35—40 *кгц*. Двухкаскадный усилитель НЧ собран на транзисторах T_4 — T_6 по схеме с бестрансформаторным выходом. Предварительный каскад УНЧ (T_4) — фазоинверсный и нагружен на первичную обмотку согласующего трансформатора Tr . Оконечный двухтактный каскад (T_5 , T_6) — усилитель мощности — работает в режиме класса «АБ». Для устранения искажений типа «ступенька» в выходном сигнале, обусловленных нелинейностью начальных участков характеристик транзисторов, на базы T_5 и T_6 с делителя напряжения $R_{18}R_{19}$ через вторичную обмотку согласующего трансформатора подается небольшое (порядка 120—170 *мв*) начальное напряжение смещения.

Нагрузкой усилителя мощности является высокоомный громкоговоритель типа 0,05 ГД-1 с отводом от середины обмотки звуковой

Т а б л и ц а XII. 2

Намоточные данные катушек к приемнику «Сюрприз»

Наименование катушек	Обозначение по схеме	№ выводов	Число витков	Марка и диаметр провода	Индуктивность, <i>мкГн</i>	Добротность, <i>Q</i>
Антенная	L_1	1—2 2—3	150 10	ПЭВТЛ 5 × 0,06 ПЭЛ 0,18	490 —	120—150 —
Гетеродинная контурная Катушка связи	L_2 L_3	1—2 2—3 4—5	95 5 8	ПЭВТЛ 0,08 ПЭВТЛ 0,08 ПЭВТЛ 0,08	285—300 —	70—90 —
ФПЧ-I	L_4	1—2	70	ПЭВТЛ 3 × 0,06	118	70—90
ФПЧ-II	L_5	3—4 4—5	60 10	ПЭВТЛ 3 × 0,06	118	70—9
ФПЧ-III	L_6 L_7	1—2 3—4	70 70	ПЭВТЛ 3 × 0,06	118 118	70—90 70—90

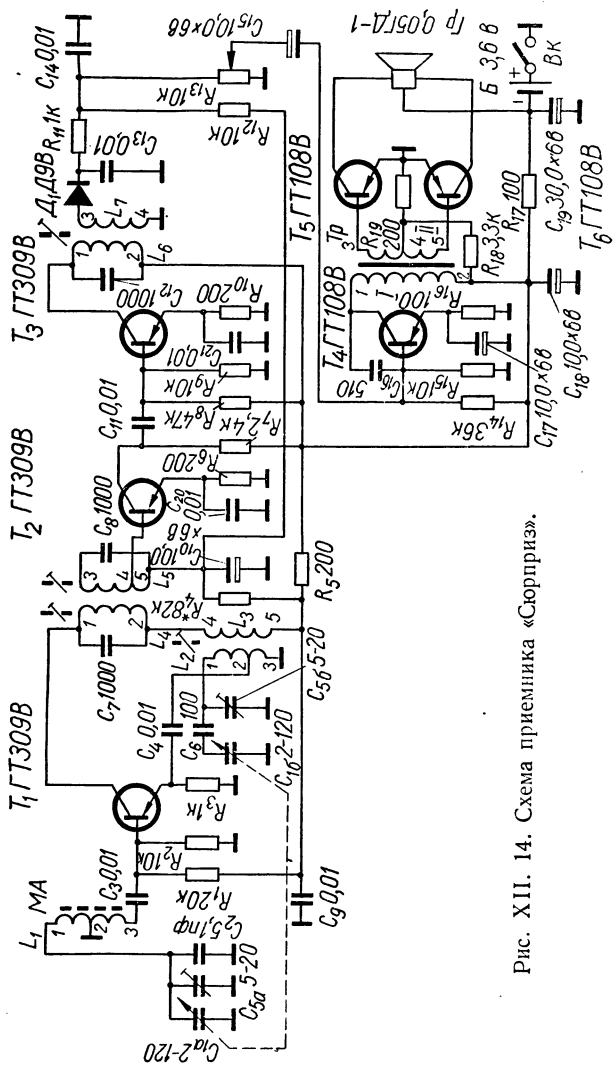


Рис. XII. 14. Схема приемника «Сюрприз».

катушки. Сопротивление звуковой катушки громкоговорителя на частоте 1000 *гц* — 60 *ом* (2 × 30 *ом*). Диаметр громкоговорителя 40 *мм*, высота 9 *мм*. При номинальной мощности 50 *вт* громкоговоритель развивает звуковое давление до 0,15 *н/м²*.

Детали и узлы приемника смонтированы на печатной плате.

Намоточные данные катушек приведены в табл. XII. 2. Катушка L_1 магнитной антенны намотана на каркасе из прессшпана и размещена на плоском ферритовом стержне из материала 700 НМ; ее размеры 70 × 9 × 3 *мм*. Контурные катушки гетеродина и ФПЧ намотаны на односекционных полистироловых каркасах и помещены в ферритовые чашки из материала 1000 НМ высотой 5,7 *мм*. Экранов катушки не имеют.

Миниатюрный согласующий трансформатор T_r намотан на сердечнике из пермаллоевых П-образных пластин (50Н). Его первичная обмотка содержит 1000 витков провода ПЭВТЛ0,05, вторичная — 2 × 350 витков того же провода.

В приемнике применены резисторы типа УЛМ, конденсаторы типов К10-7В, ПМ и электролитические конденсаторы типа К-50-6 (их можно заменить конденсаторами типа ЭМ или ЭМИ), регулятор громкости СПЗ-ЗД (применяется в приемниках «Нева», «Сигнал», «Юпитер», «Топаз-2»).

Элементом настройки приемника служит миниатюрный двоянный блок конденсаторов переменной емкости, имеющий габариты 20 × 20 × 6 *мм*. Минимальная емкость секции 1,5—2 *пф*, максимальная — 120 *пф*.

Режимы транзисторов по постоянному току приведены в табл. XII. 3.

При повторении конструкции в любительских условиях многие детали, примененные в промышленной модели приемника, могут быть заменены. Рекомендации по замене деталей приемника «Сюрприз» деталями других типов, имеющимися в продаже, и описание конструкции приведены в [13].

Таблица XII.3

Режимы по постоянному току транзисторов в схеме рис. XII.14

Напряжение на электродах транзисторов, <i>в</i>	Обозначение транзисторов по схеме				
	T_1	T_2	T_3	T_4	T_5, T_6
U_K	2,8—3,0	1,9—2,15	3,0—3,2	2,8—3,1	3,6
U_6	0,8—0,9	0,38—0,4	0,35—0,4	0,4—0,45	0,22—0,25
U_3	0,6—0,7	0,1—0,12	0,13—0,15	0,15—0,16	0

Примечание. Величины напряжений измерены между электродами транзисторов и плюсом источника питания тестером ТТ-3.

Малогобаритный синхродина (рис. XII. 15) предназначен для работы в любительском диапазоне 80 *м*. Однако при соответствующих данных катушек индуктивности его можно использовать и для приема на других диапазонах.

Принцип действия синхродина основан на совместной работе синхронного детектора и балансного смесителя. Синхронный детектор — это устройство преобразования частоты, на вход которого подаются два одинаковых по частоте высокочастотных сигнала. Один из них

представляет собой чисто синусоидальное колебание, другой сигнал промодулирован. На выходе устройства получают напряжение низкой частоты, которой был промодулирован второй высокочастотный сигнал.

Балансный смеситель — устройство преобразования частоты, с выхода которого можно снять напряжение ПЧ без применения избирательных контуров.

Работа синхродина происходит следующим образом. Напряжение сигнала, снимаемое с входного контура L_2C_1 , подается сифазно на

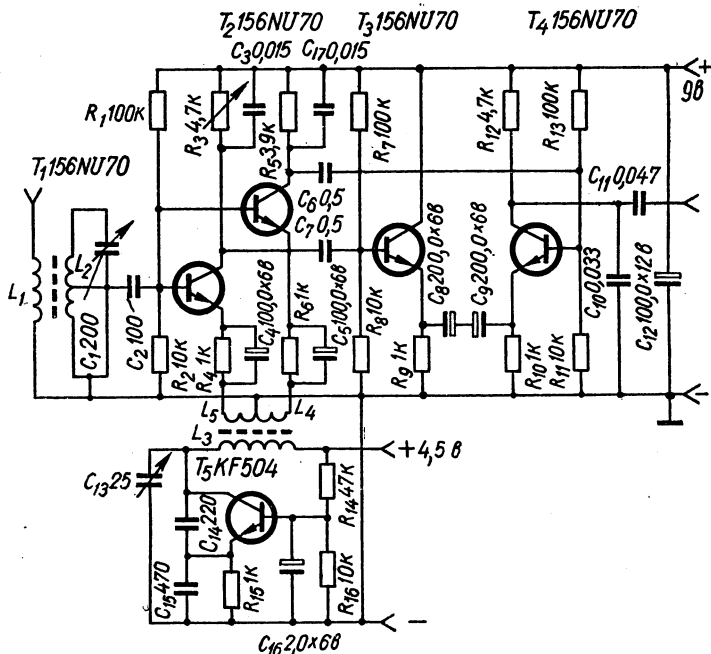


Рис. XII. 15. Схема малагабаритного синхродина.

вход балансного смесителя, собранного на транзисторах T_1, T_2 . Напряжение гетеродина, собранного на транзисторе T_5 , снимаемое со вторичной обмотки L_4L_5 контура гетеродина, подается в противофазе в эмиттерные цепи транзисторов T_1 и T_2 (на другой вход балансного смесителя). В результате преобразования на выходе балансного смесителя среди других составляющих появятся две промежуточные частоты, отличающиеся одна от другой на двойную частоту модуляции.

Для детектирования и выделения огибающей НЧ сигнала необходим синхронный детектор, собранный на транзисторах T_3 и T_4 . ВЧ сигналы с одинаковой промежуточной частотой подаются в базовые цепи транзисторов, один из которых включен по схеме с общим коллектором, другой — по схеме с общим эмиттером и соединены между собой по переменному току. Тем самым достигается сложение

выделенной НЧ составляющей, тогда как ВЧ составляющие взаимно уничтожаются. С нагрузки синхронного детектора (резистора R_{12}) НЧ сигнал подается на усилитель низкой частоты.

Катушку входного контура L_2 наматывают на ферритовом стержне диаметром 8 мм проводом ПЭЛШО 0,15. Число витков — 60 с отводом от шестого витка. Катушка связи с антенной имеет шесть витков того же провода. Катушку гетеродинного контура L_3 (40 витков) наматывают на каркасе диаметром 8 мм с ферритовым подстроечным стержнем проводом ПЭЛ 0,25, катушки L_4 и L_5 имеют по шесть витков того же провода.

В каскадах синхродина можно использовать отечественные транзисторы П403, П423, изменив при этом полярность питающего напряжения и электролитических конденсаторов на противоположную.

Синхродин описан в [36].

Приемник с детектором на составном транзисторе выполнен по схеме 2—V—2 (рис. XII. 16) и обеспечивает громкоговорящий прием на

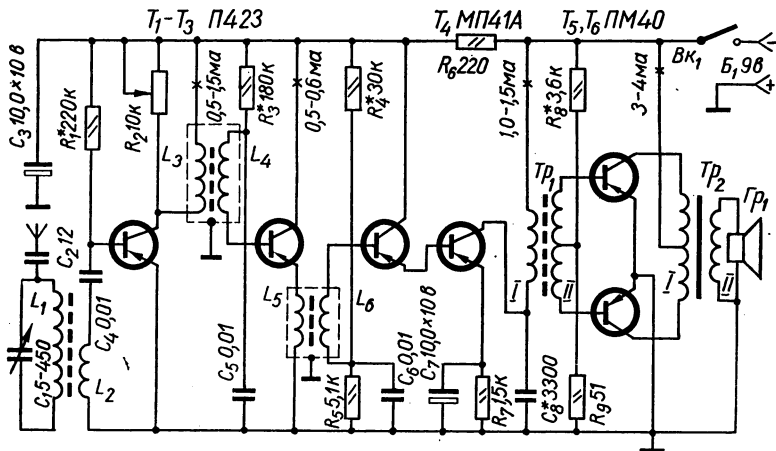


Рис. XII. 16. Схема приемника с детектором на составном транзисторе.

внутреннюю магнитную антенну радиовещательных станций средневолнового диапазона. Более эффективно приемник работает с внешней антенной, с помощью которой в вечернее время суток возможен прием значительно удаленных станций.

Максимальная выходная мощность приемника не менее 150 мвт. Источником питания служит аккумуляторная батарея типа 7Д-0.1.

Транзистор T_1 первого каскада приемника, включенный по схеме с общим эмиттером, обеспечивает основное усиление по высокой частоте. Переменный резистор R_2 выполняет функцию регулятора чувствительности приемника. Транзистор T_2 второго каскада, включенный по схеме с общим коллектором, обеспечивает дополнительное усиление высокочастотного сигнала по мощности. Нагрузкой этого каскада служит катушка L_5 повышающего высокочастотного трансформатора L_5L_6 , посредством которого осуществляется связь его с детектором на составном транзисторе T_3T_4 .

Детектор на составном транзисторе — наиболее характерная особенность этого радиоприемника. Детектирование высокочастотного сиг-

нала происходит в эмиттерном $p-n$ -переходе транзистора T_4 , служащего одновременно и предварительным каскадом усиления низкой частоты. Транзистор T_3 , включенный по схеме с общим коллектором, предназначен, в основном, для согласования детектора с выходом усилителя высокой частоты. Коэффициент передачи такого детектора значительно выше, чем у обычного диодного детектора, и мало зависит от напряжения входного сигнала, что особенно важно для приема слабых сигналов дальних радиостанций. Нагрузкой детектора — предварительного усилителя низкой частоты — является первичная обмотка трансформатора Tr_1 .

Усилитель мощности низкой частоты выполнен на транзисторах T_5 и T_6 по двухтактной схеме с трансформаторным выходом и нагружен на малогабаритный электродинамический громкоговоритель Gr_1 типа 0,21ГД-1.

В приемнике использованы в основном готовые детали, предназначенные для карманных приемников. Катушки антенного контура, высокочастотные трансформаторы и монтажная плата — самодельные. Катушка L_1 магнитной антенны намотана виток к витку на плоском ферритовом стержне 400НН размерами $80 \times 20 \times 3$ мм. Катушка связи L_2 намотана поверх катушки L_1 в средней ее части. Катушки L_3 ,

L_4 и L_5 , L_6 высокочастотных трансформаторов намотаны внавал на ферритовых кольцах 600НН с внешним диаметром 10 мм. Намоточные данные всех катушек приведены в табл. XII.4. С целью предотвращения самовозбуждения приемника по высокой частоте трансформаторы L_2L_4 и L_5L_6 необходимо экранировать. Экраны можно изготовить из медной фольги. Диаметр экранов не менее 13 мм, высота 10 мм.

Детали приемника смонтированы на плате из фольгированного гетинакса размерами 79×59 и толщиной 1,5 мм печатным методом. Футляр приемника с внутренними размерами $104 \times 64 \times 24$ мм взят из набора деталей для детского радиоприемника.

Налаживание приемника сводится к подбору сопротивлений резисторов R_1 , R_3 , R_4 и R_5 по токам, указанным в схеме. При этом регулятор чувствительности R_2 следует отключить. При появлении в приемнике самовозбуждения необходимо несколько **увеличить** сопротивление резистора R_4 или ослабить связь катушки L_2 с катушкой L_1 магнитной антенны. Важное значение имеет полярность включения катушки связи L_2 . Опытным путем можно найти такое включение катушки L_2 , при котором между ней и магнитной антенной возникает слабая положительная обратная связь, несколько сокращающая полосу воспроизводимых частот, но повышающая чувствительность и избирательность приемника.

Конструкция и оформление приемника с детектором на составном транзисторе приведены в [28].

Двухдиапазонный супергетеродин «Орленок» рассчитан для работы в диапазонах длинных волн (ДВ) 735—2000 м (408—150 кГц) и средних волн (СВ) 187—571,2 м (1605—525 кГц). Максимальная чувствительность 4 мВ/м. Избирательность по соседнему каналу, при расстройке на ± 10 кГц, не менее 16 дБ. Ослабление зеркального канала не менее 20 дБ. Промежуточная частота 465 ± 2 кГц. Питание приемника осу-

Таблица XII.4

Намоточные данные высокочастотных катушек приемника с детектором на составном транзисторе.

Катушка по схеме	Число витков	Провод
L_1	60	ПЭЛШО 7×0,07
L_2	1—2	ПЭЛШО 0,12
L_3	160	ПЭЛ 0,1
L_4	180	ПЭЛ 0,1
L_5	55	ПЭЛ 0,1
L_6	220	ПЭЛ 0,1

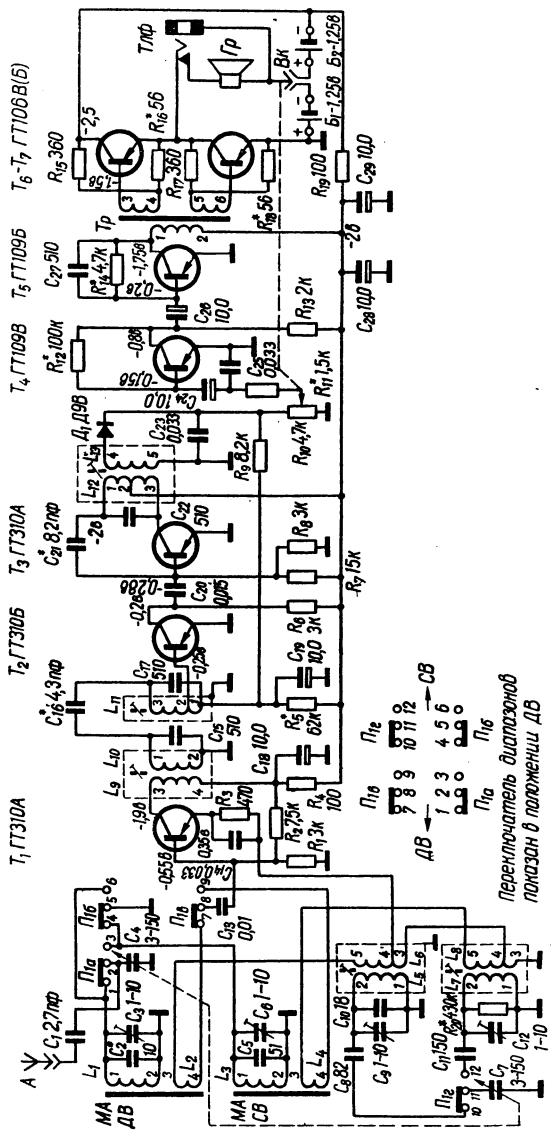


Рис. ХІІ. 17. Схема приемника «Орленок».

составляется от двух дисковых аккумуляторов типа Д-0,1, включенных последовательно. При этом номинальная выходная мощность составляет 40 мвт, а максимальная — 80 мвт. Коэффициент нелинейных искажений по всему тракту не превышает 8%. В приемнике предусмотрена возможность подключения телефона или дополнительного громкоговорителя (вместо основного).

Таблица XII. 5

Обозначение по схеме	Схема обмоток	Порядок намотки катушек	Расположение выводов на катушках (вид сверху)	Номера выводов и число витков	Марка и диаметр провода	Индуктивность, мкГн	Добротность, Q
L ₁ L ₂			Стержень ферритовый Ф-600 28*11*48 мм	1-2 400 3-4 37	пэлшо 0,1 пэлшо 0,1	7200±3% 7200±3%	150 150
L ₃ L ₄				1-2 120 3-4 6	пэшо 0,05*15 пэлшо 0,1	660±3% 660±3%	270 270
L ₅ L ₆				1-2 180 3-4 4 4-5 6	пэлшо 0,1 пэлшо 0,1 пэлшо 0,1	760±3% 760±3% 760±3%	75 75 75
L ₇ L ₈				1-2 116 3-4 3 4-5 5	пэлшо 0,1 пэлшо 0,1 пэлшо 0,1	310±3% 310±3% 310±3%	85 85 85
L ₉ L ₁₀			1-2 55+55 3-4 20	пэв-1 0,08 пэв-1 0,08	260±3% 260±3%	90 90	
L ₁₁			1-2 10 2-3 45+55	пэв-1 0,08 пэв-1 0,08	260±3%	90	
L ₁₂ L ₁₃			1-2 55 2-3 55 4-5 55	пэв-1 0,08 пэв-1 0,08 пэв-1 0,08	260±3% 260±3% 260±3%	70 70 70	
Tr		Порядок намотки катушек I 3-4; 5-6 II 1-2		1-2 900 3-4 450 5-6 450	пэв-1 0,06 пэв-1 0,06 пэв-1 0,06	0,35 гн 0,35 гн 0,35 гн	70 70 70

Размеры приемника 78 × 52 × 25 мм, вес с источником питания 120 г.

Принципиальная схема приемника приведена на рис. XII. 17. В целях уменьшения размеров приемника входные контуры диапазонов ДВ и СВ размещены на двух отдельных плоских стержнях из феррита марки Ф-600. Входной контур неработающего диапазона закорачивается переключателем L₁₆. Преобразователь частоты и гетеродин собраны на одном транзисторе T₁ типа ГТ310А. Для входного сигнала

транзистор включен по схеме с общим эмиттером, а для сигнала гетеродина — по схеме с общим коллектором. Нагрузкой преобразовательного каскада является двухконтурный фильтр ПЧ ($L_{10}C_{15}$ и $L_{11}C_{17}$), который позволяет получить избирательность по соседнему каналу до 20 дБ. Усилитель ПЧ двухкаскадный: первый каскад — реостатный на транзисторе T_2 типа ГТ310Б, второй — нейтрализованный резонансный на транзисторе T_3 типа ГТ310А. В качестве нагрузки второго каскада усилителя ПЧ используется широкополосный контур с полосой пропускания около 50 кГц. Связь контура с транзистором автотрансформаторная, с детектором — трансформаторная. Для автоматической регулировки усиления (АРУ) используется постоянная составляющая тока диода D_1 . С помощью АРУ регулируется ток базы транзистора первого каскада усилителя ПЧ.

Усилитель НЧ трехкаскадный. Его первый каскад собран на транзисторе ГТ109В (T_4), включенном по схеме с общим эмиттером. Второй каскад собран на транзисторе ГТ109Б (T_5). Этот каскад охвачен отрицательной обратной связью по переменному току через конденсатор C_{27} . В выходном каскаде приемника применена мостовая бестрансформаторная схема, которая позволила получить номинальную мощность порядка 40 мВт, при к. п. д. свыше 60% и при токе покоя не более 10 мА. Плечи моста выходного каскада образованы транзисторами T_6 и T_7 (ГТ108В) и аккумуляторами питания B_1 , B_2 . В диагональ моста включен громкоговоритель Gr с сопротивлением звуковой катушки 6 Ом.

Приемник собран в прямоугольном разъемном корпусе из цветного ударопрочного полистирола. В приемнике применены: громкоговоритель типа 0,25ГД-2, миниатюрный двухсекционный блок конденсаторов переменной емкости (3/150 пФ), резисторы типа КИМ и МЛТ, конденсаторы КД, КМ, МБМ и электролитические конденсаторы типа ЭМИ-3. Переменный резистор R_{10} типа СПЗ-3. Катушки L_1 — L_4 входных контуров намотаны на секционированных каркасах из полистирола, которые надеты на два плоских стержня из феррита Ф-600 с размерами $2,8 \times 11 \times 48$ мм. Катушки контуров ПЧ и гетеродина помещены в ферритовые чашки из материала 1000 НМЗ диаметром 6,1 мм. Сердечник согласующего трансформатора Tr набран из пермаллоевых пластин марки 79 НМ, толщина набора 4 мм. Конструкция, схема соединения обмоток и намоточные данные всех катушек и трансформатора Tr приведены в табл. XII.5.

Карманный радиоприемник «Орленок» описан в [16].

Портативные и переносные приемники

Приемник с повышенной чувствительностью. Транзисторные приемники прямого усиления обладают низкой чувствительностью, которая для большинства из них не превышает 8—10 мВ/м. Это объясняется тем, что для сохранения эквивалентной добротности антенного контура при подключении его к транзистору с низкоомным входом (схема с ОЭ) необходимо выбирать коэффициент включения контура в транзистор в пределах 0,03—0,06, ослабляя тем самым входной сигнал в 15—25 раз. Этот недостаток, присущий подавляющему большинству транзисторных приемников, можно устранить, если первый каскад усилителя ВЧ выполнить по схеме с ОК, отличающейся высоким входным сопротивлением. За счет повышения входного сопротивления можно увеличить коэффициент связи в 3—5 раз, что эквивалентно повышению чувствительности приемника во столько же раз. Транзисторный приемник прямого усиления с высокоомным входом [46] имеет следующие основные электри-

ческие параметры: реальная чувствительность в диапазонах ДВ и СВ 2 мв/м ; максимальная выходная мощность около 150 мвт ; полоса воспроизводимых частот $300\text{--}5000 \text{ гц}$; рабочий диапазон температур от -10° до $+50^\circ \text{ С}$; номинальное напряжение питания 9 в ; потребляемый ток в режиме молчания $8\text{--}10 \text{ ма}$, в режиме максимальной громкости — $30\text{--}40 \text{ ма}$; работоспособность приемника сохраняется при значениях питающего напряжения в пределах $5\text{--}10 \text{ в}$.

Принципиальная схема приемника приведена на рис. XII.18. ВЧ тракт представляет собой четырехкаскадный апериодический усилитель ВЧ. Входное сопротивление первого каскада в диапазоне частот до $1,6 \text{ Мгц}$ составляет, в зависимости от типа транзистора, $25\text{--}150 \text{ ком}$. В целях стабилизации усиления по диапазону 2-й и 3-й каскады УВЧ охвачены отрицательной обратной связью по напряжению, которое снимается с коллектора транзистора T_3 и через резистор R_8 и конденсатор

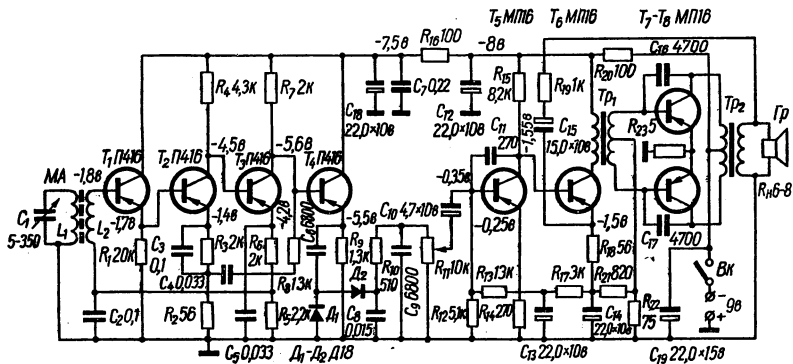


Рис. XII. 18. Схема приемника с повышенной чувствительностью.

C_4 подается в эмиттер T_2 . Благодаря применению отрицательной обратной связи частотная характеристика ВЧ практически равномерна в диапазоне частот от 150 кгц до $1,6 \text{ Мгц}$. Все каскады усилителя ВЧ охвачены также отрицательной обратной связью по постоянному току, которая снимается с резистора R_6 в цепи эмиттера T_3 и через катушку L_2 подается в цепь базы T_1 . Эмиттерный повторитель на транзисторе T_4 обеспечивает эффективную работу диодного детектора, собранного по схеме удвоения напряжения, и позволяет наиболее полно использовать усилительные свойства предыдущего каскада (T_3). Трехкаскадный усилитель низкой частоты собран на четырех транзисторах типа МП16 по обычной схеме. Его чувствительность составляет $15\text{--}20 \text{ мв}$.

Приемник собран в корпусе трансляционного громкоговорителя «Юность». Магнитная антенна выполнена на стандартном круглом ферритовом стержне от приемника «Спидола». Для диапазона ДВ катушка L_1 должна содержать 300 витков провода ПЭВ $0,09\text{--}0,12$, L_2 — $70\text{--}80$ витков провода ПЭЛШО $0,18\text{--}0,25$; для диапазона СВ катушка L_1 должна иметь 66 витков провода ЛЭШО $7 \times 0,07$, L_2 — $16\text{--}20$ витков провода ПЭЛШО $0,21\text{--}0,3$. Катушки наматываются в один слой на каркасах из плотной бумаги. Катушка L_2 располагается поверх L_1 , примерно в середине. Трансформаторы Tr_1 и Tr_2 стандартные от карманных приемчиков. Все резисторы, за исключением R_{23} .

типа МЛТ-0,5 или МЛТ-0,25; резистор R_{23} типа УЛИ-0,5, либо проводочный. Электролитические конденсаторы типа К53-1а, остальные керамические типа КМ. Конденсатор переменной емкости C_1 — чехословацкой фирмы «Тесла». Вместо транзисторов П416 можно применить П402, П403, П422, П423, а вместо МП16 — П14, П15, П41, П42 и другие с аналогичными параметрами. Диоды Д18 можно заменить любыми другими точечными германиевыми диодами, например Д1, Д2, Д9 с любым буквенным индексом.

Налаживание приемника в основном состоит лишь в проверке номинальных значений постоянных напряжений на электродах транзисторов, приведенных на принципиальной схеме. Чувствительность приемника можно при необходимости снизить. Для этого сопротивление резистора R_{19} следует уменьшить до 400—500 *ом* или уменьшить число витков катушки связи L_2 . При использовании приемника в зоне слабого приема его чувствительность можно несколько улучшить. В этом случае сопротивление резистора R_8 нужно увеличить до 20—33 *ком*, а R_{19} — до 2—2,4 *ком*.

Для стабильной работы в режимах максимальной чувствительности каскады усилителя ВЧ полезно заключить в П-образный металлический экран из листовой латуни или алюминия толщиной 0,2—0,5 *мм*. Конструкция приемника повышенной чувствительности показана в [46].

КВ—СВ приемник из доступных деталей представляет собой переносный двухдиапазонный супергетеродин, предназначенный для громкоговорящего приема местных и дальних радиостанций, работающих в диапазонах коротких (25—50) и средних (185—550 *м*) волн. Промежуточная частота — 465 *кГц*. В диапазоне коротких волн прием осуществляется на выдвижную телескопическую антенну длиной около 90 *см*. Чувствительность приемника в диапазоне КВ составляет 50—100 *мкв*, избирательность по соседнему каналу — не менее 20 *дб*, по зеркальному каналу — не хуже 16—20 *дб*. В диапазоне средних волн прием осуществляется на внутреннюю магнитную антенну. Чувствительность составляет 0,3—0,5 *мв/м*, избирательность по соседнему каналу — 20—24 *дб*, по зеркальному каналу — не менее 23—26 *дб*.

Приемник собран на семи транзисторах распространенных типов (П403 — 1 шт., П402 — 3 шт. и МП41 — 3 шт.) без какого-либо предварительного отбора их по параметрам. Питание осуществляется от гальванических батарей с начальным напряжением 9 *в*. Работоспособность приемника сохраняется при снижении напряжения питания до 4,5 *в*. Потребляемый ток при минимальной громкости составляет 8—10 *ма*, при максимальной — до 30—40 *ма*. Одного комплекта питания, состоящего из шести элементов «316», включенных последовательно, хватает на 40—50 часов работы, а двух батарей типа КБС-Л-0,5, также включенных последовательно, — на 80—100 *ч*. Выходная мощность 100 *мвт*.

Корпус приемника изготовлен из цветного органического стекла. Внешние его размеры — 260 × 160 × 70 *мм*, вес с комплектом питания — около одного килограмма.

Как видно из принципиальной схемы (рис. XII.19), приемник имеет преобразователь частоты с совмещенным гетеродином по схеме с общим коллектором, собранный на транзисторе T_1 , двухконтурный полосовой фильтр ПЧ, трехкаскадный усилитель ПЧ на транзисторах T_2 — T_6 — T_7 , нагруженный на динамический громкоговоритель $Гр$. Стабилизация напряжения начального смещения базовых цепей осуществляется с помощью диодов D_4 , D_5 и одного транзистора T_5 .

Особенность преобразователя частоты заключается в том, что фильтр ПЧ включен в коллекторную цепь транзистора T_1 не полностью, а частич-

но, с помощью катушки связи L_7 . Это способствует более устойчивой работе преобразователя частоты. Кроме того, обе катушки полосового фильтра ПЧ заключены в индивидуальные экраны, а связь между ними осуществляется конденсатором небольшой емкости C_{15} . Полосовой фильтр такой конструкции имеет незначительное поле рассеяния, что также улучшает устойчивость работы тракта ПЧ. Этой же цели служит и конденсатор C_{12} , включенный между коллектором T_1 и нулевым проводом.

Т а б л и ц а XII.6

Намоточные данные катушек к приемнику из доступных деталей

Обозначение по схеме	Число витков	Марка и диаметр провода
L_1 L_2	15 1,5	ПЭЛШО 0,4 ПЭЛШО 0,2
L_3 L_4	55 5	ПЭЛШО 0,12 ПЭЛШО 0,12
L_5	2+3+10	ПЭЛШО 0,4
L_6	2+3+70	ПЭЛШО 0,12
L_7 L_8	50 70	ПЭЛШО 0,1 ЛЭВ 5×0,06
L_9 L_{10}	70 4	ЛЭВ 5×0,06 ПЭЛШО 0,1
L_{11} L_{12}	70 4	ПЭВ-2 0,1 ПЭЛШО 0,1
L_{13} L_{14}	65 110	ПЭВ-2 0,1 ПЭЛШО 0,1

Примечание. Провода марки ПЭЛШО и ЛЭВ можно заменить на ПЭЛ или ПЭВ-1 того же диаметра,

Конденсаторы C_2, C_7, C_{12}, C_{15} типа КД-1а или КТ-2а; C_9 типа КСО на $390 \text{ нф} \pm 10\%$; $C_5, C_{11}, C_{13}, C_{25}, C_{31}, C_{32}$ типа КД-2 (КДС) или КЛС; $C_{18}, C_{19}, C_{20}, C_{22}, C_{23}, C_{26}, C_{27}$ типа БМ-2 или КБГ-И на $0,02-0,03 \text{ мкф}$, 200 в ; $C_{14}, C_{16}, C_{21}, C_{24}$ типа ПСО или КТК-М, КСО-2в на $1000 \text{ нф} \pm 10\%$. Электролитические конденсаторы типа КЭ-1а или К50-3, ЭМ, «Тесла». Конденсатор C_{29} может иметь емкость в пределах $3,0-15,0 \text{ мкф}$. Все остальные электролитические конденсаторы — не менее $10,0-20,0 \text{ мкф}$. Рабочее напряжение конденсаторов C_{17}, C_{28}, C_{30} может быть $4-6 \text{ в}$, остальных — не менее 10 в . Подстроечные конденсаторы C_3, C_4, C_6, C_{10} типа КПК-1 или КПК-м на $6-25$ или $8-30 \text{ нф}$. Блок конденсаторов переменной емкости (КПЕ) типа «Тесла». Переключатель диапазонов стандартный, ножевого типа. Низкочастотные трансформа-

Детектор выполнен по двухтактной схеме с закрытым входом. По сравнению с однократным детектором он лучше использует энергию сигнала ПЧ и равномерно нагружает контур оконечного каскада усилителя ПЧ.

Для повышения устойчивости работы приемника в цепь питания транзистора T_1 введен развязывающий фильтр $R_2 C_{11}$; подключен бумажный конденсатор C_{28} ($0,03 \text{ мкф}$), который служит для нейтрализации действия паразитной индуктивности электролитического конденсатора C_{28} .

В приемнике применены в основном стандартные детали. Самодельными являются лишь высокочастотные катушки входных и гетеродинных контуров, монтажная плата, верхнее устройство и корпус приемника. Транзисторы T_2-T_4 могут быть типа П401—П403, П420—П423. Транзистор T_1 рекомендуется применить типа П403, П403А или П423, в крайнем случае — П402 или П422. Транзистор T_5 может быть типа П13Б или П14—П16, П39Б, П40—П42 (МП40—МП42), а T_6, T_7 — МП40—МП42, П14—П16, П25, П26 с различными буквенными индексами. Диоды D_1-D_6 должны быть германиевыми, точечными, типа Д2Б—Д2Ж или Д9В—Д9Е.

торы Tp_1 и Tp_2 — трансформаторы для карманных приемников, выпускаемые школьным заводом «Чайка». Возможно применение аналогичных трансформаторов от приемников «Сокол», «Селга». Телескопическая антенна от приемников «Спидола», «Сувенир», «Соната». Постоянные резисторы типа УЛМ или МЛТ-0,5, или ВС-0,25. Переменный резистор R_{10} типа ТК-Д или фирмы «Тесла» на 5—10 *ком*, совмещенный с выключателем питания.

Катушки L_1 , L_2 входного контура диапазона КВ и гетеродинная катушка L_5 намотаны на двух цилиндрических каркасах, снабженных подстроечными сердечниками типа СЦР-1. Такие каркасы применяются в контурах ПЧ телевизоров «Рубин», «Знамя» и др. Катушка L_6 помещена в броневой сердечник типа СБ-1а от ФПЧ приемников «Рекорд-53» или «Родина-52». Катушки L_3 , L_4 входного контура СВ намотаны на бумажном каркасе длиной 30 *мм*, свободно перемещающемся по ферритовому стержню диаметром 7—8 *мм* и длиной 140 *мм*. Катушки фильтров ПЧ (L_7 — L_{14}) используются готовые, от приемника «Селга». Их можно изготовить самостоятельно; для этого потребуется четыре броневых сердечника из феррита 600НН (Ф-600), с подстроечными сердечниками диаметром 2,8 *мм* и длиной 12 *мм*, пластмассовой арматурой и металлическими экранами. Намоточные данные всех катушек приведены в табл. XII. 6.

Монтаж приемника выполнен на плате из текстолита (гетинакса) толщиной 1,5—2,0 *мм*.

Подробное описание конструкции и методики налаживания приемника из доступных деталей приведено в [4].

Портативный СВ—ДВ приемник прямого усиления выполнен на шести транзисторах с использованием доступных деталей. Без каких-либо переключений он перекрывает диапазон радиоволн от 300 до 2000 *м*. Диапазон может быть смещен в сторону более коротких волн. Прием осуществляется на внутреннюю магнитную антенну, либо на внешнюю антенну с заземлением. Чувствительность приемника в первом случае — около 10 *мв/м*, во втором — 300—500 *мкв*. Возможно использование штыревой телескопической антенны. Приемник питается от батареи из четырех элементов типа «343» или «373», соединенных последовательно. Ток, потребляемый приемником от батареи: при минимальной громкости около 10 *ма*, при максимальной громкости — 30 *ма*. Срок службы такой батареи составляет соответственно 100 и 300 часов. Максимальная выходная мощность около 100 *мвт*, она может быть увеличена до 150 *мвт*, если приемник питать от батареи напряжением 9 *в*. Приемник сохраняет работоспособность при снижении напряжения батареи до 3 *в*. Внешние размеры корпуса приемника: 60 × 150 × 255 *мм*, вес с источником питания около 1 *кг*.

Принципиальная схема приемника (рис. XII. 20) включает магнитную антенну МА, усилитель ВЧ на транзисторах T_1 и T_2 , детектор на диодах D_1 и D_2 и усилитель НЧ на транзисторах T_3 — T_6 , нагруженный на динамический громкоговоритель $Гр_1$ мощностью 0,5—1 *вт*. Двухсекционный блок КПЕ позволяет при тех же намоточных данных катушек изменять диапазон принимаемых волн. На рис. XII. 21 показаны схемы трех вариантов включения секций КПЕ. Каждый диапазон может быть несколько смещен в ту или другую сторону изменением положения катушек L_1 и L_2 на ферритовом стержне. Стабилизированное смещение на базы транзисторов T_1 и T_2 подается с делителя напряжения, составленного из резистора R_{13} и диодов D_4 — D_6 . Здесь используется свойство диодов мало изменять напряжение при прохождении через них тока более 0,6—0,8 *ма*. Стабилизированное смещение подано на «заземленный» провод, поэтому «плюс» батареи не заземляется. Связь

между транзисторами T_1 и T_2 непосредственная, что позволяет упростить и улучшить систему стабилизации. Для устранения отрицательной обратной связи по ВЧ через резистор R_3 эмиттер транзистора T_2 соединен через конденсатор C_7 с «заземлением». Детектор выполнен на диодах D_1 и D_2 , включенных по схеме с закрытым входом. Резистор R_6 является одновременно нагрузкой детектора и регулятором громкости. Связь усилителя ВЧ с детектором осуществляется через конденсатор C_6 . Усилитель НЧ с двухтактным выходным каскадом работает

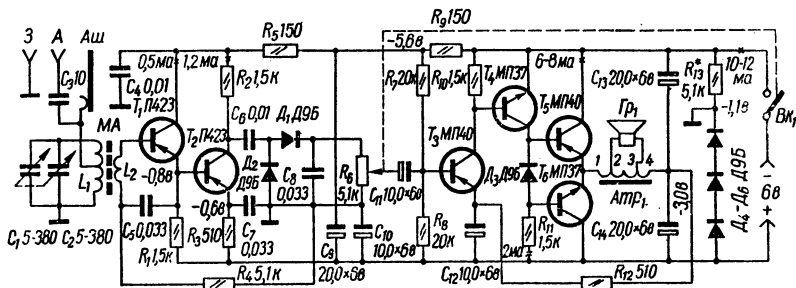


Рис. XII. 20. Схема портативного СВ—ДВ приемника прямого усиления.

на транзисторах различной проходимости: $p-n-p$ (T_3 , T_5) и $n-p-n$ (T_4 , T_6). Автотрансформаторный выход позволяет существенно улучшить работу приемника от частично разряженной батареи, а также повысить экономичность приемника в целом.

Транзисторы T_1 и T_2 типа П423 можно заменить транзисторами типов П401—П403, П422. Хорошие результаты дают транзисторы типов П416, ГТ309 с любым буквенным обозначением.

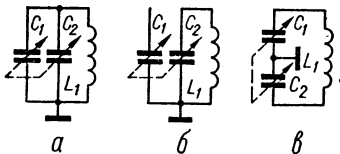


Рис. XII. 21. Варианты включения секций конденсатора переменной емкости (КПЕ) в схеме рис. XII. 20:

a — для перекрытия диапазона волн от 300 м до 2000 м; *б* — для диапазона от 250 м до 1500 м; *в* — для диапазона от 200 м до 1100 м.

МЛТ-0,25, МЛТ-0,5). Номиналы резисторов могут отличаться от указанных на схеме в пределах $\pm 10\%$. Блок конденсаторов переменной емкости — КПЕ фирмы «Тесла», емкостью 5—380 пф. Конденсаторы постоянной емкости: C_4 , C_6 типа КЛС, БМ-2 емкостью 0,01—0,05 мкф или КДС на 6800 пф; C_5 , C_7 и C_8 — типа БМ-2, МБМ или КЛС емкостью 0,033—0,05 мкф. Конденсатор C_3 типа КТК-1а или самодельный емкостью 6,8—10 пф. Электролитические конденсаторы типов ЭМ, К50-3

фирмы «Тесла» на рабочее напряжение не менее 6 в. Их номиналы могут быть в пределах: C_9, C_{10}, C_{12} — от 10 до 30 мкф; C_{11} — от 3 до 20 мкф; C_{13} и C_{14} — от 20 до 100 мкф. Автотрансформатор $A_{тр}$ имеет сердечник из пластин Ш8—Ш10, толщина набора 8—10 мм (пригодны сердечники согласующих трансформаторов трансляционных громкоговорителей). Обмотка автотрансформатора содержит 220 витков провода ПЭЛ или ПЭВ 0,27—0,35. Отводы сделаны от 40 и 120-го витков. Громкоговоритель электродинамический, например типа 0,5ГД-10, (4,5 ом) или 1ГД-18 (6,5 ом). Можно также применить громкоговоритель типа 0,5ГД-14 (28 ом). Включают его без автотрансформатора, непосредственно между эмиттерами транзисторов T_5 и T_6 и общей точкой конденсаторов C_{13} и C_{14} . Магнитная антенна состоит из ферритового стержня 400НН или 600НН диаметром 7—8 мм и длиной 140 мм, на котором размещен подвижный бумажный каркас с катушками L_1 и L_2 . Катушка L_1 содержит 60 ± 60 витков, L_2 — 5 витков провода ПЭЛШО,

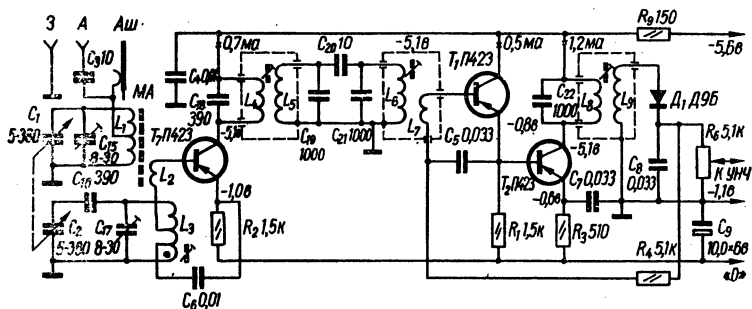


Рис. XII. 22. Схема портативного супергетеродина.

ПЭЛ или ПЭВ 0,12—0,14. В случае применения резисторов с номиналами, отличающимися от указанных, режимы работы транзисторов можно скорректировать подбором величин сопротивлений резисторов R_1 (для транзистора T_1), R_3 (для транзистора T_2) и R_7 (для транзисторов T_3 — T_6). Кроме того, коллекторные токи транзисторов T_5 и T_6 можно изменить, шунтируя диод D_3 дополнительным резистором на 300—500 ом.

Особенности конструирования и наладки портативного СВ—ДВ приемника прямого усиления подробно описаны в [5].

Портативный супергетеродин. Приемник прямого усиления, описанный выше (схема рис. XII. 20), можно превратить в супергетеродин, работающий в одном из радиовещательных диапазонов. Чувствительность такого приемника улучшится с 10 мв/м до 0,5—1 мв/м, а избирательность по соседнему каналу — с 6—8 дб до 16—20 дб. Максимальная выходная мощность останется прежней, равной примерно 100 мвт, но она может быть увеличена до 150 мвт за счет повышения напряжения источника питания до 9 в.

Принципиальная схема приемника, претерпевшая изменения в связи с превращением приемника прямого усиления в супергетеродин, показана на рис. XII. 22. Цифры в нижнем индексе вновь введенных деталей продолжают нумерацию деталей исходного приемника (рис. XII. 20). Высокочастотная часть супергетеродина содержит преобразователь частоты на транзисторе T_7 , усилитель промежуточной частоты (ПЧ) на транзисторах T_1 и T_2 , а также детектор на

диоде D_1 . Усилитель низкой частоты и стабилизатор смещения остаются без изменений, поэтому на схеме они не показаны. Новыми в этом варианте приемника являются: транзистор T_7 , катушки L_3 — L_9 и конденсаторы C_{15} — C_{22} . Кроме этого изменены намоточные данные катушки L_1 контура магнитной антенны, катушки связи L_2 и изменено включение резисторов R_3 , R_4 и конденсатора C_6 .

Преобразователь частоты выполнен по схеме с совмещенным гетеродином. Сопряжение настроек контуров магнитной антенны и гетеродина производят с помощью подстроечных конденсаторов C_{15} и C_{17} , конденсатора C_{18} и подгонкой индуктивности катушки L_3 . На схеме указаны номиналы сопрягающих конденсаторов для диапазона СВ. Для диапазона ДВ параллельно конденсатору C_{17} следует подключить дополнительный конденсатор емкостью 33 нф , а емкость конденсатора C_{18} должна быть уменьшена до 180 нф . Для выделения сигналов ПЧ на выходе преобразователя установлен фильтр сосредоточенной селекции (ФСС), состоящий из резонансных контуров L_5C_{19} и L_6C_{21} , настроенных на частоту 465 кГц и связанных между собой конденсатором малой емкости C_{20} . Связь ФСС с преобразователем частоты осуществляется через катушку L_4 , зашунтированную для частот гетеродина конденсатором C_{18} . Отфильтрованный сигнал промежуточной частоты подается на вход усилителя ПЧ через катушку связи L_7 . Во избежание воздействия нежелательных паразитных наводок катушки фильтр заключены в экраны. Усилителем ПЧ является бывший двухкаскадный усилитель ВЧ приемника прямого усиления, в котором роль нагрузки транзистора T_2 второго каскада (вместо резистора R_2) выполняет резонансный контур L_8C_{22} , настроенный на промежуточную частоту. Усилитель ПЧ охвачен автоматической регулировкой усиления (АРУ).

Транзистор $P423$ (T_7) может быть заменен транзисторами $P401$ — $P403$, $P422$. Конденсаторы, входящие в резонансные контуры, могут быть: C_{19} , C_{21} и C_{22} — типа КСО-1, КСО-2, КЛС, ПМ-1 с допуском не более $\pm 10\%$, а C_{16} и C_{18} , кроме того, — конденсаторами типа КПК-1 с максимальной емкостью 25 — 30 нф . Катушки L_1 и L_2 следует перематывать с учетом выбранного диапазона волн. Их данные указаны в табл. XII. 7. Фильтры промежуточной частоты (ФПЧ) стандартные, от приемника «Селга». Все ФПЧ различают по цветным меткам, нанесенным на каркасы катушек (см. табл. XII. 7). Выводы выходных катушек (в нашем приемнике — L_5 , L_7 и L_9) легко определить по небольшим пластмассовым штифтам, выступающим на каркасах вблизи выводов этих катушек. Намоточные данные ФПЧ приведены в табл. XII. 7. Катушка гетеродина L_3 намотана на пластмассовом каркасе, размещенном в броневом сердечнике из карбонильного железа типа СБ-12а (СБ-1а). Возможно также применение унифицированного каркаса (двух- или трехсекционного) с ферритовыми сердечниками марки 600НН (от ФПЧ ламповых приемников). Данные этой катушки определяются выбранным диапазоном и указаны в табл. XII. 7.

Работоспособность преобразователя частоты можно проверить по результатам измерения постоянного напряжения на эмиттере транзистора T_7 . В исправном преобразователе соединение базы транзистора с общим проводом (на «землю», но не на «плюс» питания) должно уменьшать это напряжение на $0,1$ — $0,2\text{ в}$. Если изменений напряжения нет, то необходимо проверить правильность включения выводов катушки и отсутствие обрывов или замыканий во всем гетеродинном контуре ($L_3C_2C_{18}C_{17}$). Работоспособность усилителя ПЧ и приемника в целом можно проверить по приему сигналов местной станции. При этом подстроечные сердечники катушек и роторы подстроечных конденсаторов ставят в среднее положение и, вращая ручку настройки (регулятор

Намоточные данные катушек к портативному супергетеродину

Обозначение по схеме	Число витков		Провод	Примечание
	СВ	ДВ		
L_1 L_2	55 6	180 12	ПЭЛШО 0,1 ПЭЛШО 0,1)
L_3	2 + 4 + 70	3 + 5 + 110	ПЭЛ 0,1	
L_4 L_5	50 70		ПЭЛШО 0,1 ЛЭВ 5 × 0,06	ФПЧ-I — красная точка
L_6 L_7	70 4 или 7		ЛЭВ 5 × 0,06 ПЭЛШО 0,1	ФПЧ-II или ФПЧ-III — коричневая или желтая точка
L_8 L_9	65 110		ПЭВ-20,1 ПЭЛШО 0,1	ФПЧ-IV — белая точка

громкости должен быть при этом в положении максимума), добиваются хотя бы самого тихого приема. После этого сердечниками подстраивают фильтры ПЧ, начиная с детекторного, ориентируясь по наибольшей громкости звучания. Затем устанавливают границы диапазона и производят сопряжение входного и гетеродинного контуров.

Работа схемы, конструкция и методика сопряжения входного и гетеродинного контуров подробно описаны в [6].

Радиоприемник автолюбителя. Комплект аппаратуры, рекомендуемый автором этой конструкции, один из простых, доступных многим автолюбителям путей решения проблемы радификации автомобиля. Второе достоинство — экономичность: от батарей аккумуляторов приемник потребляет в 4 раза меньше энергии, чем фирменный транзисторный автомобильный приемник, и в 20 раз меньше, чем ламповый. Таким приемником можно пользоваться на стоянке практически неограниченное время. Третье преимущество — возможность слушать передачи не только в автомобиле, но и вне его. Достоинством приемника прямого усиления с фиксированной настройкой является простота управления, что минимально отвлекает водителя во время движения автомобиля. Комплект радиоборудования (рис. X11. 23) состоит из переносного супергетеродина фабричного производства, самодельного транзисторного приемника прямого усиления (ВЧ+Д), транзисторного усилителя низкой частоты (УНЧ) с выходной мощностью 2 Вт и блока питания, в корпусе которого размещен громкоговоритель (БП+Гр). В городе и его окрестностях используется всегда только приемник прямого усиления, а в дальних поездках и на привалах — переносный супергетеродин. Блок питания, громкоговоритель и УНЧ общие для обоих приемников.

Переносный приемник может быть любым, важно лишь, чтобы он был рассчитан на питающее напряжение 9 В и имел гнездо для подключения внешней антенны. Соединение его с блоком питания и УНЧ осу-

существляется четырехконтактным разъемом с гибким шнуром. Во время работы в автомобиле приемник питается от автомобильной батареи аккумуляторов. От этой же батареи можно подзаряжать внутреннюю батарею приемника.

Приемник прямого усиления (рис. XII. 24) состоит из входной цепи L_1, C_1, C_2, C_3, L_2 , двухкаскадного аperiодического усилителя ВЧ

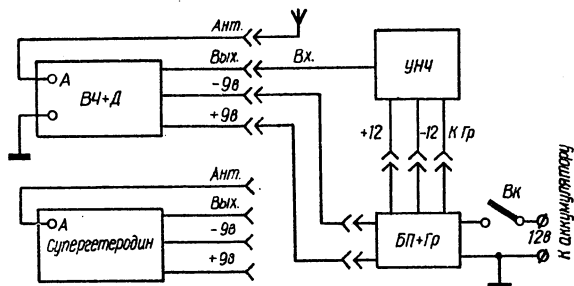


Рис. XII. 23. Блок-схема радиоаппаратуры автолюбителя с междублочными соединениями.

на транзисторах T_1 и T_2 , высокочастотного трансформатора L_3L_4 и одноконтурного детектора D . В приемнике имеется АРУ, осуществляемая путем подачи постоянной составляющей с детектора на базу транзистора T_1 через фильтр R_5C_4 . Соединение приемника прямого усиления с УНЧ и БП производится четырехконтактным разъемом. Катушки L_1 и L_2 наматываются на сердечники типа СБ-3а или СБ-4а. Катушка L_1 имеет 100 витков провода ЛЭШО $7 \times 0,1$, а катушка L_2 — 6 витков провода ПЭЛШО $0,1—0,15$. Катушки L_3 и L_4 наматываются на ферритовом кольце 600НН с внешним диаметром 10—12 мм; L_3 содержит 100 витков, а L_4 — 200 витков провода ПЭЛШО $0,1$. В качестве конденсатора настройки C_2 используется блок конденсаторов переменной емкости с твердым диэлектриком от транзисторного приемника. Параллельное соединение секций блока позволяет перекрывать диапазоны длинных и средних волн без переключателя диапазонов.

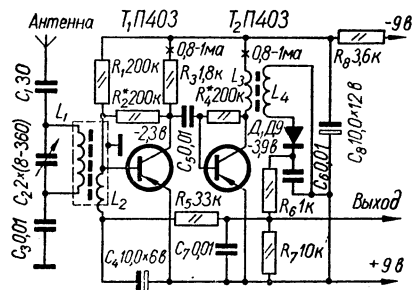


Рис. XII. 24. Схема самодельного приемника прямого усиления к комплекту автолюбителя.

нов. По желанию автолюбителя приемник может быть с фиксированными настройками на местные радиовещательные станции. В этом случае во входной контур вместо конденсатора переменной емкости C_2 следует поставить переключатель с набором конденсаторов постоянной емкости, параллельно каждому из которых подключается подстроечный конденсатор емкостью 8—30 пф. Коэффициент усиления по току β транзистора T_1 может быть в пределах 50—100, транзистора T_2 в преде-

лах 30—60. Режимы работы транзисторов указаны на схеме (рис. XII. 24).

Антенна приемника может быть штыревой. Но проще, а часто и лучше (громче прием) использовать в качестве антенны навесной багажник на кузове автомобиля или удаленный от двигателя бампер. Надежно изолированные от кузова.

Усилитель низкой частоты (рис. XII. 25) имеет два каскада предварительного усиления (T_1, T_2) и двухтактный оконечный каскад (T_3, T_4) с бестрансформаторным выходом. Связь между предварительным и оконечным усилителями осуществляется с помощью трансформатора Tr . Первые два каскада усилителя термостабилизированы за счет

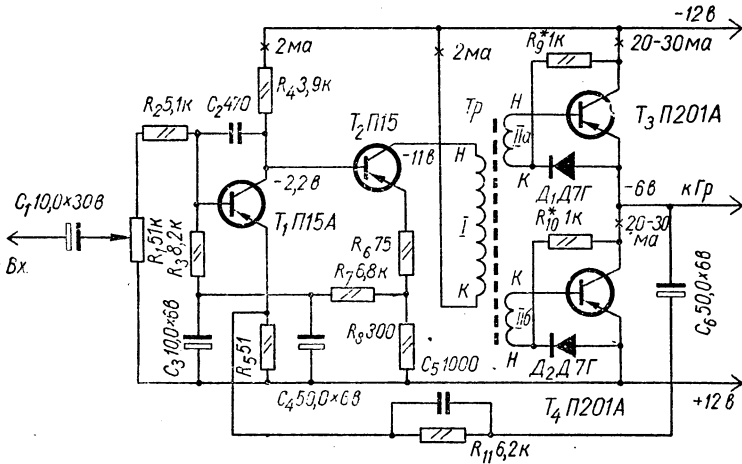


Рис. XII. 25. Схема усилителя низкой частоты к комплекту автолюбителя.

межкаскадных связей по постоянному току, а термостабилизация оконечного каскада обеспечивается диодами D_1 и D_2 . Все каскады усилителя охвачены глубокой отрицательной обратной связью по переменному току (цепочка $C_6C_6R_{11}$).

Трансформатор Tr усилителя наматывается на Ш-образном сердечнике с площадью сечения ядра 1,5—2,0 см² (подойдет сердечник от согласующего трансформатора трансляционного громкоговорителя). Обмотка I содержит 2200 витков провода ПЭВ 0,1, а обмотки IIa и IIб — по 480 витков провода ПЭВ 0,14. Можно также использовать переходный трансформатор от «Спидолы», сделав раздельные выводы от его вторичных обмоток. Коэффициент усиления по току в транзисторах T_1 и T_2 не менее 40. Транзисторы T_3 и T_4 должны иметь одинаковые параметры и устанавливаться на теплоотводах — алюминиевых пластинах толщиной 2—3 мм с площадью не менее 15 см². Теплоотводы обязательно изолируют от корпуса.

Блок питания (рис. XII. 26), в корпусе которого располагается и громкоговоритель, состоит из фильтра DrC_2 и стабилизатора напряжения 9 в для питания приемников. Диод D_1 играет роль реле обратного тока, предупреждая возможность разряда батареи переносного приемника через цепи блока питания. Если с массой автомобиля соединен

«плюс» аккумуляторной батареи, блок питания монтируется по схеме рис. XII. 26, а, если «минус», то по схеме рис. XII. 26, б. Дроссель фильтра можно намотать на таком же сердечнике, как и трансформатор усилителя низкой частоты, проводом ПЭВ 0,65—0,8 до заполнения каркаса. Сопротивление звуковой катушки постоянному току громкоговорителя — 4—6 ом.

Все соединительные проводники комплекта, в том числе ввод антенны, для защиты от помех, создаваемых системой зажигания, должны быть в экранах.

Комплект радиоаппаратуры для установки в автомобиле описан в [3].

Регенеративный коротковолновый 1-V-3 приемник имеет шесть растянутых любительских диапазонов: 3,5—3,65 Мгц (80 м), 7,0—

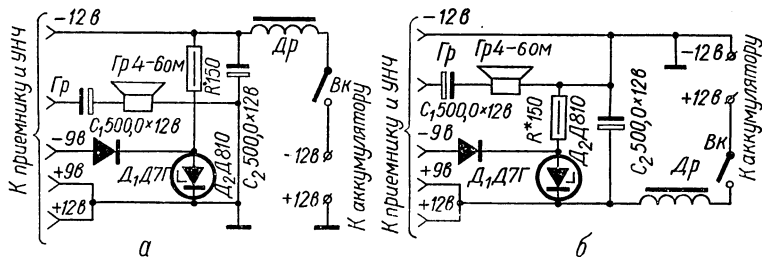


Рис. XII. 26. Схемы блока питания к комплекту автолюбителя:

а — для автомобиля, масса которого соединена с «плюсом» аккумуляторной батареи; б — для автомобиля, масса которого соединена с «минусом» батарей.

7,1 Мгц (40 м), 14,0—14,35 Мгц (20 м), 21,0—21,45 Мгц (14 м), 28,0—28,8 и 28,8—29,7 Мгц (10 м). Его чувствительность не хуже 15 мкв. Питание приемника производится от двух последовательно включенных батарей типа КБС-Л-0.50; потребляемый ток не превышает 8 ма. Выход приемника рассчитан на подключение высокоомных головных телефонов, имеющих сопротивление 2—4 ком. Для работы с приемником может быть использована любая наружная антенна.

Приемник выполнен по схеме прямого усиления на пяти транзисторах (рис. XII. 27). Для повышения чувствительности и предотвращения паразитного излучения применен аperiодический каскад усиления ВЧ (T_1). Переход с диапазона на диапазон производится сменой блока катушек (на рис. XII. 27 обведен штриховой линией). Усиленное напряжение ВЧ поступает через конденсатор связи C_8 на второй резонансный контур $L_3C_{21}C_{22}C_7$. В коллекторную цепь T_2 последовательно с резистором нагрузки R_6 подключается катушка обратной связи L_4 , намотанная на общем каркасе с контурной катушкой L_3 . Наличие двух индуктивно связанных друг с другом катушек в базовой и коллекторной цепях способствует возникновению положительной регенеративной обратной связи, благодаря которой происходит увеличение эквивалентной добротности резонансного контура и рост избирательности приемника. Регулировка обратной связи осуществляется при помощи резистора с переменным сопротивлением R_9 изменением величины постоянного напряжения на базе T_2 , что позволяет в достаточно широких пределах смещать положение рабочей точки транзистора. Кроме усиления ВЧ сигнала, каскад на транзисторе T_2 выполняет функции детектора. Усилитель НЧ выполнен на транзисторах $T_3—T_5$.

В приемнике предусмотрена подсветка шкалы с помощью двух небольших лампочек накаливания L_1 и L_2 . Намоточные данные катушек и емкости конденсаторов даны в табл. XII. 8. Высокочастотный дроссель Dp_1 наматывают на керамическом стержне диаметром 5 мм. Он должен содержать 70 витков провода ПЭЛШО 0,08, намотка с переменным шагом (с разрядкой на конце, подключаем к коллектору транзистора T_1). Длина намотки — 22 мм. Для намотки дросселя можно использовать керамический каркас от резистора ВС-1.

Блок конденсаторов переменной емкости (C_4 , C_7) может быть любым. Можно применить готовый блок либо изготовить его самостоятельно. Конструкция самодельного блока описана в [22]. Конденсаторы C_{20} , C_{22} — керамические, типа КПК-М или КПК-1; C_1 , C_2 , C_5 , C_8 ,

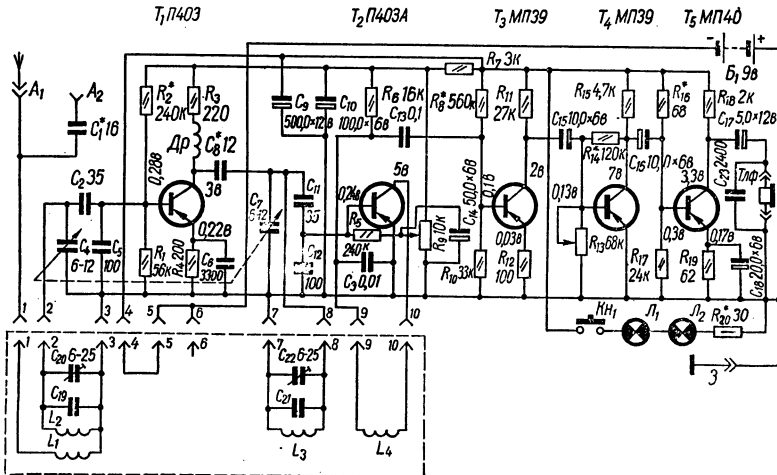


Рис. XII. 27. Схема регенеративного коротковолнового 1-V-3 приемника.

C_{11} , C_{12} , C_{19} , C_{21} — керамические типа КТ-1 или КД-1; C_3 , C_6 , C_{13} , C_{23} — бумажные или металлобумажные; C_9 , C_{10} , C_{14} , C_{15} , C_{16} , C_{17} , C_{18} — электролитические.

В первых двух каскадах приемника можно применить высокочастотные транзисторы П416, П423 и ГТ309А-Е, а в крайнем случае — и более дешевые (П401, П402, П422), но усиление при этом несколько снизится. Для работы в усилителе НЧ пригодны любые маломощные низкочастотные транзисторы (например, МП40, МП41, МП42, ГТ108А-Г).

Все постоянные резисторы — типа МЛТ-0.125, МЛТ-0.25 или ВС-0.25; резисторы с переменным сопротивлением R_9 и R_{13} — типа СПО-1. L_1 и L_2 — миниатюрные лампочки накаливания 2,5 в \times 0,15 а. Кнопка KH_1 — микропереключатель типа МП-9.

Конструкция регенеративного коротковолнового приемника и методики его налаживания подробно описаны в [21] и [23].

Супергетеродин с растянутыми КВ диапазонами имеет четыре растянутых коротковолновых диапазона: КВ—I — 25 м (11,5—12,1 Мгц), КВ—II — 31 м (9,35—9,85 Мгц), КВ—III — 41 м (7,0—7,35 Мгц) и КВ—IV — 49 м (5,95—6,25 Мгц). Промежуточная частота 465 кгц. Чувствительность приемника при работе с телескопической

Намоточные данные катушек и емкости контурных конденсаторов регенеративного коротковолнового 1-У-3 приемника

Таблица XII.8

	Параметр	Диапазон частот, МГц						
		3,5 — 3,65	7 — 7,1	11—14,35	21—21,45	28—28,8	28,8—29,7	
L_1	Число витков	6	4	4	3	3	3	
	Провод, мм	ПЭЛ 0,4	ПЭЛ 0,4	ПЭЛ 0,4	ПЭЛ 0,4	ПЭЛ 0,8	ПЭЛ 0,8	
	Длина намотки, мм	3	2	3	3	7	9	
L_2	Число витков	25	8	4	2,5	2	2	
	Провод, мм	ПЭЛ 0,4	ПЭЛ 0,6	ПЭЛ 0,8	ПЭЛ 0,8	МГ 1,5	МГ 1,5	
	Длина намотки, мм	11	5	5	3	10	11	
L_3	Число витков	24	7,5	3,5	2,5	2	2	
	Провод, мм	ПЭЛ 0,4	ПЭЛ 0,6	ПЭЛ 0,8	ПЭЛ 0,8	МГ 1,5	МГ 1,5	
	Длина намотки, мм	11	5	5	3	10	13	
L_4	Число витков	1	2	3	3	1,5	1	
	Провод, мм	ПЭЛ 0,4	ПЭЛ 0,4	ПЭЛ 0,4	ПЭЛ 0,4	ПЭЛ 0,8	ПЭЛ 0,8	
	Длина намотки, мм	—	3	2	3	5	7	
	Расстояние между катушками, мм	L_1 и L_2	5	7	10	12	5	7
		L_3 и L_4	9	12	12	17	8	8
		C_{10}	20	100	62	51	120	110
	Емкость конденсатора, пф	C_{11}	20	100	62	51	100	100

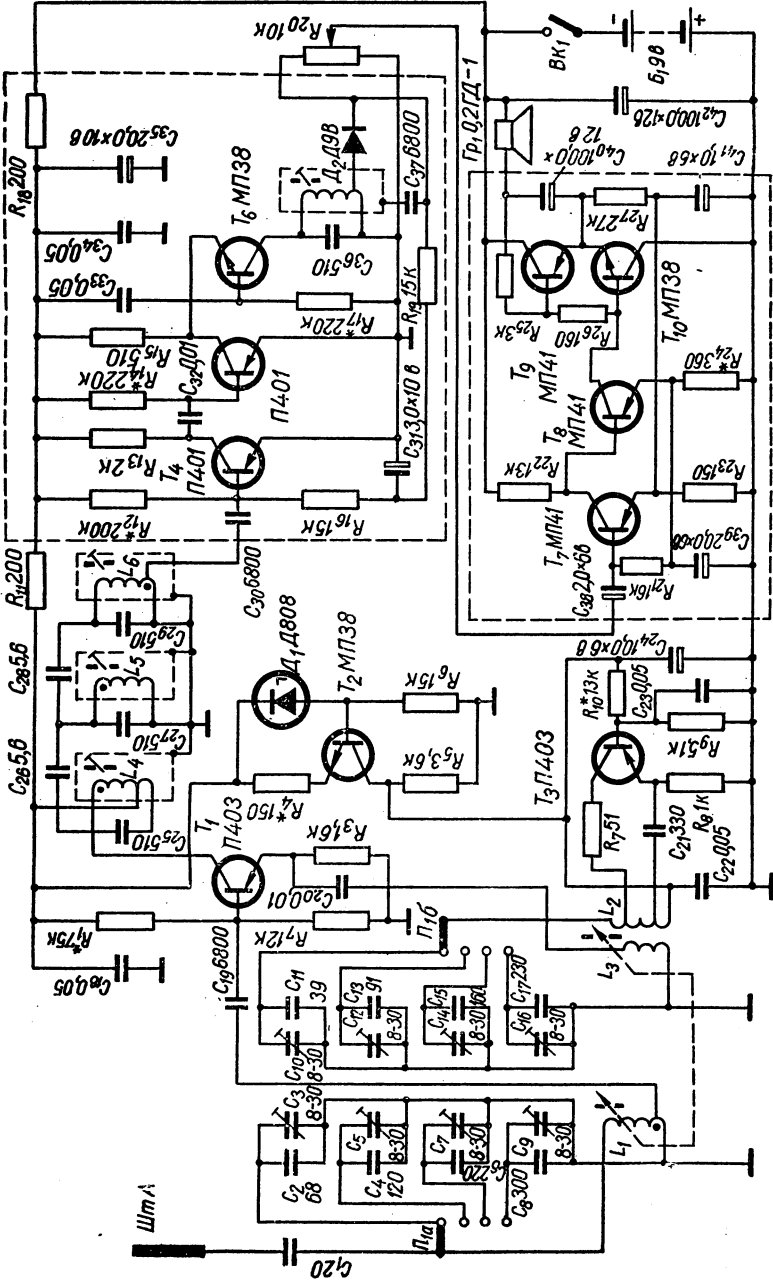


Рис. XII. 28. Схема супергетеродина с растянутыми КВ диапазонами.

антенной не хуже 50 мкв. Избирательность по соседнему каналу (при расстройке на ± 10 кГц) не хуже 30 дБ. Ослабление зеркального канала около 20 дБ. Номинальная выходная мощность 100 мвт.

Питание приемника осуществляется от батареи из семи дисковых аккумуляторов типа Д-0,2. Потребляемый ток в режиме молчания не превышает 8,5 ма. Внешние размеры приемника — 232 × 147 × 31 мм; вес с источниками питания — 940 г.

Схема приемника (рис. XII. 28) имеет смеситель, собранный на транзисторе T_1 , отдельный гетеродин (T_3) со стабилизатором напряжения (T_2), трехзвенный фильтр сосредоточенной селекции (ФСС), двухкаскадный усилитель ПЧ на транзисторах $T_4—T_6$, детектор на диоде D_2 и усилитель НЧ на транзисторах $T_7—T_{10}$, нагруженный на динамический громкоговоритель $Гр_1$.

Плавная настройка входного и гетеродинного контуров на всех диапазонах осуществляется двоярным ферровариометром, использо-

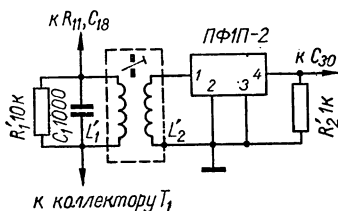


Рис. XII. 29. Включение пьезо-керамического фильтра ПФП-2 в схему рис. XII. 28.

вание которого позволило получить постоянное значение коэффициента перекрытия по частоте на всех диапазонах. Более равномерную растяжку на всех диапазонах по сравнению со схемой, в которой для настройки использовался двоярный блок КПЕ с перекрытием от 3 до 30 пф (см. [43]), удалось получить путем подбора размеров сердечников ферровариометров и катушек.

Переход с одного диапазона на другой осуществляется переключением конденсаторов во входном и гетеродинном контурах с помощью переключателя $П_1$, $П_2$. Подбором этих конденсаторов осуществляется и сопряжение настроек контуров, которое выполняется в одной точке (в середине диапазона). Погрешность сопряжения на граничных частотах радиовещательных участков не превышает 10 кГц.

Гетеродин собран на транзисторе T_3 по схеме с автотрансформаторной обратной связью и заземленной базой. В целях предотвращения генерации паразитных частот в цепь коллектора транзистора включен резистор R_7 .

Избирательность приемника по соседнему каналу можно значительно повысить, применив вместо ФСС пьезокерамический фильтр типа ПФП-1 (ПФП-1М) или ПФП-2. Схема включения такого фильтра приведена на рис. XII. 29.

Второй каскад усилителя ПЧ выполнен по каскадной схеме на транзисторах T_5 , T_6 с разной проводимостью, что позволило уменьшить количество элементов схемы и заземлить по постоянному току резонансный контур L_2C_{36} , настроенный на промежуточную частоту.

Усилитель НЧ выполнен по бестрансформаторной схеме с гальваническими связями между каскадами. Усилитель имеет два каскада предварительного усиления, собранные на транзисторах T_7 и T_8 , и выходной каскад, собранный на транзисторах разной проводимости T_9 и T_{10} . Выходной каскад нагружен непосредственно на динамический громкоговоритель $Гр_1$. Усилитель охвачен двумя цепями отрицательной обратной связи. Первая соединяет эмиттеры транзисторов T_9 и T_{10} с эмиттером транзистора T_7 , вторая — эмиттер транзистора T_8 с базой транзистора T_7 .

Приемник собран в основном из стандартных деталей на плате из гетинакса размерами $225 \times 140 \times 2$ мм. Самодельными в описываемой конструкции являются ферровариометры с механизмами привода и шкалы, фильтры ПЧ и печатные платы усилителей ПЧ и НЧ. Намоточные данные катушек приведены в табл. XII. 9.

Таблица XII.9

Намоточные данные катушек супергетеродина
с растянутыми КВ диапазонами

Обозначение по схеме	Число витков	Марка и диаметр провода	Способ намотки	Тип сердечника	Примечание*
L_1	17	Медный посеребренный диаметром 1 мм	Рядовая, шаг 1,8 мм	—	Отвод от 1,5 витка
L_2	16,5		Рядовая, шаг 1,8 мм	—	Отводы от 2,5 и 10,5 витков
L_3	2	ПЭЛШО 0,3	—	—	Намотана между витками катушки
L_4	99	ЛЭ 5 × 0,06	Внавал	Чашки из феррита 600НН диаметром 8,6 мм, высотой 4 мм. Подстроечный стержень диаметром 2,8 мм, длиной 12 мм	Отвод от 65-го витка
L_5	99	ЛЭ 5 × 0,06	Внавал		—
L_6	99	ЛЭ 5 × 0,66	Внавал		Отвод от 10-го витка
L_7	99	ПЭВ-2 0,12	Внавал		Отвод от 25-го витка

* Отводы отсчитываются от конца катушки, обозначенного на принципиальной схеме точкой.

Катушки индуктивности фильтров ПЧ намотаны на трехсекционных полистироловых каркасах и помещены в стандартные броневые сердечники из феррита 600НН диаметром 8,6 мм. Для подстройки их применены стержни из феррита 600НН диаметром 2,8 мм и длиной 12 мм. Арматура для фильтров использована от стандартных ФПЧ приемников «Топаз», «Селга» и т. п. Резисторы типа УЛМ (ВС-0,125, МЛТ-0,25), переменный резистор типа СПЗ-3В, конденсаторы типов КТ-1, КСО-1, МБМ, КДС, подстроечные конденсаторы КПК-М и электролитические — фирмы «Тесла».

Если в приемнике вместо ФСС применить пьезокерамический фильтр (см. рис. XII. 29), то катушки L_1 и L_2 согласующего трансформатора должны содержать соответственно 70 и 35 витков провода ПЭВ-2 0,12. В качестве сердечника используется, как и в фильтрах ПЧ, броневой сердечник из феррита 600НН.

В каскадах смесителя и гетеродина транзисторы П403 можно заменить транзисторами типов П422, П423 и П416. В усилителе ПЧ вместо П401 можно применять транзисторы П414, П415, П421 и П422, а вместо МП38—МП10-МП11, МП37. Вместо транзисторов МП40 можно использовать транзисторы МП41, П14, П15.

В приемнике применен громкоговоритель типа 0,2ГД-1 с постоянным звуковой катушки постоянному току 6 ом. Можно использовать также громкоговоритель типов 0,15ГД-1, 0,1ГД-6, 0,1ГД-8. Для монтажа приемника можно использовать готовый корпус, например от радиоприемника «Альпинист».

Конструкция ферровариометра и методика наладки супергетеродина с растянутыми КВ диапазонами описана в [44].

УКВ ЧМ приемники

УКВ ЧМ приемник на одном транзисторе можно собрать по схеме, приведенной на рис. XII. 30. Транзистор T_1 работает в режиме сверхрегенеративного приема, уровень возбуждения которого регулируется изменением емкости конденсатора C_2 . В качестве этого конденсатора можно использовать скрученные между собой отводы проводников от коллекторной и базовой цепи или применить подстроечный конденсатор типа КПК-1 (4—15 пф). Резистором переменного сопротивления R_1 устанавливается режим каскада, обеспечивающий наибольшее усиление.

Катушка L_1 имеет 8,5 витков, намотанных на каркасе диаметром 6 мм, катушка L_2 — 2,5 витка на том же каркасе и на расстоянии 3—4 мм от L_1 . Это расстояние изменяется в процессе настройки на принимаемую станцию. Обе катушки выполнены проводом ПЭЛ 0,8. Дроссели Dr_1 , Dr_2 и Dr_3 имеют по 7—9 витков, намотанных на каркасе диаметром 8 мм.

В качестве антенны можно применить штырь длиной 45 см из толстого медного провода.

В приемнике можно использовать транзистор типа П416 и головные телефоны типа ТОН-2. При желании вести громкоговорящий прием необходим усилитель низкой частоты.

УКВ ЧМ приемник на одном транзисторе описан в [42].

Рис. XII. 30. Схема УКВ ЧМ приемника на одном транзисторе.

УКВ приемник на двух транзисторах. Радиовещательный транзисторный приемник для приема программ в УКВ диапазоне (рис. XII. 31) состоит из усилителя ВЧ на транзисторе T_1 и сверхрегенеративного детектора на транзисторе T_2 . Каскад УВЧ, собранный по схеме с общей базой, имеет усиление 10 дб. Усиление сверхрегенеративного детектора может достигать 80 дб. Настройку на частоту принимаемой станции производят двоянным конденсатором переменной емкости C_4 , C_{12} . Выходной контур не перестраивается. Оптимальный режим детектора выбирает изменением сопротивления резистора R_5 . Резистором с переменным сопротивлением R_4 устанавливают определенную частоту сверхрегенерации. Повышение ее улучшает качество НЧ сигнала, но усиление каскада падает.

Сопряжение перестраиваемых контуров осуществляют с помощью подстроечных конденсаторов C_3 , C_9 .

Главное внимание в конструкции приемника следует уделить экранировке, иначе излучение детектора может вызвать нежелательные помехи.

Все катушки индуктивности наматывают на каркасах диаметром 8 мм. Катушка L_1 имеет 2 витка провода ПЭВ 0,5, намотанного поверх катушки L_2 , катушка L_2 — 5 витков, L_3 — 3 витка, L_4 — 3 витка. L_5 — 7 витков посеребренного медного провода диаметром 0,8 мм. Дроссель Dp_1 — 10 мГн. Транзисторы T_1 и T_2 типа П416.

УКВ приемник на двух транзисторах описан в [41].

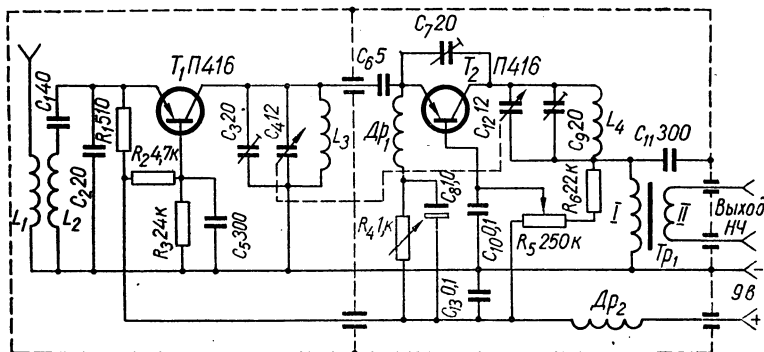


Рис. XII. 31. Схема УКВ приемника на двух транзисторах.

ЧМ приемник с низкой промежуточной частотой. Схема переносного приемника на транзисторах для приема ЧМ вещательных станций и звукового сопровождения телевидения изображена на рис. XII. 32. Чувствительность приемника около 50 мкВ. Прием производится на телескопическую антенну. Особенностью приемника является низкая (для ЧМ сигнала) промежуточная частота 100 кГц. В усилителе ПЧ используются аperiодические каскады ПЧ, что исключило необходимость применять и настраивать полосовые фильтры.

В приемнике имеются следующие каскады: усилитель ВЧ (T_1), преобразователь (T_2), гетеродин (T_3), трехкаскадный усилитель ПЧ (T_4 , T_5 , T_6), детектор (D_1, D_2) и двухкаскадный усилитель НЧ (T_7, T_8). Усиление каскадов ПЧ очень большое (порядка 80 дБ) на частоте 100 кГц, так что сигнал, поступающий на детектор, преобразован за счет ограничения в прямоугольные колебания. Импульсный детектор преобразует поступающие импульсы в НЧ сигнал. Полоса частот, воспроизводимая усилителем НЧ, 10 гц — 20 кГц. Выходной сигнал достигает величины 120 мВ. В стационарных условиях к приемнику вместо обычно используемых головных телефонов подключается магнитофон или усилитель.

Выбор низкой промежуточной частоты в приемнике отрицательно сказывается на избирательности по зеркальному каналу, однако радиолюбителей, экспериментирующих с подобными приемниками, может привлечь несложность устройства. В оригинале описания не приводятся данные катушек контуров, их индуктивность — доли микрогенри и подбирается при настройке. Транзисторы 2AS239 (T_1 — T_8) можно за-

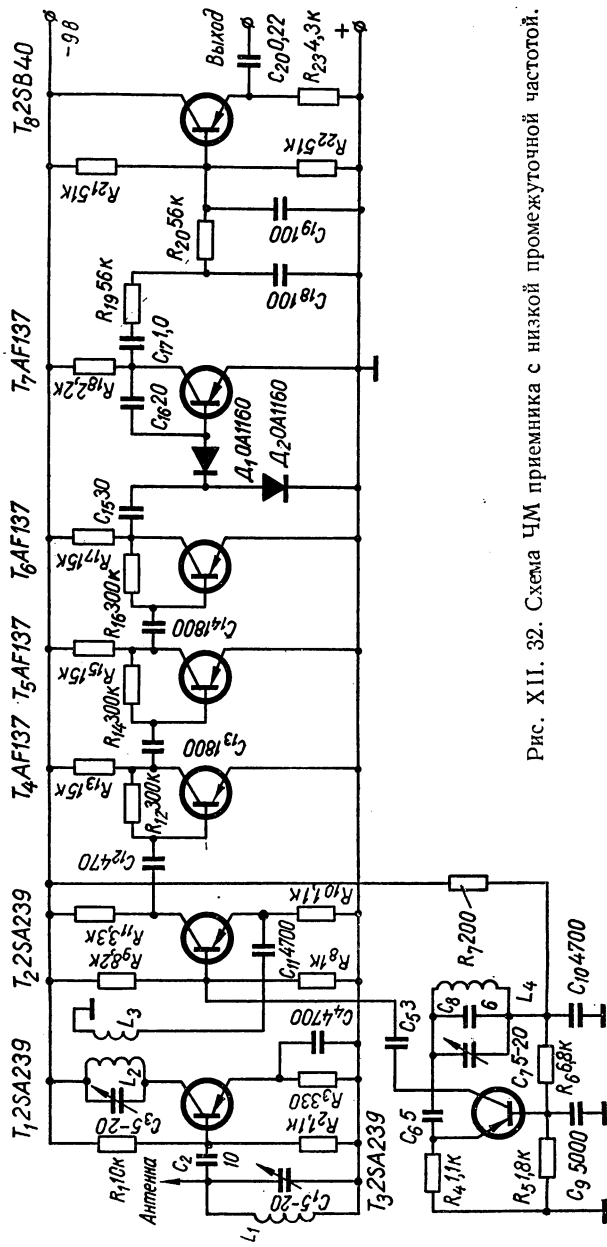


Рис. XII. 32. Схема ЧМ приемника с низкой промежуточной частотой.

менить ГТ 313А, АF 137 ($T_4 \rightarrow T_7$) — П401—П403, 2SB 40 (T_8) — П13—П16, диод ОА1160 — Д9Ж.

ЧМ приемник с низкой промежуточной частотой описан в [45].

Транзисторный УКВ приемник, схема которого изображена на рис. XII. 33, предназначен для работы в диапазоне 144 Мгц. Это простой супергетеродин с промежуточной частотой 4 Мгц. При его сборке были использованы детали от обычных транзисторных приемников.

В приемнике имеются следующие каскады: усилитель ВЧ (T_1), преобразователь (T_2), гетеродин (T_6) на частоту 140 Мгц с собственным стабилизатором напряжения, собранным на транзисторе T_7 , двухкаскадный усилитель ПЧ (T_3, T_4) и детектор на транзисторе T_5 . Усилитель НЧ может быть использован любого типа.

В первых трех каскадах приемника применяют ВЧ транзисторы с рабочей частотой не ниже 150 Мгц, в усилителе ПЧ и детекторе транзисторы с рабочей частотой не ниже 10 Мгц. Стабилизатор питания гетеродина собран на обычном НЧ транзисторе. Настройку приемника производят конденсатором переменной емкости с максимальным значением последней 11 пф. Для антенны используют алюминиевый штырь длиной 0,5 м. Дипольный вибратор может быть подключен с помощью катушки L'_1 , наматываемой поверх катушки L_1 . Катушки контуров наматывают на каркасах контуров ПЧ, взятых от любого карманного транзисторного приемника. Данные катушек сведены в табл. XII. 10.

Все катушки контуров ПЧ наматывают рядовой намоткой проводом типа ПЭЛ или ПЭВ, катушки входного контура, преобразователя и гетеродина — посеребренным медным проводом.

Т а б л и ц а XII.10

Намоточные данные катушек транзисторного УКВ приемника

Наименование	Число витков	Диаметр провода	Каркас или сердечник	Примечание
L_1	4	0,4	Каркас контура	—
L_2	2	0,2	ПЧ без сердечника	—
L'_1	2	0,2	—	—
L_3	5	0,4	ПЧ без сердечника	—
L_4	5	0,4	Бескаркасная, диаметр намотки 3,2, высота 4,5	—
L_5	26	0,18	Броневой сердечник от контура ПЧ	Отвод от середины
L_6	5	0,1		—
L_7	26	0,18	То же	—
L_8	5	0,1	» »	—
L_9	24	0,18	» »	Отвод от 18 витка, считая от «земли»
L_{10}	12	0,12	» »	—

Детали приемника располагают на печатной плате размером 110 × 50 мм.

Для приемника можно применить транзисторы типа ГТ313Б (T_1, T_6, T_2), П423 (T_3, T_4, T_5), МП42 (T_7). В качестве каркасов контуров можно использовать каркасы и сердечники от транзисторного приемника типа «Селга» или «Сокол». Диод D_1 — Д104.

Транзисторный УКВ приемник описан в [39].

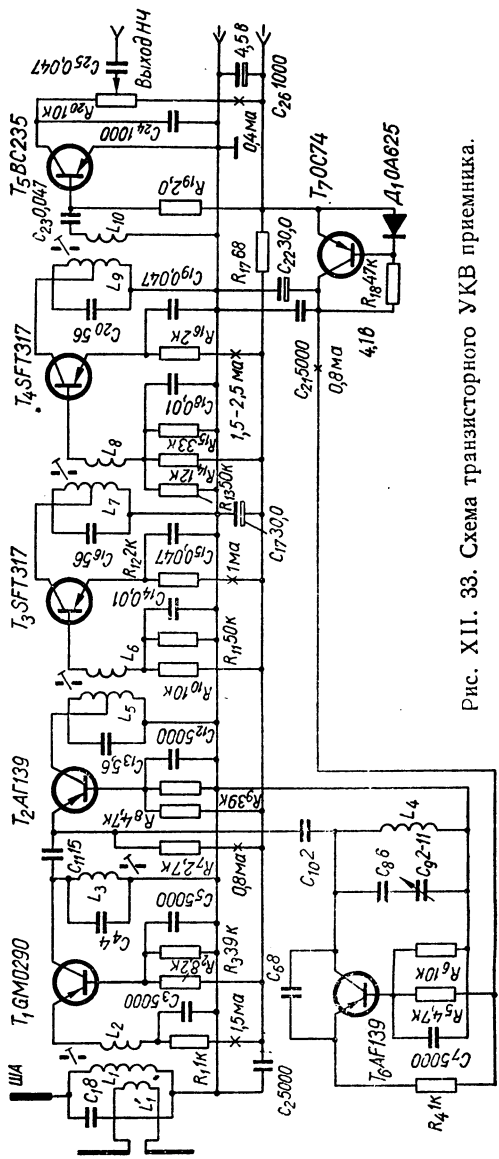


Рис. XII. 33. Схема транзисторного УКВ приемника.

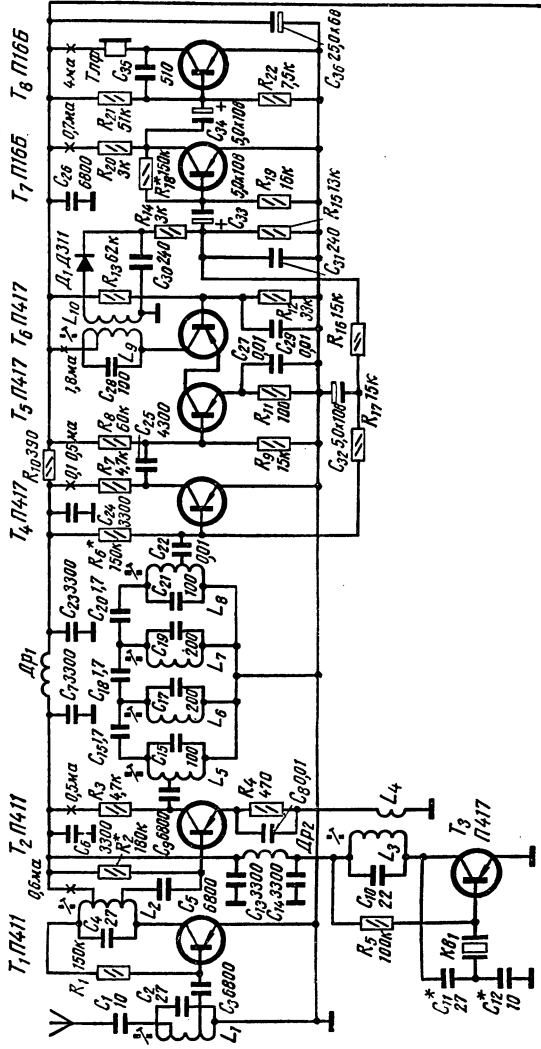
§ 2. Приемно-передающие радиостанции и передатчики

Малогабаритная транзисторная радиостанция предназначена для работы на фиксированных частотах в диапазоне 28—29,7 Мгц; мощность передатчика в антенне — 100 мвт; модуляция передатчика — амплитудная с максимальной глубиной 70%; чувствительность приемника — 4—6 мкв; полоса пропускания — 16 кгц (на уровне 0,7); ослабление при расстройке на ± 40 кгц — около 40 дб; вызов корреспондента — тональный; питание радиостанции — четыре элемента 1,6-ФМЦ-У-3,2 («Сатурн») в отдельной упаковке; размеры футляра: 128 × 78 × 27 мм; вес радиостанции — 480 г (без питания); максимальная дальность связи с односторонней радиостанцией — 2 км.

Принципиальная схема радиостанции приведена на рис. XII. 34. Приемник собран по супергетеродинной схеме. Гетеродин с кварцевой стабилизацией частоты выполнен на транзисторе T_3 . Использование каскодной схемы УПЧ на транзисторах T_5 и T_6 позволило значительно снизить влияние проходной емкости база транзистора T_5 — коллектор транзистора T_6 . Благодаря этому удалось получить во втором каскаде ПЧ большое усиление и отказаться от нейтрализации. Усилитель НЧ приемника — двухкаскадный на транзисторах T_7 и T_8 . Нагрузкой выходного каскада НЧ является низкоомный (60 ом) телефон от слухового аппарата. Для устранения возможного самовозбуждения высокочастотной части приемника по цепи питания применен фильтр, состоящий из дросселя Dr_1 и конденсаторов C_7, C_{23} .

Передатчик содержит четыре каскада: задающий генератор, два удвоителя частоты, из которых второй является фазинвертором, и выходной каскад. Задающий генератор выполнен с кварцевой стабилизацией частоты на транзисторе T_9 . Выходной каскад передатчика — двухтактный на транзисторах T_{12} и T_{13} , работающих с углом отсечки около 80°. Для уменьшения асимметрии плеч из-за разброса параметров транзисторов T_{12}, T_{13} в эмиттерную цепь транзисторов включен дроссель Dr_3 , обеспечивающий отрицательную обратную связь по переменному току в выходном каскаде и повышение входного сопротивления этого каскада. Для повышения активного сопротивления дроссель наматывается марганциновым проводом. Это позволяет получить в каскаде на транзисторах T_{12}, T_{13} отрицательную обратную связь по постоянному току. В передатчике использована коллекторная модуляция. Модулятор передатчика трехкаскадный. Вход его рассчитан на подключение динамического микрофона ДЭМШ-1. Микрофон подключен на вход модулятора через фильтр Dr_4, C_{51} для предотвращения проникновения в модулятор напряжения высокой частоты от передатчика. Генератор тонального вызова 1000 гц собран по схеме мультивибратора на транзисторах T_{18}, T_{19} .

Радиостанция собрана в корпусе, изготовленном из посеребренной красной меди толщиной 2 мм. Размеры корпуса: 130 × 80 × 27 мм. Монтаж радиостанции выполнен печатным способом. Данные контурных катушек приведены в табл. XII. 11, а трансформаторов — в табл. XII. 12. Дроссели ВЧ Dr_1 и Dr_2 содержат по 45 витков провода ПЭВ-1 0,1 мм, намотанных виток к витку на резисторы типа МЛТ-0,5 с сопротивлением не менее 51 ком. Дроссель Dr_3 изготавливают следующим образом: отмеряют такой отрезок марганцинового провода марки ПЭШОМ диаметром 0,15 мм, который имел бы сопротивление 4 ом, и наматывают его внавал на резистор типа МЛТ-0,5 с сопротивлением не менее 10 ком. В качестве антенны использован четвертьволновый штырь. Малогабаритная транзисторная станция подробно описана в [7].



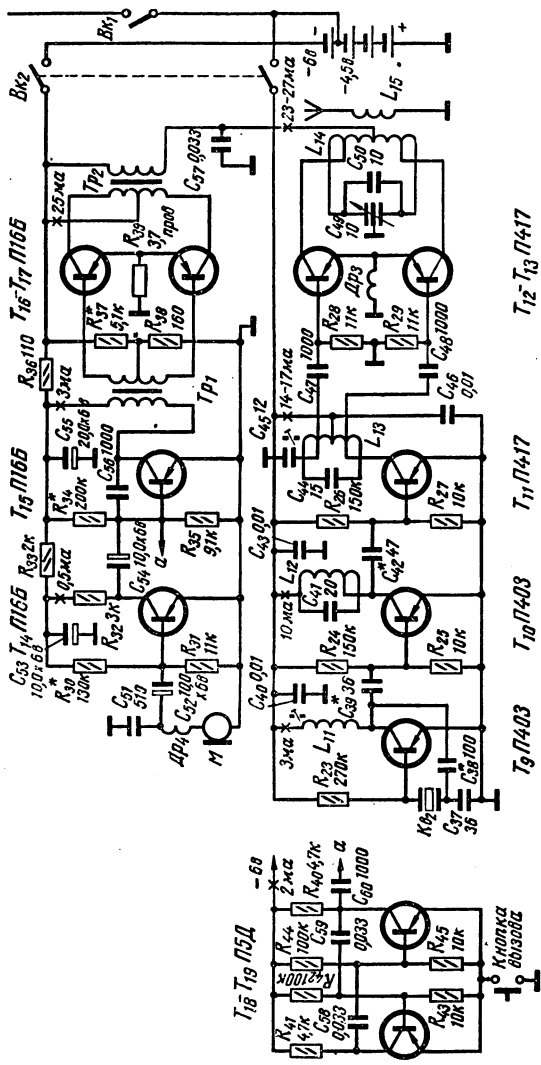


Рис. XII. 34. Схема маломощной транзисторной радиостанции.

Таблица XII.11

Намоточные данные контурных катушек малогабаритной транзисторной радиостанции

Обозначение по схеме	Количество витков	Отвод	Марка провода и диаметр, мм	Примечание
L_1	9	От 1 и 3-го витка, считая от нижнего (по принципиальной схеме) конца катушки	ПЭВШО 0,31	Каркас диаметром 8 мм, длиной 15 мм. Сердечник от контура УКВ блока радиовещательных приемников диаметром мм
L_2		От 1,5 и 3-го витка, считая от нижнего (по принципиальной схеме) конца катушки		
L_3	10	—	ЛЭШО 10 × × 0,05	На одном каркасе, таком же как у L_1 и L_2 . Сердечник от контура УКВ блока радиовещательных приемников диаметром 2 мм
L_4	2	—		
L_5	53	От 18-го витка, считая от нижнего (по принципиальной схеме) конца катушки	ПЭЛШО 0,15	Унифицированный трехсекционный каркас с запрессованным ферритовым кольцом, применяющийся в фильтрах ПЧ (8,4 Мгц) радиовещательных приемников с сердечником, имеющимся в этом каркасе
L_6	38	—		
L_7		—		
L_8	53	От 7-го витка, считая от нижнего (по принципиальной схеме) конца катушки		
L_9		От 17-го витка, считая от нижнего (по принципиальной схеме) конца катушки		
L_{10}	17	—		Наматывается на один каркас с катушкой L_9 , во всех трех секциях

Обозначение по схеме	Количество витков	Отвод	Марка провода и диаметр, мм	Примечание
L_{11}	36	—	ПЭЛШО 0,2	Унифицированный трехсекционный каркас с запрессованным ферритовым кольцом, применяющийся в фильтрах ПЧ (8,4 Мгц) радиовещательных приемников с сердечником, имеющимся в этом каркасе
L_{12}	20	От 12-го витка, считая от нижнего (по принципиальной схеме) конца катушки		
L_{13}	12	От 3, 6 и 9-го витка, считая от нижнего (по принципиальной схеме) конца катушки	ПЭВШО 0,31	
L_{14}	2 × 10	От 7, 10 и 13-го витка, считая от нижнего витка катушки		
L_{15}	5	—	Голый медный посеребренный, 0,8	

Примечание. Намотка катушек $L_1 - L_4$ и L_{13} однослойная, виток к витку; намотка катушек $L_5 - L_{12}$ внавал; намотка катушек L_{14} и L_{15} однослойная с принудительным шагом 1,25 мм.

Таблица XII.12

Данные трансформаторов для малогабаритной радиостанции

Обозначение по схеме	Магнитопровод		Способ сборки	Номер обмотки	Количество витков	Марка провода и диаметр, мм
	Тип	Материал пластин				
Tr_1	Ш	Пермаллой	В стык	I	1150	ПЭВ-1 0,06
	4 × 6			II	350 × 2	ПЭВ-1 0,12
Tr_2	Ш	Электротехническая сталь	В стык, с зазором 0,1 мм	I	450 × 2	ПЭВ-1 0,11
	9 × 11			II	570	ПЭВ-1 0,29

Телеграфно-телефонная переносная радиостанция предназначена для работы на 20- и 10-метровых любительских диапазонах. Передатчик радиостанции имеет кварцевую стабилизацию частоты. Отдаваемая в антенну мощность на 20-метровом диапазоне 0,5—0,6 *вт*, на 10-метровом — 150 *вт*. Чувствительность приемника на 20-метровом диапазоне не хуже 70 *мкв*, на 20-метровом — порядка 40 *мкв*. Общий вес радиостанции без источников питания равен 1650 *г*; с аккумуляторами батарей, составленной из 16 серебряно-цинковых аккумуляторов типа СЦ-1,5, — 2,2 *кг*. Радиостанция смонтирована на угловом металлическом шасси с размерами 230 × 90 × 105 *мм*.

Принципиальная схема радиостанции приведена на рис. XII. 35. Передатчик двухкаскадный. Задающий генератор, собранный на мощном высокочастотном транзисторе типа П-603, стабилизирован кварцем. Кварцевая пластина на частоту 14,024 *Мгц* включена в цепь эмиттера транзистора T_1 . В передатчике имеются два отдельных оконечных каскада (для каждого из диапазонов), собранных по двухтактной схеме. На 20-метровом диапазоне используется оконечный каскад, в котором применены транзисторы П-603 (T_2 и T_3), на 10-метровом диапазоне работает оконечный каскад на двух транзисторах типа П-402 (T_4 и T_5). Переход с диапазона на диапазон осуществляется с помощью переключателя P_1 , подключающего в цепь базы транзистора T_1 колебательный контур L_1C_3 или L_3C_4 . Оба эти контура настроены на частоту 14,024 *Мгц*. Одновременно переключатель P_1 перебрасывает миллиамперметр постоянного тока (0—150 *ма*) из цепи питания коллекторов T_2 — T_3 в коллекторную цепь T_4 — T_5 . С помощью этого миллиамперметра производится резонансная настройка колебательных контуров оконечных каскадов передатчика. Колебательный контур $L_{10}C_6$, стоящий в оконечном каскаде 20-метрового диапазона, с помощью катушки L_{11} связывается с антенной.

При работе на 10-метровом диапазоне связь контура задающего генератора с входной цепью оконечного каскада осуществляется через промежуточный резонансный контур L_6C_5 , настроенный на частоту 28,048 *Мгц*. Необходимость введения в схему этого дополнительного контура для работы на 10-метровом диапазоне вызвана тем, что примененный в задающем генераторе кварц может возбуждаться или на основной частоте, или на ее нечетных гармониках. Связь контура оконечного каскада 10-метрового диапазона с антенной индуктивная.

Роторы конденсаторов переменной емкости C_6 и C_9 имеют общую ось.

Телеграфная манипуляция передатчика осуществляется в эмиттерной цепи транзистора T_1 . Кроме манипуляции с помощью обычного телеграфного ключа предусмотрена возможность манипуляции с помощью автоматического ключа, собранного на транзисторе типа П-13А (T_6). Для этого используется обычное поляризованное реле (типа РП-7). Переменный резистор R_3 служит для регулировки скорости манипуляции. Сохранение ритмичности сигналов при изменении скорости манипуляции достигается с помощью регулировки резистора с переменным сопротивлением R_2 .

Для телефонной модуляции передатчика использован обычный угольный микрофон. Наивыгоднейший режим модуляции устанавливается с помощью переменного резистора R_1 .

Предусмотрена возможность работы радиостанции с пьезоэлектрическим или динамическим микрофоном. При этом применен дополнительный усилитель низкой частоты, собранный на четырех транзисторах (T_7 , T_8 , T_9 и T_{10}) и используемый также в качестве усилителя НЧ при приеме. Переход с передачи на прием осуществляется с помощью двух-

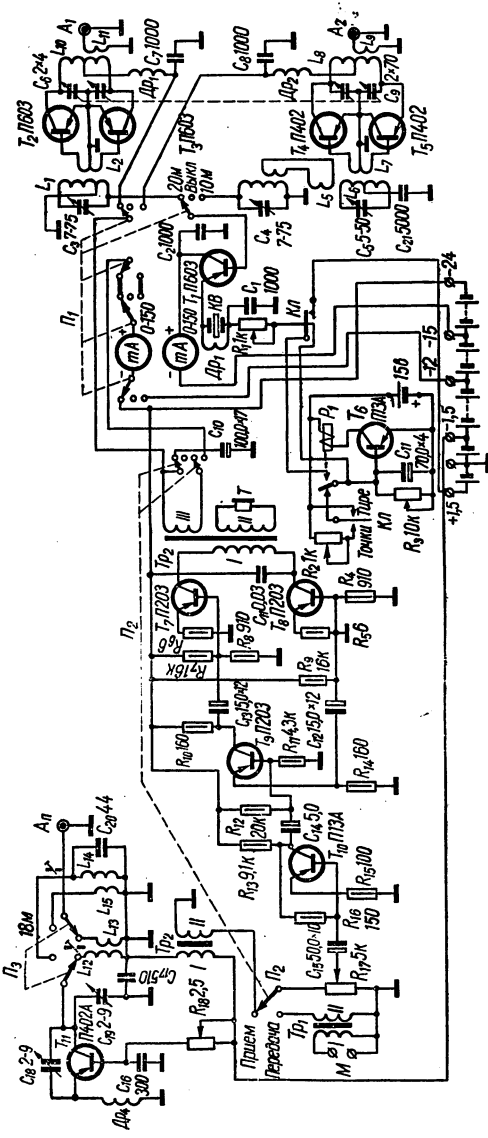


Рис. XII. 35. Схема телеграфно-телефонной переносной радиостанции.

позиционного переключателя P_2 . В положении «Передача» он подключает обмотку III выходного трансформатора усилителя НЧ (T_{P2}) последовательно в цепь питания коллекторов транзисторов одного из оконечных каскадов передатчика (в зависимости от положения переключателя P_1). Необходимая глубина модуляции устанавливается с помощью резистора с переменным сопротивлением R_{17} , используемого также в качестве регулятора громкости при приеме.

Приемник собран по схеме прямого усиления. Транзистор T_{11} (П-403А) работает в режиме сверхрегенеративного детектора с самогашением частоты. Переход с одного диапазона на другой осуществляется с помощью двухполюсного переключателя P_3 , подключающего в коллекторную цепь транзистора T_{11} катушки индуктивности L_{12} или L_{14} , образующие вместе с конденсатором переменной емкости C_{19} резонансный контур, настраиваемый в пределах частот 10- и 20-метрового диапазона. Связь с антенной на обоих диапазонах индуктивная. Регулировка обратной связи осуществляется с помощью переменного резистора с переменным сопротивлением R_{18} .

Т а б л и ц а XII,13

Намоточные данные катушек индуктивности и ВЧ дросселей телеграфно-телефонной переносной радиостанции

Катушка	Назначение катушки	Провод	Число витков	Индуктивность, мкГн
L_1	Контурная катушка задающего генератора передатчика	МГ 1,2	6	0,8
L_2	Катушка связи	ПМВ 0,75	3	
L_3	Катушка первого контура, настроенного на удвоенную частоту кварца	МГ 1,2	6	0,8
L_4	Катушка связи	ПМВ 0,75	3	
L_5	Катушка связи	ПМВ 0,75	3	
L_6	Катушка второго контура, настроенного на удвоенную частоту кварца	МГ 1,2	10	1,6
L_7	Катушка связи	ПМВ 0,75	3	
L_8	Контурная катушка оконечного каскада передатчика (10-метровый диапазон)	ПЭЛ 1,5	5 + 5	2,2
L_9	Катушка связи с антенной	ПЭЛ 1,5	4	0,7
L_{10}	Контурная катушка оконечного каскада передатчика (20-метровый диапазон)	ПЭЛ 1,5	6 + 6	3,4
L_{11}	Катушка связи с антенной	ПЭЛ 1,5	4	1,0
L_{12}	Контурная катушка 10-метрового диапазона приемника	МГ 0,65	11	1,4
L_{13}	Катушка связи с антенной	ПМВ 0,75	2	
L_{14}	Контурная катушка 20-метрового диапазона приемника	МГ 1,2	15	2,5
L_{15}	Катушка связи с антенной	ПМВ 0,75	3	
D_{P_1}, D_{P_2} и D_{P_4}	ВЧ дроссели	ПЭЛШО 0,1	1 600	3 000
D_{P_2}	ВЧ дроссель	ПЭЛШО 0,1	800	1 600

Все катушки индуктивности радиостанции самодельные. Их данные приведены в табл. XII. 13.

Катушки L_1 , L_3 , L_6 , L_{12} и L_{14} выполняются на керамических или полистироловых каркасах. Катушки L_{12} и L_{14} имеют подстроечные сердечники из карбонильного железа. Дроссели $Dr_1—Dr_4$ намотаны на каркасах из органического стекла. Обмотка у них разбивается на четыре секции.

Конденсаторы C_3 , C_4 , C_5 и C_{19} — малогабаритные подстроечные конденсаторы с воздушным диэлектриком. Конденсатор C_{19} имеет одну неподвижную и две подвижные пластины и снабжен верньерным устройством с замедлением 1 : 10.

Трансформаторы Tr_1 и Tr_3 самодельные, выполнены на пермаллоевых пластинах Ш-6 с набором 10 мм. Их обмотки I содержат по 5000 витков провода ПЭЛ 0,05, обмотки II — по 2000 витков провода ПЭЛ 0,15. В качестве этих трансформаторов могут быть использованы заводские трансформаторы от слуховых аппаратов «Звук» или «Кристалл». Если будет использоваться динамический микрофон типа МД-42, трансформатор Tr_1 из схемы исключают и микрофон подключают непосредственно в цепь переключателя P_2 . Трансформатор Tr_2 выполнен на оксиферовом сердечнике ОШ-12. Его обмотка I содержит 300×2 витков провода ПЭЛ 0,41, обмотка II — 600 витков провода ПЭЛ 0,15, обмотка III — 1600 витков провода ПЭЛ 0,2 с отводами от 1000, 1200, 1400-го витков. Подробное описание конструкции и методики наладки телеграфно-телефонной переносной радиостанции приведено в [24].

Портативная транзисторная радиостанция на 144—146 Мгц, разработанная в ГДР, выполнена на четырех транзисторах. Схема радиостанции представлена на рис. XII. 36.

Передатчик собран по схеме с посторонним возбуждением. Колебания на фиксированных частотах в диапазоне 72—73 Мгц, генерируемые возбудителем, собранным на транзисторе T_3 (OC614), модулируются по частоте. Для этого переменное напряжение с угольного микрофонного капсуля ЦБ подается в цепь базы транзистора T_3 . Это напряжение изменяет динамические емкости транзистора, что в конечном результате позволяет получить при низком напряжении питания очень хорошую частотную модуляцию с девиацией частоты до 0,5 Мгц. Транзистор T_4 (AF114) работает в качестве удвоителя и усилителя мощности. Чтобы получить максимальную выходную мощность при допустимом токе коллектора транзистора T_4 , напряжение смещения, подаваемое на его базу, можно регулировать потенциометром R_{12} . Поскольку транзистор T_3 генерирует в области, близкой к его верхней граничной частоте, на эмиттер транзистора T_4 подается ограниченное напряжение. Несмотря на это, выходная мощность передатчика в диапазоне 144—146 Мгц достигает 1—2 мвт.

Приемник собран на транзисторах T_1 (AF114) и T_2 (OC604) и представляет собой сверхрегенератор, вспомогательная частота которого 100—150 кГц. В качестве конденсатора переменной емкости колебательного контура C_1 используется подстроечный конденсатор.

Транзисторы радиостанции можно заменить транзисторами отечественного производства. OC614 заменяется П403 или П403А, AF114—П411 или П411А, OC604—П15 или П16.

Все катушки радиостанции бескаркасные и наматываются на оправку диаметром 6 мм проводом толщиной 1 мм. Катушка L_1 содержит 6 витков, L_2 и L_3 — по 3,5 витка, L_4 — 2,5 витка, L_5 — 3 витка и L_6 — 2 витка. Дроссель Dr_1 намотан на ферритовый сердечник диаметром 1,5—3 мм и содержит 20—30 витков провода ПЭЛ 0,3—0,5 мм.

Портативная транзисторная радиостанция описана в [30].

Миниатюрный АМ передатчик с радиусом действия 500 м. Мощность излучения передатчика на частотах 28—30 Мгц при хорошем согласовании с антенной порядка 5 мвт. Питание осуществляется от одной батареи для карманного фонаря напряжением 4,5 в. Ток, потребляемый передатчиком, 18—20 ма. Модулятор обеспечивает глубину модуляции 60% при напряжении низкой частоты на входе микрофонного усилителя

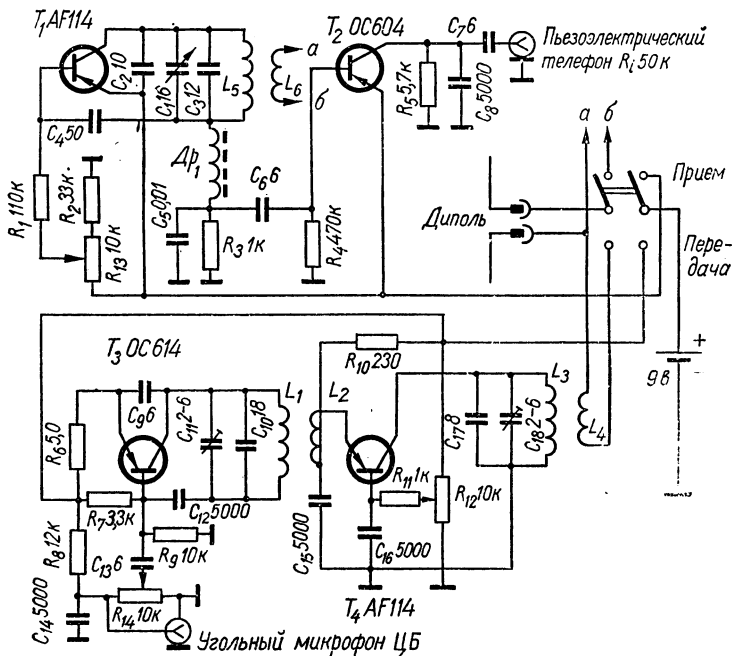


Рис. XII. 36. Схема портативной транзисторной радиостанции на 144—146 Мгц.

200—300 мкв, которое может быть снято практически с любого микрофона. В качестве антенны может быть использован кусок провода длиной 1/4 волны.

Передатчик (рис. XII. 37) состоит из трехкаскадного низкочастотного усилителя-модулятора, выполненного на транзисторах П13А (T_1 , T_2 и T_3), и высокочастотного генератора, собранного на транзисторе T_4 . На любительских КВ диапазонах в высокочастотном генераторе может работать любой из транзисторов П-402, П-403.

Все три каскада усилителя НЧ (модулятора) выполнены по схеме с заземленным эмиттером. Для устранения самовозбуждения усилителя первые два каскада (T_1 и T_2) развязаны по цепям питания фильтрами R_4C_3 и R_9C_5 . Регулирование коэффициента усиления (примерно в 30 раз) производится потенциометром R_6 , включенным в цепь базы второго транзистора. Коллекторной нагрузкой третьего каскада усилителя является сам высокочастотный генератор, развязанный по высокой частоте

дросселями Dr_1 и Dr_2 и конденсаторами C_6 , C_7 , C_8 и C_9 . Эквивалентное сопротивление высокочастотного генератора между точками А и Б на низких частотах равно 300 ом. Напряжение, выделенное на этой нагрузке, является питающим напряжением для высокочастотного генератора.

Генератор собран по трехточечной схеме с емкостной обратной связью. Катушка индуктивности L_1 включена здесь (по высокой частоте) между корпусом и базой транзистора. Режим транзистора по постоянному току определяется делителем напряжений $R_{12}R_{13}$ и резистором в цепи эмиттера R_{14} . Резисторы R_{12} и R_{13} зашунтированы по высокой

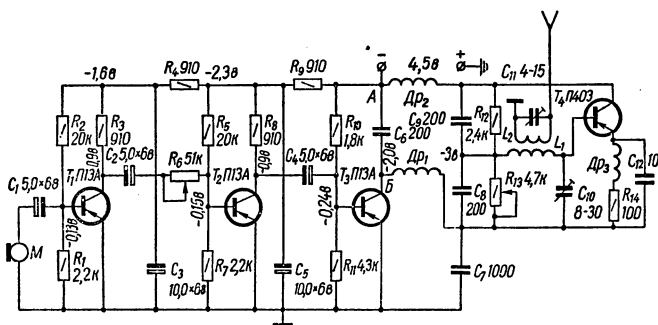


Рис. XII. 37. Схема миниатюрного АМ передатчика с радиусом действия 500 м.

частоте конденсаторами C_3 и C_9 . Для того чтобы низкоомное сопротивление резистора R_{14} не шунтировало контур генератора, последовательно с этим резистором включен дроссель Dr_3 . Антенна подключается через контур L_2C_{11} , индуктивно связанный с катушкой L_1 .

Для уменьшения размеров передатчика детали, используемые в нем, должны быть малогабаритными. Мощность резисторов может быть взята минимальной.

Высокочастотные дроссели Dr_1 , Dr_2 и Dr_3 должны иметь индуктивность порядка 50 мкн. Такой дроссель имеет 50—60 витков провода в шелковой изоляции (ПЭЛШО) диаметром 0,1 мм, намотанных в один слой на каркасе диаметром 5 мм. В качестве конденсаторов C_{10} и C_{11} могут быть использованы любые подстроечные конденсаторы с указанными на схеме пределами изменения емкости. Катушки L_1 и L_2 наматываются на одном каркасе (диаметром 10 мм) проводом ПЭЛШО 0,35 виток к витку. Для диапазона частот 28—30 Мгц катушка L_1 состоит из 8 витков, L_2 — из 6 витков. Расстояние между центрами катушек L_1 и L_2 примерно 8—10 мм. Монтаж передатчика производится на гетинаксовой панели с размерами 60 × 70 мм.

Регулировка передатчика заключается в основном в подборе плеч делителей $R_{10}R_{11}$ и $R_{12}R_{13}$. Делитель $R_{10}R_{11}$ подбирается так, чтобы напряжение на коллекторе транзистора T_3 было бы равно примерно половине напряжения питания (т. е. 2 в) при отсутствии напряжения модуляции. От соотношения плеч делителя $R_{12}R_{13}$ зависит величина паразитной частотной модуляции. Определять правильность выбора плеч этого делителя лучше всего при помощи волномера. При изменении напряжения между точками А и Б от —0,5 до —4,0 в уход частоты не

должен превышать 1—2 кГц. Вместо волномера можно использовать приемник соответствующего диапазона. Убедиться в наличии генерации можно при помощи обычного миллиамперметра, измеряющего потребляемый генератором ток: при закорачивании на землю базы триода T_4 конденсатором емкостью в несколько тысяч пикофард колебания генератора срываются, что сказывается на изменении потребляемого тока.

Передатчик может без изменения схемы работать на частотах вплоть до 120 МГц (на транзисторе П-403). Единственными элементами схемы, которые нужно при этом заменить, являются катушки L_1 и L_2 .

Миниатюрный АМ передатчик с радиусом действия 500 м описан в [18].

Телеграфный КВ передатчик с кварцевой стабилизацией рассчитан на работу в 40- и 20-метровых любительских диапазонах. Для работы

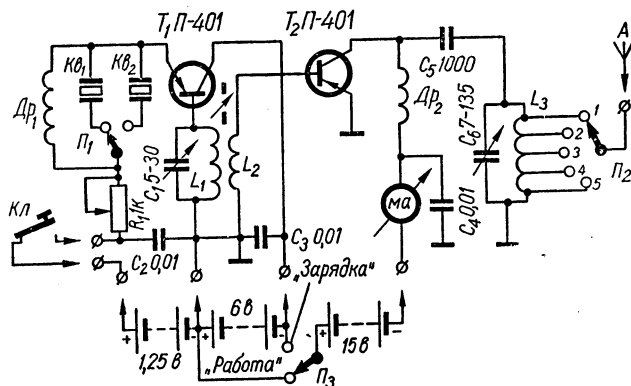


Рис. XII. 38. Схема телеграфного КВ передатчика с кварцевой стабилизацией.

с передатчиком могут применяться любые коротковолновые антенны несимметричного питания. Можно использовать его также на передвижной радиостанции со штыревой антенной. Для питания передатчика используется аккумуляторная батарея, составленная либо из 18 «пуговичных» герметизированных кадмиево-никелевых аккумуляторов емкостью 50 ма·ч каждый, либо из гальванических элементов (например, из элементов ФБС). Вес передатчика вместе с источником питания 700 г.

Передатчик (рис. XII. 38) имеет задающий генератор, собранный по схеме с обратной связью на транзисторе T_1 , и усилитель мощности (или удвоитель), выполненный на транзисторе T_2 . В цепь эмиттера транзистора T_1 с помощью переключателя P_1 может быть включен один из кварцев (КВ₁ или КВ₂). Колебательный контур L_1C_1 в цепи транзистора T_1 настраивается на частоту кварца. Наивыгоднейшее напряжение смещения устанавливается с помощью резистора с переменным сопротивлением R_1 , ручка которого вынесена на переднюю панель передатчика. При переключении кварцев, в случае попеременной работы на двух частотах, предусмотрена возможность подстройки контура L_1C_1 с помощью подвижного сердечника из карбонильного железа. Подстройка производится ручкой, вынесенной на переднюю панель передатчика.

Телеграфная манипуляция осуществляется в цепи эмиттера транзистора T_1 . Напряжение ВЧ, снимаемое с контура L_1C_1 , подается на базу транзистора T_2 . Второй каскад передатчика включен по схеме параллельного питания. Для контроля работы этого каскада в цепь коллектора транзистора T_2 включен миллиамперметр постоянного тока на 10 ма. Колебательный контур L_3C_6 подключен к коллектору транзистора T_2 через разделительный конденсатор C_5 . С помощью конденсатора переменной емкости C_6 осуществляется перестройка контура L_3C_6 в пределах 7—14 Мгц.

Передатчик рассчитан на работу с простейшими однофидерными антеннами, работающими в режиме бегущей волны, или с четвертьволновым вибратором. Оптимальная связь с антенной подбирается переключением отводов катушки L_3 с помощью переключателя P_2 .

Катушки индуктивности передатчика — самодельные, их данные приведены в табл. XII. 14. Для намотки катушек использованы полистироловые каркасы от катушек коротковолнового диапазона приемника «Звезда». Каркас для катушек L_1L_2 протачивается до диаметра 12 мм. После этого на нем производится намотка обеих катушек. Расстояние между катушками 2 мм. В карбонильный сердечник у этого каркаса запрессовывается латунная шпилька диаметром 3 мм и длиной 30 мм. Для запрессовки шпильки в карбонильном сердечнике следует сверлом диаметром 2,9 мм просверлить отверстие глубиной 10 мм, прогреть шпильку паяльником и вогнать ее в просверленное отверстие. На свободном конце шпильки закрепляется ручка подстройки. Каркас катушек приклеивается с помощью клея БФ к маленькой планке из органического стекла или гетинакса и потом укрепляется двумя винтами на вертикальной панели шасси передатчика.

Дроссели Dp_1 и Dp_2 намотаны на каркасах из органического стекла. Обмотка разбита на четыре секции по 200 витков провода в каждой. Конденсаторы C_1 и C_6 — малогабаритные подстроечные с воздушным диэлектриком. Конденсатор C_1 укрепляется на горизонтальной панели, ось его имеет шлиц. Настройка конденсатора производится лишь в момент наладки передатчика. Ось конденсатора C_6 выведена на вертикальную панель передатчика. Кварцевые пластины KB_1 и KB_2 с резонансными частотами 7000 и 7025 кГц взяты с малогабаритными кварцедержателями. Передатчик имеет защитный кожух размерами $105 \times 103 \times 73$ мм.

Описание конструкции и методика наладки телеграфного КВ передатчика приведены в [11].

Транзисторно-ламповый АМ передатчик на 28—30 Мгц. В отличие от схем портативных передатчиков средней мощности КВ и УКВ диапазонов, использующих для питания анодной и экранной цепей

Т а б л и ц а XII.14

Намоточные данные катушек индуктивности и ВЧ дросселей телеграфного КВ передатчика с кварцевой стабилизацией

Катушки	Провод	Число витков	Индуктивность, мкГн
L_1	ПЭЛ 0,22	22	8,6
L_2	ПЭЛ 0,22	6	1,3
L_3^*	МГ 0,69	20	3,2
Dp_1, Dp_2	ПЭЛ 0,1	800	1700

* Катушка L_3 намотана медным посеребренным проводом и имеет отводы от 5, 6, 7, 8, 9 и 10-го витков.

генераторной лампы специальный преобразователь напряжения, схема, изображенная на рис. XII. 39, обладает повышенной экономичностью и простой конструкции. В качестве источника анодного напряжения в ней используются мощный модулятор и выпрямитель.

Модуляционный трансформатор Tr_1 имеет две повышающие обмотки — модуляционную и питающую. Напряжение, снимаемое с питающей обмотки II, выпрямляется и через модуляционную обмотку I подается на анод выходного каскада (L_1), работающего в режиме анодно-экранной модуляции. Модулятор работает в режиме В и имеет высокий к. п. д. (до 70%). Так как анодное напряжение пропорционально напряжению модуляции, в данной схеме осуществляется модуляция с управляемой несущей (CLC), что значительно повышает экономичность.

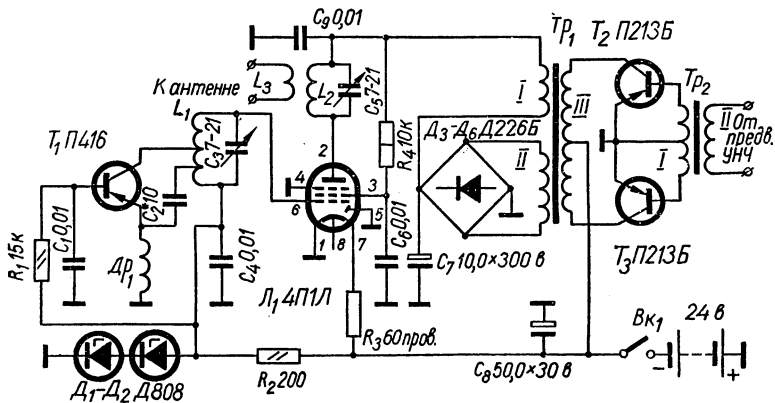


Рис. XII. 39. Схема транзисторно-лампового АМ передатчика на 28—30 Мгц.

Задающий генератор собран по схеме с общей базой на транзисторе T_1 (диапазон 28—29,7 Мгц) и дает напряжение возбуждения около 25—30 в. Транзистор T_1 работает при несколько повышенном напряжении на коллекторе, поэтому может потребоваться специальный отбор качественных экземпляров.

Дроссель Dr_1 намотан на резисторе ВС-2 со снятым проводящим слоем и имеет 250 витков провода ПЭЛ 0,2. Катушки L_1 и L_2 содержат по 12 витков провода ПЭЛ 1,2. Диаметр катушек 12 мм, длина намотки 20 мм. Отводы в катушке L_1 — от 2 и 6-го витков. Катушка L_3 имеет два витка и расположена на расстоянии 2 мм от «холодного» конца катушки L_2 . Трансформатор Tr_1 намотан на сердечнике Ш20 × 20; обмотки I и II содержат по 1000 витков ПЭЛ 0,1, обмотка III — 200 витков ПЭЛ 0,62 с отводом от середины. Трансформатор Tr_2 намотан на сердечнике Ш12 × 12, обмотка I имеет 300 витков с отводом от середины, обмотка II — 450 витков провода ПЭЛ 0,41. Передатчик собран на вертикальном алюминиевом шасси 60 × 250 мм.

Испытания показали, что передатчик обеспечивает удовлетворительное качество модуляции.

Схема транзисторно-лампового передатчика описана в [38].

Передатчик на шести транзисторах. Основные технические данные: диапазон рабочих частот — 28—29,7 Мгц; полезная мощность в антенне — 100—150 мвт; модуляция — узкополосная частотная; количест-

во каскадов по ВЧ — три (транзисторы П411); количество каскадов по НЧ — два (транзисторы П13); источник питания — 12 в; ток, потребляемый от источника питания, — 80 ма.

Схема передатчика приведена на рис. XII. 40. Высокочастотная часть передатчика содержит три каскада: задающий генератор и удвоитель частоты, собранный на транзисторе T_1 ; эмиттерный повторитель и фазоинвертор (транзистор T_2); двухтактный выходной каскад, собранный на транзисторах T_3 и T_4 . Низкочастотная часть передатчика содержит два каскада, собранных на транзисторах T_5 и T_6 типа П13. С выхода

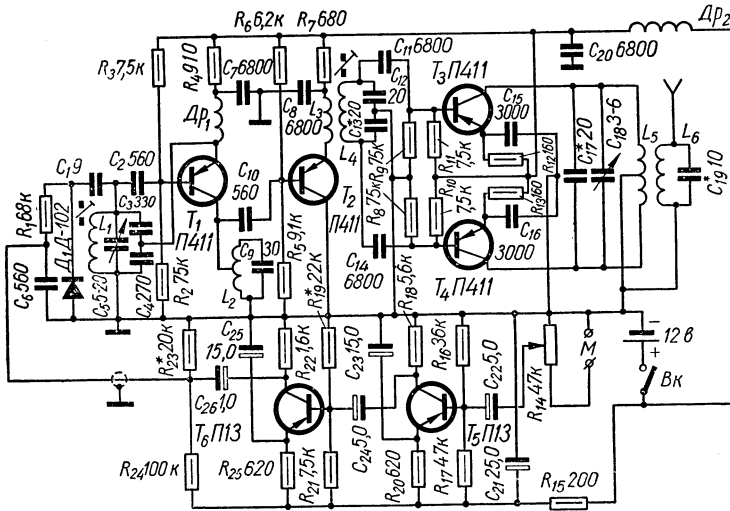


Рис. XII. 40. Схема передатчика на шести транзисторах.

усилителя НЧ сигнал поступает на вход частотного модулятора, собранного на диоде D_1 . Задающий генератор работает в диапазоне 14—14,85 Мгц по схеме емкостной трехточки с заземленным коллектором. Эмиттер отделен по ВЧ от земли дросселем Dp_1 . Для достижения устойчивого самовозбуждения ток коллектора при замыкании катушек L_1 и L_2 должен доходить до 0,5—1,5 ма, что достигается подбором сопротивления резистора R_2 . Резистор R_1 обеспечивает температурную стабилизацию тока коллектора. Катушка L_1 может быть заменена кварцем с резонансной частотой в диапазоне 14—14,85 Мгц. При работе с кварцем ЧМ осуществить невозможно, и передатчик работает в телеграфном режиме или с амплитудной модуляцией выходного каскада по базовым цепям. В этом случае можно применять в диапазоне ВЧ транзисторы П403. В коллекторной цепи транзистора T_1 выделяется вторая гармоника частоты задающего генератора. Для хорошего подавления в этой цепи колебаний с частотой задающего генератора (22—25 дб) и уменьшения влияния следующих каскадов на генерируемую частоту контур L_2C_9 должен иметь добротность не ниже 10. Для этого применяется неполное включение контура L_2C_9 в коллекторную цепь транзистора T_1 . Между коллекторной цепью T_1 и базовыми цепями выходных транзисторов включен каскад, собранный по схеме эмиттерного повторителя.

Выходные транзисторы T_3 и T_4 работают в двухтактном режиме с углом отсечки около 100° . В коллекторную цепь включен контур L_5C_{18} с плавной настройкой на рабочую частоту.

Желательно применять переменный конденсатор C_{18} типа «бабочка». Связь с антенной индуктивная, цепь антенны настраивается подбором емкости конденсатора C_{19} .

В рабочем режиме амплитуды базовых токов оконечных транзисторов таковы, что постоянная составляющая коллекторного тока каждого транзистора достигает 30 ма , а постоянное напряжение между коллектором и эмиттером — 7 в . Усилитель низкой частоты передатчика рассчитан на подключение динамического микрофона. Транзисторы T_5 и T_6 должны иметь β не менее 30 и $I_{K0} \leq 10 \text{ мка}$.

Передатчик собран на двух панелях из двухмиллиметрового гетинакса; размеры панели: $200 \times 70 \text{ мм}$. На верхней панели собрана высокочастотная часть передатчика, на нижней — низкочастотная. Между панелями размещен источник питания — три батарейки для карманного фонаря; панели стягиваются винтами. Монтаж навесной, на монтажных лепестках, наклепанных на панели. Данные катушек индуктивности приведены в табл. XII. 15. Диаметр каркасов катушек: L_1-L_4 9 мм , L_5 — 30 мм . Все катушки, кроме L_5 и L_6 , закрыты алюминиевыми экранами с отверстиями для подстройки. Дроссели ВЧ Dp_1 и Dp_2 содержат по 60 витков провода ПЭЛШО 0,12; намотка внавал на резисторах типа МЛТ-0,5 ($R > 30 \text{ ком}$). В качестве антенны передатчика используется четвертьволновой штырь. При установке антенны на крыше пятиэтажного дома и применении двадцатиметрового фидера передатчик обеспечивает связь в радиусе 5 км , если прием ведется на обычные СВ-приемники.

Подробное описание схемы и методика наладки передатчика приведены в [9].

Т а б л и ц а XII.15

Намоточные данные контурных катушек передатчика на шести транзисторах

Обозначение по схеме	Количество витков	Марка провода	Примечание
L_1	17	ПЭЛ 0,63	Намотка виток к витку
L_2	11		То же, отвод от середины
L_3	7	ПЭЛ 0,35	Намотка виток к витку между витками катушки L_4
L_4	14	ПЭЛ 0,69	Намотка виток к витку
L_5	7	ПЭЛ 1,5	Намотка на каркасе из органического стекла с шагом 4 мм
L_6	4		Катушка намотана между витками L_4 симметрично относительно ее середины

§ 3. Усилительные устройства

Простой экономичный усилитель с выходной мощностью 80 мвт. Схема усилителя приведена на рис. XII. 41. Усилитель воспроизводит частоты от 100 до 10 000 гц при неравномерности частотной характеристики около 3 дб. Чувствительность усилителя равна 30 мв (при номинальной мощности), входное сопротивление — 7 ком, потребляемый ток при отсутствии сигнала — 2,2 ма, к. п. д. — около 70%.

Усилитель охвачен отрицательной обратной связью по постоянному и переменному току (аналогично схеме, представленной на рис. VI. 16, а). Основная обратная связь подается через резистор R_7 . Режим транзисторов устанавливается подбором сопротивления в цепи эмиттера транзистора T_2 .

Простой экономичный усилитель с выходной мощностью 200 мвт. На рис. XII. 42, а приведена схема усилителя. Чувствительность его составляет 150 мв. Диапазон воспроизводимых частот (200 гц—5 кгц) может быть расширен до 8—12 кгц при условии исключения конденсатора C_2 . В режиме молчания усилитель потребляет ток 3,5 ма. К. п. д. усилителя около 65%.

Выходной каскад усилителя более подробно описан на стр. 219 и отличается лишь способом включения громкоговорителя.

Если в усилитель ввести отрицательную обратную связь с глубиной около 20 дб, качественные показатели его значительно улучшаются. Резко уменьшается коэффициент нелинейных искажений, расширяется полоса воспроизводимых частот (60—20 000 гц при неравномерности усиления 2 дб), снижается уровень шумов. Однако при этом чувствительность усилителя уменьшается приблизительно в 10 раз. На рис. XII. 42, б приведена схема усилителя с обратной связью и дополнительным каскадом, повышающим чувствительность усилителя до 120 мв. Входное сопротивление усилителя 30 ком. Более подробно простой экономичный усилитель с выходной мощностью до 200 вт описан в [8].

Высококачественный усилитель для переносного приемника с выходной мощностью 300 мвт. На рис. XII.43 приведена схема усилителя, состоящего из четырех каскадов с непосредственными связями. Для получения номинальной мощности на вход усилителя нужно подать сигнал 40 мв. Неравномерность частотной характеристики усилителя в диапазоне частот 50—15 000 гц не более ± 1 дб, коэффициент нелинейных искажений не превышает 2%, к. п. д. около 78%, ток покоя около 1,5 ма.

В усилителе имеется несколько цепей обратной связи. Для стабилизации режима транзисторов применена 100%-ная отрицательная обратная связь по постоянному току с выхода усилителя на эмиттер первого транзистора, а для уменьшения нелинейных искажений — отрицательная обратная связь по переменному току глубиной 12 дб. Напряжение обратной связи по переменному току также подается в эмиттер первого транзистора. Положительная обратная связь подается с выхода через резистор R_9 в цепи баз транзисторов T_3 и T_4 . Положительная обратная

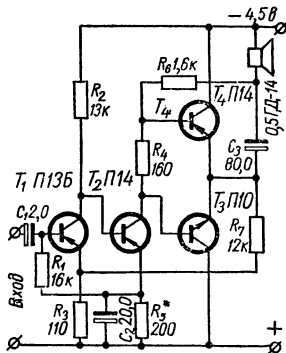


Рис. XII. 41. Схема усилителя с выходной мощностью 80 мвт.

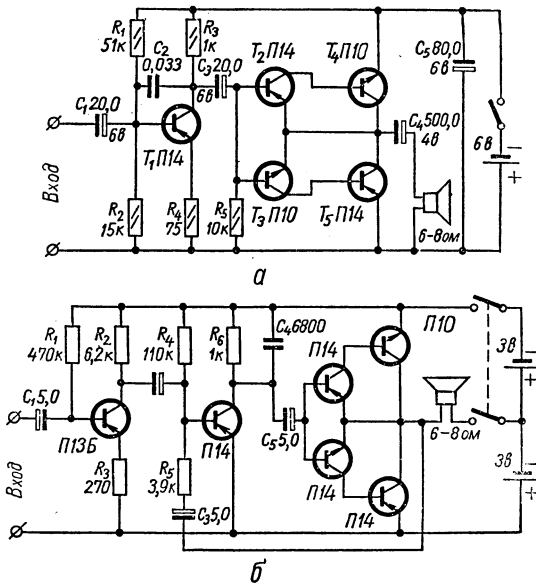


Рис. XII. 42. Схема безтрансформаторного усилителя с выходной мощностью 200 мвт:
a — в диапазоне частот 200 гц — 5 кгц; *б* — в диапазоне 60 гц — 20 кгц.

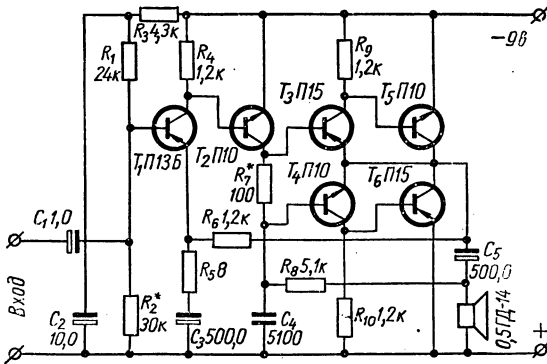


Рис. XII. 43. Схема высококачественного усилителя для переносного приемника.

связь получается в результате того, что резистор в цепи коллектора транзистора T_2 подключен к «плюсу» источника питания через нагрузку усилителя (громкоговоритель), а не непосредственно. Благодаря такому включению на напряжение питания транзистора T_2 наложено переменное напряжение с выхода усилителя. В результате транзистор работает при переменном напряжении питания, изменяющемся от 0,5 до 1,5 напряжения источника питания, и поэтому обеспечивает достаточную мощность на входе выходного каскада.

При повышении температуры окружающей среды до 60°C , а также при изменении питающего напряжения от 4 до 15 в работоспособность усилителя полностью сохраняется при условии полной симметрии плеч выходного каскада.

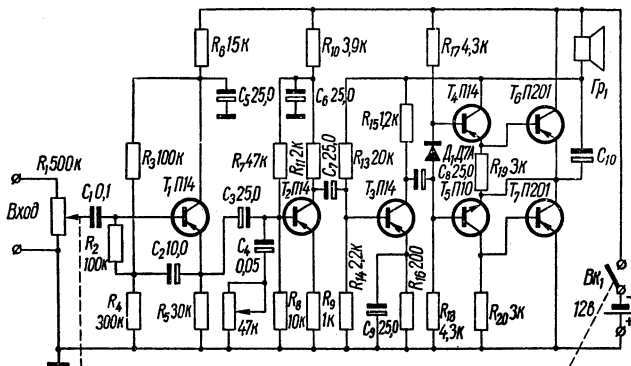


Рис. XII. 44. Схема усилителя с выходной мощностью 1 вт.

Правильно собранный усилитель не нуждается в наладке. Рекомендуется лишь проверить симметрию плеч и величину напряжения смещения транзисторов выходного каскада (на резисторе 100 ом). В случае необходимости регулировка производится подбором резисторов, отмеченных на схеме звездочкой.

Усилитель для переносного магнитофона или радиоприемника с выходной мощностью 1 вт. Чувствительность усилителя 0,2—0,3 в, диапазон воспроизводимых частот 50—10 000 гц, входное сопротивление 300 ком, ток покоя 15 ма, потребляемый ток при номинальной мощности 200 ма, диапазон рабочих температур от 0 до $\pm 40^\circ\text{C}$.

Схема усилителя приведена на рис. XII. 44. Первый каскад с повышенным входным сопротивлением описан на стр. 231. Для регулировки тембра звука служит сопротивление 47 ком, а для температурной стабилизации режима выходного каскада — диод D_1 . Сопротивление звуковой катушки громкоговорителя должно быть равно 5—15 ом.

Вместо транзисторов типа П14 можно применить транзисторы типа П13, П15, П40, П41, МП41, вместо П10 — П9А, П11, вместо П201 — П202, П203, П213, П605. Коэффициент усиления транзисторов по току β должен быть в пределах 20—80, обратный ток маломощных транзисторов не более 10 мка. Для снижения уровня шумов усилителя в первых двух каскадах следует применять малощумящие транзисторы.

Усилитель с выходной мощностью 2 вт. Чувствительность усилителя 0,25 в, диапазон рабочих частот 40—20,000 гц, коэффициент нелинейных

искажений не более 3%. Выход усилителя рассчитан на подключение громкоговорителей с сопротивлением 4,5—7,5 ом. При максимальной мощности на выходе усилитель потребляет ток около 200 ма.

Схема усилителя приведена на рис. XII. 45, а. Усилитель выполнен по бестрансформаторной схеме. Для уменьшения искажений усилитель охвачен отрицательной обратной связью. Стабилизация режима выходного каскада осуществляется с помощью диода Д18. Делитель напряжения в цепи базы первого транзистора подключен к точке симметрии выходного каскада, что также способствует стабилизации режима транзисторов.

В усилителе можно ввести отдельную регулировку усиления высших и низших звуковых частот. Для этого вместо резистора в цепи отри-

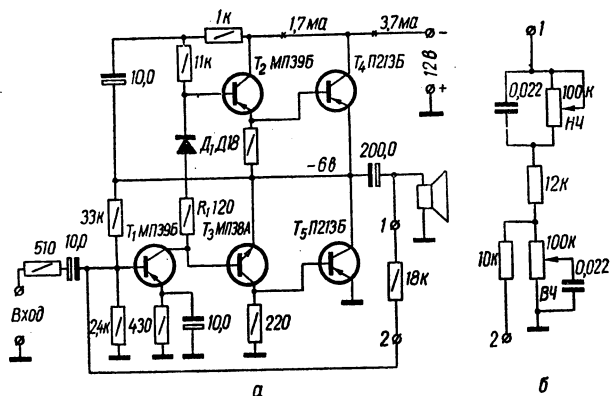


Рис. XII. 45. Схема усилителя с выходной мощностью 2 вт.

цательной обратной связи необходимо включить частотно-зависимую печочку (рис. XII. 45, б).

Усилитель может работать при более низком напряжении источника питания. При напряжении 9 в и сопротивлении громкоговорителя 7,5 ом максимальная выходная мощность усилителя составляет 0,8 вт, при напряжении 6 в — 0,4 вт. Если сопротивление громкоговорителя равно 4,5 ом, то выходная мощность возрастает до 1,3 вт при напряжении источника 9 в и до 0,6 вт при напряжении источника 6 в.

В усилителе желательно применять транзисторы со следующими коэффициентами усиления по току β : в первом каскаде — 60—80, в фазоинверсном — 45—80; в выходном — 35—60. Транзисторы выходного каскада должны иметь одинаковые коэффициенты усиления по току как при малых (1—2 ма), так и при больших (60—80 ма) токах коллектора. Для облегчения теплового режима транзисторы выходного каскада должны быть укреплены на радиаторах.

При налаживании усилителя необходимо подобрать такой диод Д1, который обеспечивает неискаженный сигнал на выходе при входном сигнале 15—20 мв. Затем при отсутствии входного сигнала подбирают сопротивление резистора R_1 так, чтобы ток покоя транзисторов T_4 и T_5 был равен 2—3 ма. Замену диода Д1 можно производить только при отключенном источнике питания. Более подробные сведения об усилителе приведены в [15].

Усилитель для автомобильного радиоприемника с выходной мощностью 3 вт воспроизводит частоты от 100 до 10 000 *гц*. Схема усилителя приведена на рис. XII. 46. На входе усилителя включен регулятор громкости с тонкомпенсацией, а после первого каскада — регулятор усиления высоких частот (регулятор тембра звука). В каскадах предварительного усиления транзисторы включены по схеме с общим эмиттером, а в выходном каскаде — по схеме с общим коллектором, которая обеспечивает малые нелинейные искажения сигнала. Последние два каскада охвачены отрицательной обратной связью. Для температурной стабилизации режима в цепи эмиттеров всех транзисторов включены резисторы (см. § 1 гл. VI).

Трансформатор Tr_1 выполнен на магнитопроводе типа УШ6 × 12 (сталь марки Э320). Первичная обмотка содержит 900 витков провода

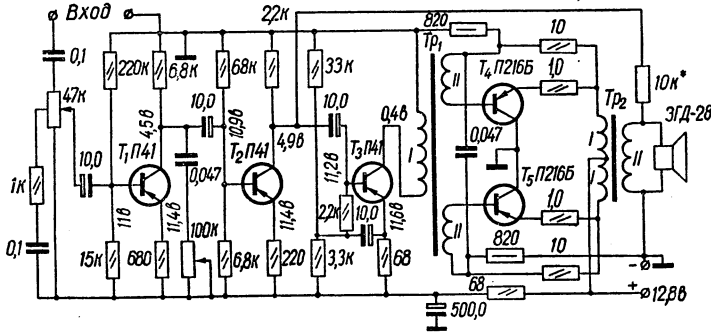


Рис. XII. 46. Схема усилителя с выходной мощностью 3 вт.

ПЭВ-1 0,15, вторичные — по 156 витков провода ПЭВ-1 0,23. Трансформатор Tr_2 выполнен на магнитопроводе типа Ш9 × 18 (сталь марки Э320). Первичная обмотка содержит 120 ± 120 витков провода ПЭВ-1 0,31, вторичная — 67 витков провода ПЭЛ 0,8.

Усилитель НЧ радиовещательного приемника «Рига-103». Номинальная выходная мощность усилителя 0,5 в (при напряжении сигнала на входе 0,2 в), максимальная — 1,3—1,5 в, диапазон воспроизводимых частот 50—18 000 *гц*, регулировка тембра на высоких и низких частотах в пределах 18—20 *дб*.

Схема усилителя приведена на рис. XII. 47. Выходной каскад выполнен по последовательной двухтактной схеме без трансформатора. Для увеличения температурной стабильности режима в эмиттерные цепи транзисторов включены резисторы R_{30} и R_{31} , а между базами транзисторов T_6 и T_7 — терморезистор R_{27} , который установлен рядом с транзисторами выходного каскада. Последние три каскада усилителя охвачены отрицательной обратной связью по постоянному току через резистор R_{23} . Первые два каскада также охвачены отрицательной обратной связью по постоянному току через резистор R_5 и по переменному току через конденсатор C_8 . Основная цепь отрицательной обратной связи по переменному току связывает выход усилителя с цепью эмиттера транзистора T_3 . Глубина этой обратной связи регулируется резистором R_{32} . Для улучшения температурной стабильности первых двух каскадов применен терморезистор R_{11} .

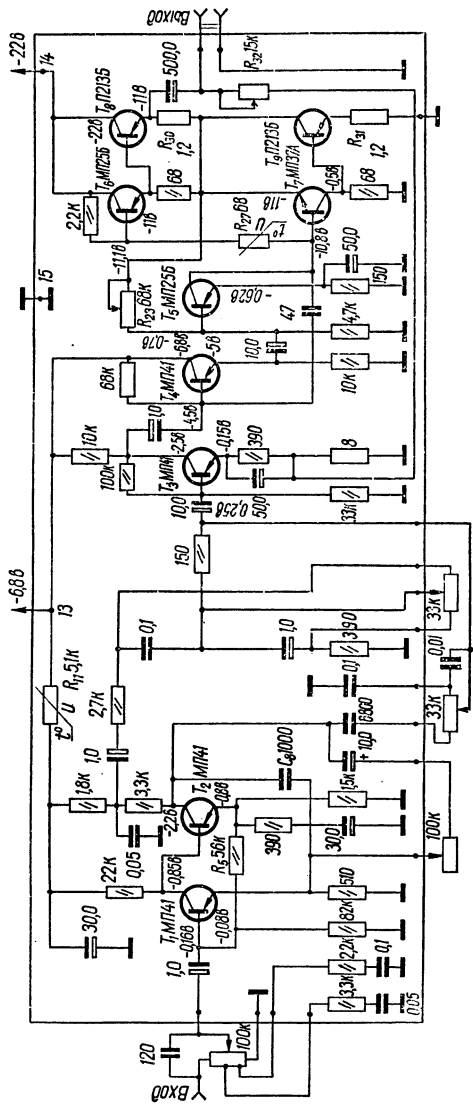


Рис. XII. 47. Схема усилителя низкой частоты радиоприемника «Рига-103».

Переносный электромегафон «Balsas» представляет собой устройство для усиления речи. Радиус его действия 5—10 м. Электромегафон состоит из микрофона, усилителя НЧ с громкоговорителем и источников питания. Усилитель воспроизводит диапазон частот от 60 до 5000 гц при неравномерности частотной характеристики не более 20 дб. Номинальная выходная мощность усилителя 1 вт при напряжении на входе 9—14 мв. Коэффициент нелинейных искажений по звуковому давлению на частоте 1000 гц не более 10%. Питание электромегафона осуществляется от двух батарей типа КБС-х-0,7 или от аккумуляторной батареи

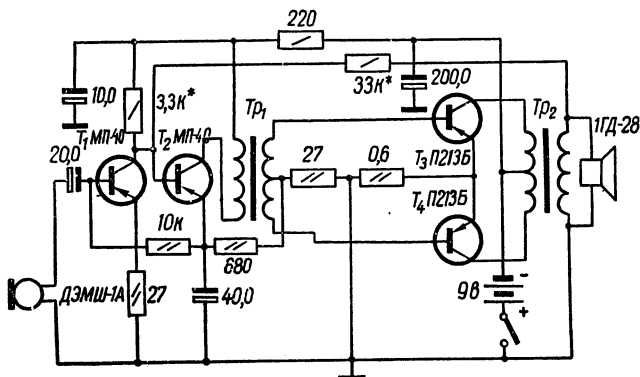


Рис. XII. 48. Схема электромегафона «Balsas».

типа 8ЦНК-0,45. Потребляемый ток не более 0,25 а. Вес электромегафона с источниками питания не более 1 кг, габариты 195 × 110 × 56 мм.

Схема электромегафона приведена на рис. XII. 48. Первые два каскада выполнены по схеме с общим эмиттером и непосредственной связью. Третий каскад собран по двухтактной схеме. Усилитель охвачен отрицательной обратной связью. Транзисторы выходного каскада получают смещение от транзистора второго каскада, что обеспечивает жесткую стабилизацию режима при изменении температуры.

Данные трансформаторов электромегафона приведены в табл. VI. 11.

§ 4. Магнитофоны

Магнитофон «Яуза-20» рассчитан на двухдорожечную запись звуковых сигналов от микрофона, звукоснимателя, приемника или радиотрансляционной линии и воспроизведение сделанных записей или магнитофильмов. Имеет две скорости движения ленты: 9,53 и 4,76 см/сек. Номинальное напряжение источника питания магнитофона 12 в. Может питаться также от сети переменного тока с напряжением 127 или 220 в через специальный стабилизированный выпрямитель. При напряжении питания 12 в и выходной мощности 1 вт в режиме воспроизведения магнитофон потребляет 360 ма, в режиме записи — 320 ма и в режиме перемотки — 160 ма. Размеры магнитофона: 300 × 220 × 110 мм. Вес с установленными внутри элементами питания и двумя катушками (одна с лентой) не превышает 5 кг.

Схема магнитофона приведена на рис. XII. 49. Коррекция частотной характеристики в области низких звуковых частот осуществляется с помощью RC -фильтра, состоящего из конденсатора C_7 и резистора R_9 , который в режиме воспроизведения подключается переключателем рода работы $П_1$. В режиме записи для получения неизменного тока записи на низких звуковых частотах последовательно с конденсатором C_7 включается резистор R_{47} . Для коррекции частотной характеристики в области высоких звуковых частот в цепь коллектора транзистора T_4 включен LC -фильтр, состоящий из катушки L_1 и конденсатора C_{11} . При скорости движения ленты $9,53$ см/сек включается часть катушки L_1 , а при скорости $4,76$ см/сек — вся катушка. Индикатором уровня записи $ИП$ служит микроамперметр типа ИТМ чувствительностью $40-70$ мкА. При воспроизведении он показывает напряжение батареи элементов или аккумулятора. Универсальная магнитная головка $ГУ$ при записи подключается к выходу усилителя по схеме, представленной на рис. X. 16, в. Оконечный усилитель собран по схеме, аналогичной приведенной на рис. VI. 17. Высокочастотный генератор тока подмагничивания и питания стирающей головки выполнен по двухтактной схеме на транзисторах T_{12} и T_{18} . Контур генератора, состоящий из обмотки III трансформатора Tr_1 и конденсатора C_{22} , настроен на частоту $45 \pm \pm 5$ кГц. Электродвигатель лентопротяжного механизма включен, как это было показано на рис. X. 6. а.

Силовой трансформатор блока питания Tr_2 намотан на магнитопровод из стальных пластин типа УШ-16, толщина набора 20 мм. Обмотка Ia имеет 1060 витков провода ПЭВ-2 $0,13$; обмотка $Iб$ — 1440 витков провода ПЭВ-2 $0,17$, обмотка II — 250 витков провода ПЭВ-2 $0,38$. Между первичной и вторичной обмотками расположена экранная обмотка — один слой провода ПЭВ-2 $0,17$.

Катушка L_1 , намотанная на пластмассовый каркас, имеет 3150 витков провода марки ПЭВ-2 $0,1$ с отводом 2500 витков. Катушка фильтра-пробки L_2 состоит из 1500 витков провода ПЭВ-2 $0,12$ и намотана на такой же каркас. Обе катушки настраиваются ферритовыми сердечниками диаметром $1,8$ мм с магнитной проницаемостью $600-1000$.

Трансформатор высокочастотного генератора Tr_1 также намотан на пластмассовый каркас и заключен в броневой сердечник типа ОБ-20. Обмотка I имеет 35×2 витков провода ПЭВ-2 $0,18$, обмотка II — 20×2 витков провода ПЭВ-2 $0,12$, обмотка III — 90 витков провода ПЭВ-2 $0,18$ и обмотка IV — 50 витков провода ПЭВ-2 $0,12$.

Данные магнитных головок приведены в табл. X. 5. (Более подробные сведения о магнитофоне «Яуза-20» приведены в журн. «Радио», 1965, 11. 39—41 в статье М. Гансбурга, А. Тальянцева.)

Магнитофон любительской конструкции рассчитан на двухдорожечную запись на ленту типов CH , 2 или 6 при скорости движения ленты $9,5$ см/сек $\pm 2\%$. Коэффициент детонации не превышает $0,5\%$.

Усилитель магнитофона воспроизводит частоты $40-12\ 000$ гц (при использовании ленты типа 6) с неравномерностью 3 дБ. Коэффициент нелинейных искажений в диапазоне частот $400-7000$ гц не более 5% . Динамический диапазон сквозного канала не хуже 45 дБ. Номинальная выходная мощность усилителя 1 Вт. Чувствительность усилителя магнитофона с микрофонного входа составляет $0,5$ мВ, со входа звукоснимателя — $0,2$ В, со входа приемника или другого магнитофона — 1 В и с линейного входа — 10 В. Напряжение питания магнитофона — 12 В. При номинальной выходной мощности в режиме воспроизведения магнитофон потребляет ток до 280 мА, в режиме записи — 160 мА и в режиме перемотки — $80-200$ мА. Габариты магнитофона: $290 \times 225 \times 120$ мм; вес $4,5$ кг.

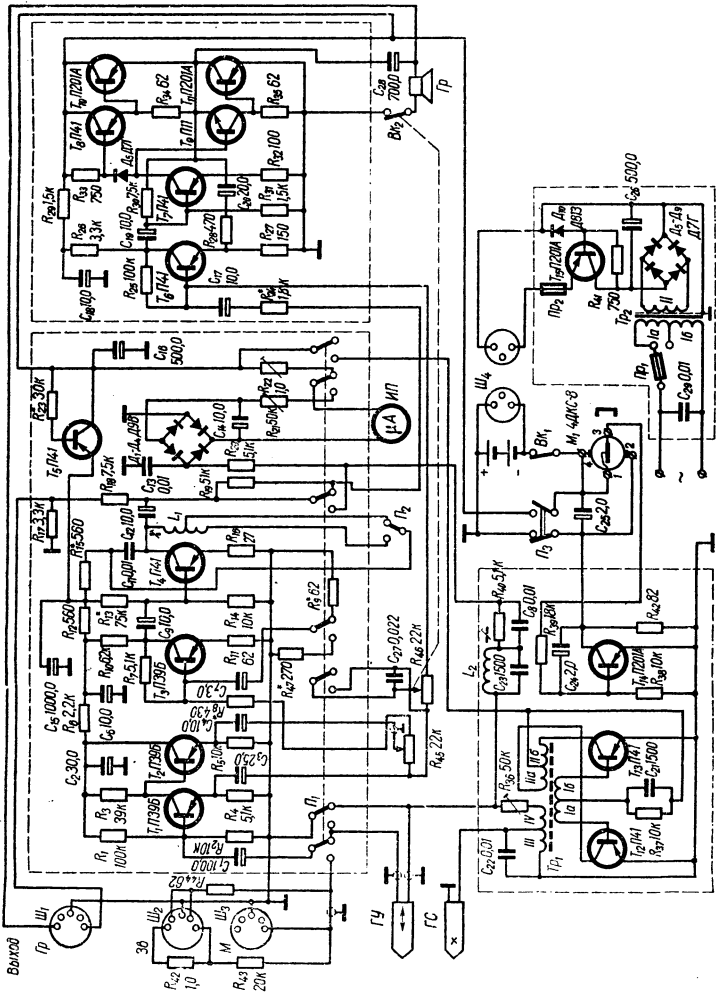


Рис. XII. 49. Схема магнитофона «Юза-20».

Схема универсального усилителя, высокочастотного генератора и регулятора оборотов двигателя приведена на рис. XII. 50. Схема оконечного усилителя приведена на рис. VI. 17, а схема индикатора уровня — на рис. X.20.

Универсальная головка изготовлена из записывающей головки магнитофона «Репортер-3». Высота набора магнитопровода уменьшена до 2,7 мм. Обмотка содержит 140×2 витков провода ПЭВ 0,1. Рабочая

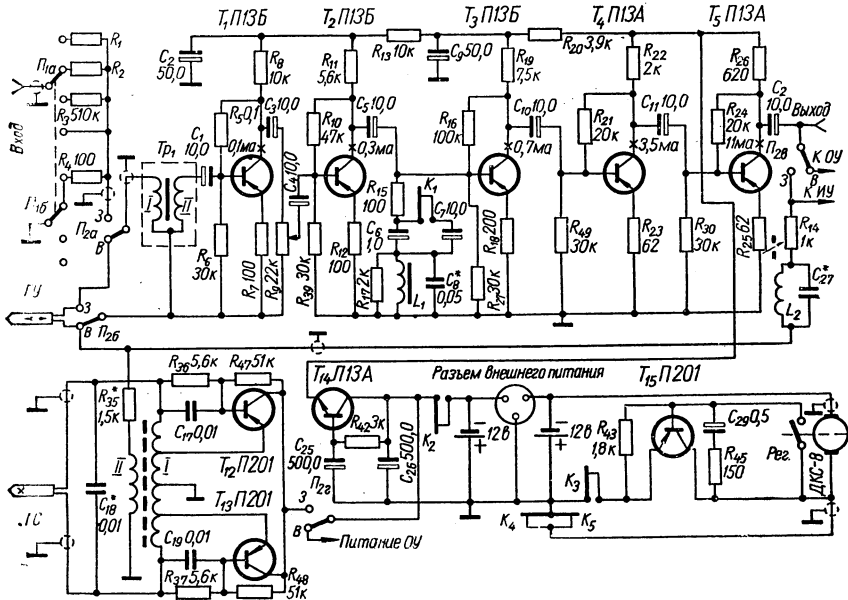


Рис. XII. 50. Схема усилителя, генератора высокой частоты и регулятора оборотов двигателя к любительскому магнитофону.

щель 5 мкм, задняя — 50 мкм, индуктивность головки 8—10 мГн, номинальный ток записи — 1 ма, ток подмагничивания — 5 ма. Стирающая головка может быть использована от магнитофона «Яуза-20» (см. табл. X. 5).

Катушка высокочастотного генератора заключена в броневой сердечник, изготовленный из феррита марки 600НН с внешним диаметром 28 мм. Обмотка I содержит $30 \pm 50 \pm 30$ витков провода ПЭЛ 0,25, а обмотка II — 100 витков провода ПЭЛ 0,18. Катушка коррекции L₁ намотана на кольцо из феррита марки 600НН (внешний диаметр 13 мм) и содержит 80 витков провода ПЭВ 0,15, ее индуктивность 6—8 мГн. Катушка фильтра пробки L₂ заключена в броневой сердечник с внешним диаметром 11 мм, изготовленный из феррита марки 600НН, и содержит 80 витков провода ПЭЛ 0,2, ее индуктивность — 8—10 мГн.

Входной трансформатор Tр₁ намотан на магнитопровод типа Ш6×9, изготовленный из сплава 80НХС или 79НМ. В обмотке I содержится 200 витков, а в обмотке II — 600 витков провода ПЭЛ 0,1. Индуктив-

ность первичной обмотки составляет 130 мГн, вторичной — 1 Гн. Трансформатор закрывается толстым пермалловым экраном (лучше двойным). Для устранения микрофонного эффекта трансформатор заливается парафином.

Подробное описание схемы магнитофона, кинематическая схема лентопротяжного механизма, чертежи лентопротяжного механизма, кнопочного переключателя рода работы и усилителя, а также рекомендации по наладке магнитофона приведены в [14].

§ 5. Малогабаритная измерительная аппаратура

Генератор высоких и звуковых частот (рис. XII. 51). Диапазон частот генератора ВЧ разделен на 5 поддиапазонов: 150—320 кГц; 320—700 кГц; 700—1700 кГц; 4,5—11 МГц; 10—28 МГц. Выходное напряжение можно

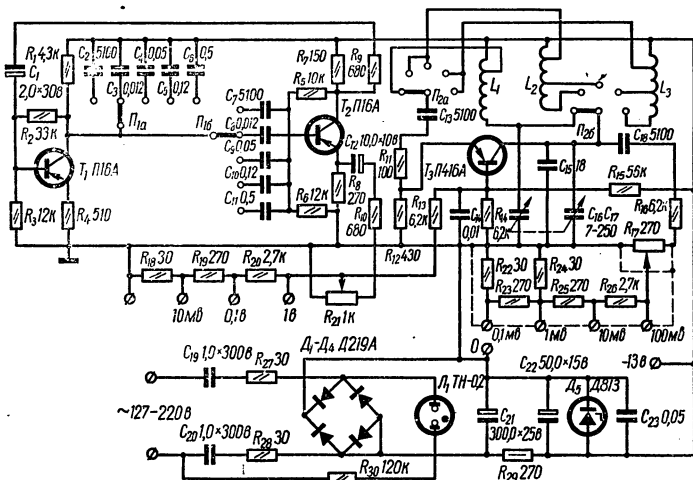


Рис. XII. 51. Схема генератора высоких и звуковых частот.

плавно регулировать в пределах 0—0,1 в; возможна ступенчатая регулировка с помощью делителя с выходными напряжениями 0,1 в, 10 мв, 1 мв и 0,1 мв. Напряжение второй гармоники генератора не превышает 2%.

Генератор звуковых частот позволяет работать на одной из пяти фиксированных частот: 100, 400, 1000, 4000, 10 000 Гц. Амплитуда выходного напряжения равна 1 в. Ступенчатый делитель напряжения имеет три выхода: 1 в, 0,1 в, 0,01, в; возможна плавная регулировка выходного напряжения.

Генератор высокой частоты может быть промодулирован звуковой частотой с глубиной модуляции до 90%.

Прибор питается от сети переменного тока с напряжением 127 или 220 в. Потребляемая мощность не более 0,3 Вт.

Звуковой генератор собран на транзисторах T_1 и T_2 по схеме RC-генератора. Напряжение звуковой частоты снимается с эмиттера транзис-

тора T_2 и через регулятор выходного напряжения R_{21} подается на ступенчатый делитель $R_{18}-R_{20}$.

Генератор ВЧ выполнен по схеме индуктивной трехточки на транзисторе T_3 . Напряжение ВЧ снимается с коллектора транзистора и через регулятор выходного напряжения R_{17} подается на ступенчатый делитель $R_{22}-R_{26}$. Модулирующее напряжение звуковой частоты, снимаемое с регулятора R_{21} , подается на базу транзистора T_3 .

Выпрямитель, собранный по мостовой схеме, подключен к сети через конденсаторы $C_{19}-C_{20}$. Выпрямленное напряжение стабилизируется стабилитроном D_5 , напряжение на котором изменяется в пределах $13 \pm 0,5$ в при колебаниях напряжения сети от 120 до 240 в.

Корпус генератора находится под напряжением. Если это нежелательно, то вместо конденсаторов C_{19} , C_{20} и резисторов R_{27} , R_{28} следует включить понижающий трансформатор с выходным напряжением 14,5—14,7 в.

Транзисторы T_1 и T_2 должны иметь коэффициент усиления по току β в пределах 40—50, а транзистор T_3 — 80—100. Катушки индуктивности намотаны на полистироловых каркасах (диаметр 8 мм) с карбонильными сердечниками типа СЦР (диаметр 6 мм). Катушка L_1 содержит 250 витков провода ПЭЛ 0,1 с отводом от 30 витка, катушка L_2 — 160 витков провода ПЭЛШО 0,15 с отводами от 10 и 60 витков, L_3 — 22 витка провода ПЭЛ 0,7 с отводами от 2 и 10 витков.

Указания по настройке генератора приведены в [10].

Генератор высокочастотных сигналов. Диапазон частот генератора (100 кГц — 26 МГц) разделен на 5 поддиапазонов: 100—300 кГц, 300—1000 кГц, 1—3 МГц, 3—9,5 МГц, 9—26 МГц. Максимальное выходное напряжение ВЧ 0,1 в, возможна его плавная и ступенчатая регулировка. ВЧ сигнал может быть промодулирован частотой 1000 гц. На выход прибора может быть подано либо напряжение ВЧ, либо напряжение звуковой частоты 1000 гц с плавной регулировкой амплитуды до 0,7 в. Прибор питается от батареи с напряжением 4,5 в и потребляет ток около 5 ма.

Схема генератора приведена на рис. XII. 52. Задающий генератор собран на транзисторе T_1 по схеме индуктивной трехточки. Выходной каскад, в котором осуществляется амплитудная модуляция сигнала, собран на транзисторе T_2 . Модулирующий сигнал подается в цепь коллектора T_2 . Сигнал высокой частоты, снимаемый с коллекторной нагрузки транзистора T_2 , через регулятор выходного напряжения R_{14} и переключатель P_2 поступает на выносной ступенчатый делитель напряжения.

Задающий генератор звуковой частоты (1000 гц) выполнен на транзисторе T_3 по схеме с трансформаторной обратной связью. На транзисторе T_4 собран усилитель, с выхода которого напряжение звуковой частоты поступает в цепь коллектора транзистора T_2 и через переключатель P_2 может быть подведено к выходу прибора.

Для контроля выходного напряжения ВЧ и глубины модуляции измерительный прибор — микроамперметр типа М-4205 с чувствительностью 20 мка — включается на выход детектора, собранного на диодах D_1 , D_2 , при контроле напряжения питания — в цепь питания.

Катушки ВЧ генератора L_1-L_5 намотаны на каркасах от радиоприемника «Балтика» или «ВЭФ-Аккорд» (диаметр 12 мм), а катушка L_6 — на резисторе ВС-0,25 с сопротивлением 75—100 ком. Катушки L_1 , L_2 , L_3 имеют намотку типа «универсал» шириной 5 мм с расстоянием между секциями (у катушек L_1 и L_2) 4 мм, намотка катушек L_4 и L_5 — рядовая виток к витку. Катушка L_1 содержит 350×3 витков провода ПЭЛШО 0,1 с отводом от 120 витка, L_2 — 135×3 витков провода ПЭЛШО 0,12 с отводом от 65-го витка, L_3 — 110 витков провода ПЭЛШО 0,12

с отводом от 18-го витка, L_4 — 24 витка провода ПЭВ 0,38 с отводом от 7-го витка, L_5 — 6 витков провода ПЭВ 0,69 с отводом от 2-го витка и катушка L_6 — 60 витков провода ПЭЛШО 0,1.

В качестве трансформатора Tr_1 может быть использован переходной трансформатор от радиоприемника «Сокол». Все транзисторы должны иметь коэффициент усиления по току β в пределах 40—60.

Указания по налаживанию генератора приведены в [35].

Звуковой генератор. Диапазон частот 20 гц — 200 кГц разбит на 4 диапазона. Максимальное выходное напряжение 5 в, возможна его

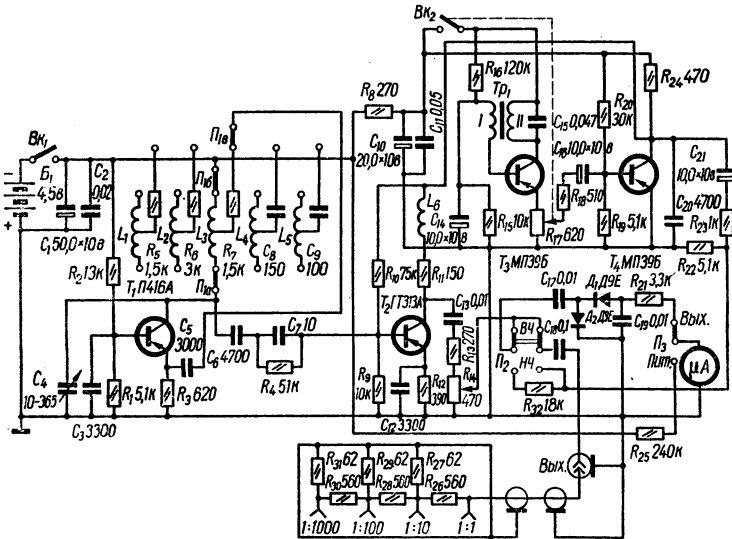


Рис. XII. 52. Схема генератора высокочастотных сигналов.

плавная и ступенчатая регулировка. Напряжение на входе ступенчатого делителя измеряется вольтметром с точностью $\pm 3\%$. Шкала вольтметра имеет два предела: 1 в и 10 в. Выходное сопротивление генератора 91 ом, неравномерность частотной характеристики не более ± 1 дб, коэффициент нелинейных искажений не более 1%.

Схема генератора приведена на рис. XII. 53. Первые два каскада представляют собой усилитель с положительной обратной связью через избирательную RC-цепь. Для стабилизации амплитуды генерируемых колебаний напряжение с коллектора T_2 через цепь обратной связи (C_{14} , R_{16} и терморезистор R_9) подается в цепь эмиттера транзистора T_1 . Выходной каскад собран на транзисторе T_3 по схеме с общим коллектором. Плавная регулировка выходного напряжения осуществляется при помощи резистора R_{20} . Выходное напряжение измеряется ламповым вольтметром, состоящим из детектора, собранного по мостовой схеме на диодах D_1 — D_4 , и измерительного прибора — микроамперметра типа М592 (100 мка). Напряжение питания первых каскадов стабилизировано с помощью стабилитронов D_5 — D_7 .

Трансформатор Tr_1 имеет сердечник ШЛ12×25. Обмотка I содержит 1600 витков провода ПЭВ 0,17, обмотка II — 1200 витков

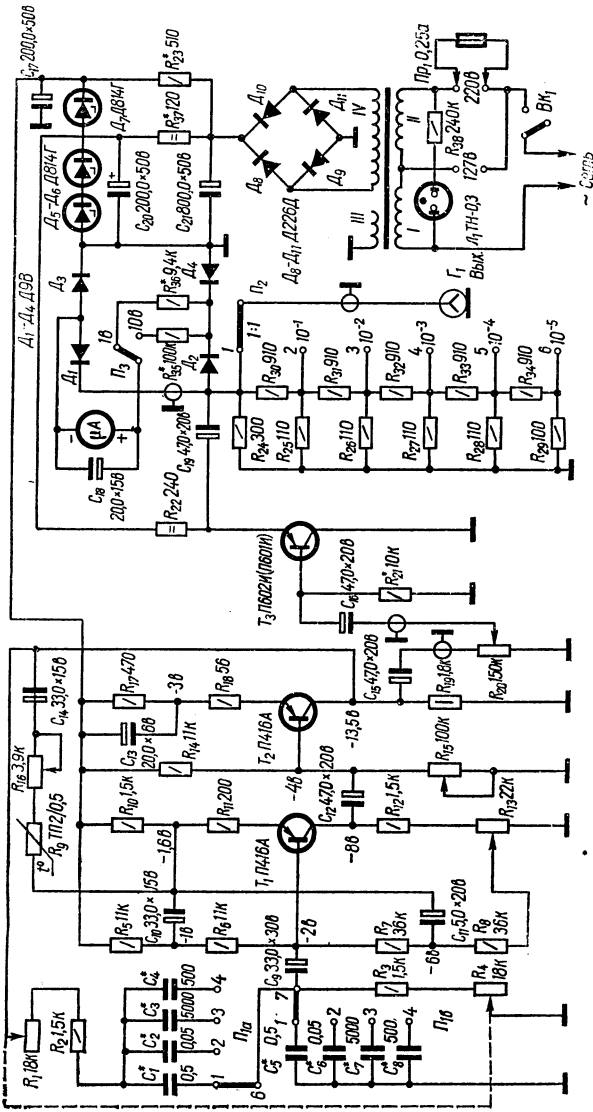


Рис. XII. 53. Схема звукового генератора.

ПЭВ 0,13, обмотка III (экранная) — один слой ПЭВ 0,1, обмотка IV — 290 \pm 60 \pm 60 \pm 60 витков ПЭВ 0,29. Для Ш-образного сердечника сечение должно быть увеличено в 1,5 раза.

Более подробные сведения о генераторе приведены в [40].

Генератор качающейся частоты (ГКЧ). Применяется при настройке и регулировке УПЧ радиоприемников и отдельных фильтров промежуточной частоты. Обычно генератор качающейся частоты используется с осциллографом. ГКЧ работает на средней частоте 465 кГц, девиация частоты ± 30 кГц.

Схема ГКЧ приведена на рис. XII. 54. Генератор собран по схеме емкостной трехточки. Изменение его частоты происходит вследствие изменения подмагничивания сердечников катушек колебательного контура переменным синусоидальным током с частотой 50 Гц, проходящим по

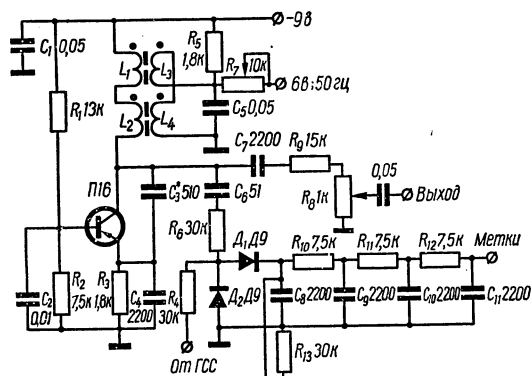


Рис. XII. 54. Схема генератора качающейся частоты.

управляющим обмоткам L_3 и L_4 . По этим же обмоткам протекает постоянный ток смещения, который определяет положение рабочей точки на характеристике намагничивания. Поскольку сопротивление управляющих обмоток мало, то величины управления и смещения определяются практически величинами сопротивлений резисторов R_7 и R_5 , т. е. диапазон качания частоты зависит от сопротивления резистора R_7 . Управляющие обмотки включены встречно по отношению к обмоткам контурных катушек, поэтому наводимые в них э. д. с. взаимно компенсируются и не создают в цепи управления токов. Таким образом, цепь управления не нагружает колебательный контур.

Для получения частотных меток в схему введен смеситель на диодах D_1 и D_2 , в котором смешиваются колебания генератора и колебания внешнего ГСС. При совпадении частоты генератора с частотой ГСС на выходе фильтра (R_{10} — R_{12} , C_8 — C_{11}) возникает короткий импульс. Если подать этот импульс на вход вертикального канала осциллографа, то можно прокалибровать ось x осциллографа по частоте.

Катушки ГКЧ наматываются на кольцах диаметром 10 мм из феррита марки 100НН. Катушки L_1 и L_2 содержат по 20 витков, а катушки L_3 и L_4 — по 100 витков провода ПЭЛШО 0,1.

На рис. XII. 55 приведена схема подключения ГКЧ и осциллографа к настраиваемому УПЧ. Настройка контуров УПЧ производится, начиная с последнего каскада. Сигнал от ГКЧ подается непосредственно на

вход настраиваемого каскада. Необходимо следить за тем, чтобы настраиваемый УПЧ не перегружался. При перегрузке на экране осциллографа получается плоская вершина резонансной кривой, и размер изображения по вертикали почти не изменяется при регулировке выходного напряжения ГКЧ. Перед настройкой УПЧ система АРУ приемника должна быть отключена.

Более подробно описание ГКЧ приведено в [17].

Частотомер. Предназначен для измерения частот электрических сигналов в диапазоне 10—10 000 *гц*. Погрешность измерения не превышает 5%.

Схема частотомера приведена на рис. XII. 56. Измеряемый сигнал через делитель напряжения ($R_1—R_6$) поступает на вход усилителя, собранного на транзисторе T_1 . На транзисторах T_2 и T_3 собран триггер Шмитта, преобразующий синусоидальное напряжение в П-образные

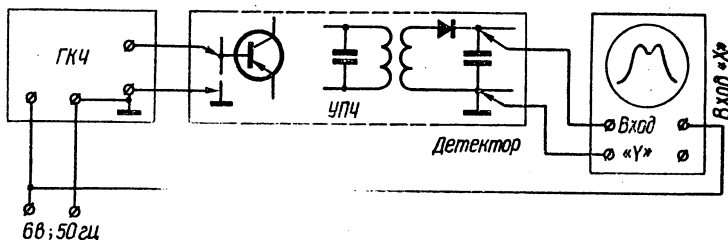


Рис. XII. 55. Схема подключения ГКЧ и осциллографа к настраиваемому УПЧ.

импульсы, длительность которых зависит от частоты и амплитуды сигнала. На выходе триггера включена дифференцирующая цепь C_6R_{17} , на выходе которой образуются импульсы с постоянной длительностью и амплитудой. Частота следования импульсов равна частоте сигнала на входе прибора. На транзисторе T_4 выполнен усилитель импульсов, на выходе которого включены измерительные цепи. В приборе используется принцип измерения разрядного тока конденсатора, заряженного последовательностью импульсов, калиброванных по длительности и амплитуде. Импульсы с коллектора T_4 заряжают один из конденсаторов $C_6—C_9$. Эти конденсаторы разряжаются через резисторы $R_{25}—R_{28}$, причем величина разрядного тока подбирается так, чтобы отклонение стрелки микроамперметра ИП₁ было максимальным на верхнем пределе частотного поддиапазона. С помощью резисторов $R_{25}—R_{28}$ можно добиться равенства максимальных отклонений стрелки микроамперметра на каждом поддиапазоне. Это позволяет иметь на индикаторе только одну шкалу, соответствующую первому поддиапазону 0—100 *гц*. Более подробное описание частотомера приведено в [19].

Испытатель параметров плоскостных транзисторов (тип Л2-1) предназначен для быстрого определения годности транзисторов и измерения их некоторых основных параметров. С помощью прибора измеряются следующие параметры в схемах с общей базой: 1) α — коэффициент усиления по току при коротком замыкании в цепи коллектора; 2) h_{22} — выходная проводимость при холостом ходе в цепи эмиттера; 3) $I_{к0}$ — начальный ток коллектора при отсутствии тока эмиттера. Могут быть измерены параметры транзисторов типа $n-p-n$ и $p-n-p$. Пределы

измерений: α — 0,9—1; h_{22} — (0,4—4) мксим; I_{K0} — 0—50 мка. Параметры измеряются при $U_K \approx 4,5$ в, $I_K \approx 1$ ма. Питание прибора осуществляется от двух батарей типа КБС-Л-0,5. Размеры прибора: $210 \times 150 \times 90$ мм; вес около 2 кг.

Схема испытателя параметров транзисторов приведена на рис. XII. 57. На транзисторе T_1 собран генератор напряжения с частотой 700 гц, на транзисторах T_2 — T_5 — усилитель. Усилитель, выпрямитель, собранный по мостовой схеме, и гальванометр ИП составляют милливольтметр переменного тока. При помощи коммутации четырьмя ключами типа КТРО могут быть собраны три схемы измерения параметров транзисторов как типа p — n — p , так и типа n — p — n . С помощью прибора можно проверить пробой цепи эмиттер — коллектор и измерить напряжения питающих батарей. Назначение ключей: K_1 — ключ отсчета h_{22} и контроля пробоя; K_2 — ключ отсчета α и I_{K0} ; K_3 — ключ контроля напряжения батарей; K_4 — ключ переключения p — n — p и n — p — n . Проверяемый транзистор включается в панельку КП₁. Принципиальные схемы измерения отдельных параметров транзисторов приведены на рис. XII. 58. В соответствии с этими схемами производится коммутация ключами (см. рис. XII. 57). Ключ K_4 должен находиться в положении, соответствующем типу проверяемого транзистора. Для проверки напряжения батарей ключ K_3 поочередно устанавливается в положения « U_1 » и « U_2 ». Батареи включаются кнопкой КП₂ только на время измерений напряжения или параметров транзистора. При контроле пробоя транзистора ключ K_1 ставится в положение «Контроль пробоя», а ключи K_2 и K_3 остаются в среднем положении.

Перед измерением параметров производится калибровка прибора. При этом ключи K_1 , K_2 и K_3 должны находиться в среднем положении. Напряжение генератора устанавливается таким образом, чтобы стрелка прибора находилась в конце шкалы. При определении h_{22} и α соответ-

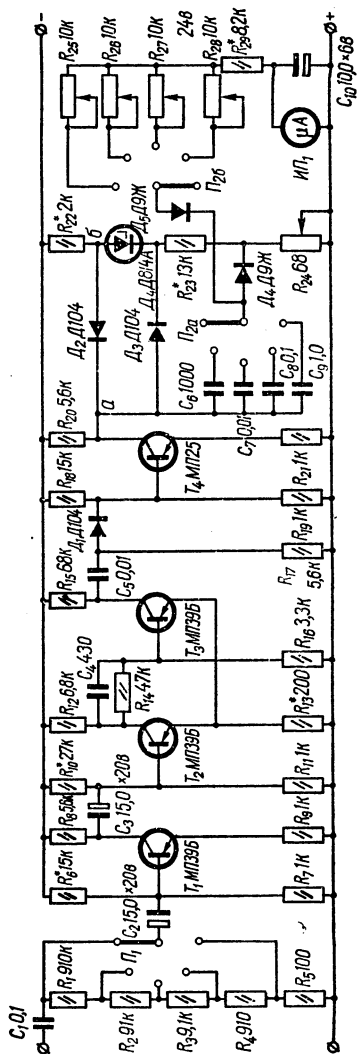


Рис. XII. 56. Схема частотомера.

ствующий ключ устанавливают в соответствующее положение. Транзисторы типов П13Б и П14 могут быть заменены транзисторами МП39Б и МП40 соответственно.

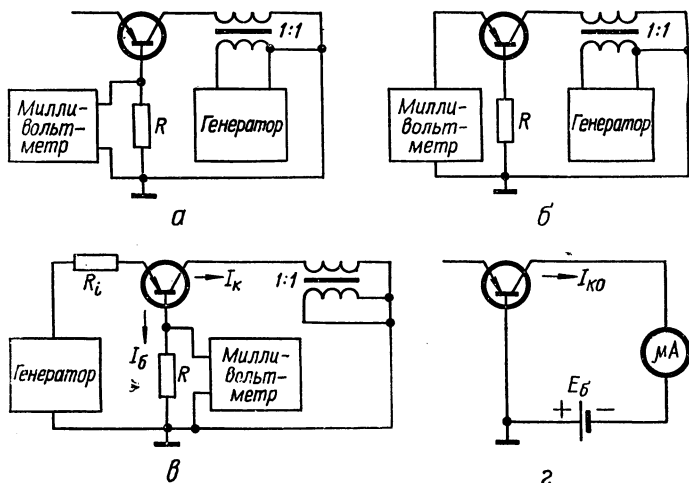


Рис. XII. 58. Принципиальные схемы измерения параметров транзисторов:
 а — для измерения h_{22} ; б — для контроля пробоя; в — для измерения α ;
 г — для измерения $I_{к.о}$

Трансформатор Tr_1 изготовлен на магнитопроводе типа Ш8 \times 8. В обмотке 1—2 содержится 500 витков, в обмотке 3—4 — 2500 витков и в обмотке 5—6 — 500 витков провода ПЭВ-2 0,1. Трансформатор Tr_2 изготовлен на магнитопроводе типа Ш8 \times 8. Обе его обмотки содержат по 2000 витков провода ПЭВ-2 0,1.

В качестве измерительного прибора применен микроамперметр типа М24-111 с пределом измерения 50 мкА.

В табл. XII. 16 приведены данные режимов транзисторов в приборе.

При наладке прибора прежде всего проверяют напряжения батарей и подбирают резистор R_{32} так, чтобы при напряжении батарей, равном 4,5 в, стрелка измерительного прибора находилась в конце шкалы или близко к нему. На шкалу наносится сектор, соответствующий напряжению батарей 3,6—4,5 в (пределы нормальной работы прибо-

Таблица XII.16
 Усредненные данные режимов транзисторов в приборе Л2-1

Тип транзистора	Напряжение, в		
	на коллекторе	на базе	на эмиттере
П14 (T_1)	6,8	0,43	0,36
П13Б (T_2)	8,4	4,2	4,2
П13Б (T_3)	1,0	0,68	0,5
П13Б (T_4)	5,0	4,5	1,4
П14 (T_5)	4,3	1,1	1,0

Примечание. Все напряжения измерены относительно корпуса прибором с внутренним сопротивлением 20 ком/в.

ра). В режиме калибровки сопротивление резистора R_8 подбирается так, чтобы на коллекторе транзистора T_5 получить переменное напряжение около 1 в (при среднем положении движка резистора R_8), а сопротивление резистора R_{30} подбирается так, чтобы стрелка измерительного прибора находилась вблизи конца шкалы. Подбором резистора R_8 необходимо

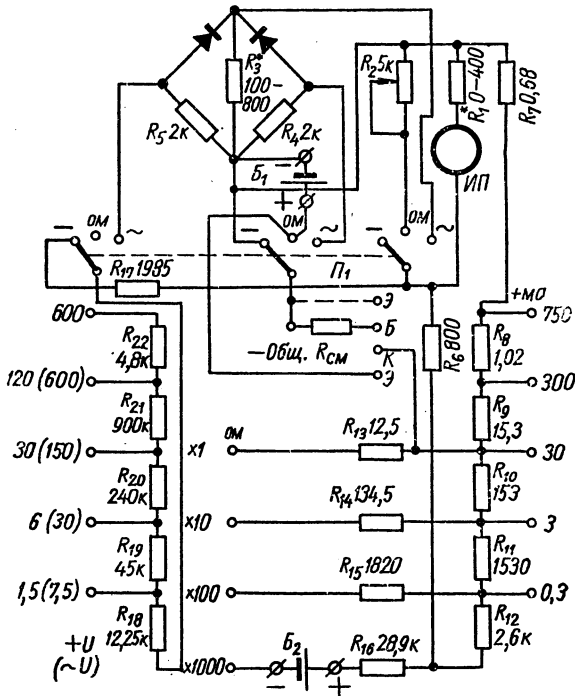


Рис. XII. 59. Схема авометра типа Ц-20 с дополнениями, внесенными для измерения коэффициента усиления транзисторов по току.

обеспечить возможность калибровки при напряжениях батарей 3,6—4,5 в. Резистор R_{11} подбирается в режиме «Контроль пробы» при замкнутых контактах «К» и «Э» на панельке $KП_1$ так, чтобы стрелка не выходила за пределы шкалы даже при установке резистора R_8 на максимум. Подбором резистора R_9 подгоняется шкала измерения α (в режиме измерения α). Для проверки шкалы следует замкнуть контакты «Б» и «Э», а между переключкой и корпусом включить эталонные сопротивления. Точке 0,9 должно соответствовать сопротивление 222,2 ом, точке 0,92 — сопротивление 173,9 ом, точке 0,94 — сопротивление 127,6 ом, точке 0,96 — сопротивление 83,3 ом и точке 0,98 — сопротивление 40,8 ом. Шкала измерения $I_{к0}$ градуируется в режиме измерения $I_{к0}$ с помощью внешнего микроамперметра, включенного последовательно с резистором переменного сопротивления (1 Мом) между контактами «К» и «Б». Шкала измерения h_{22} градуируется подключением соответ-

ствующих сопротивлений к контактам «К» и «Б». Например, точке 4 мкмо (4 мксим) соответствует сопротивление 250 ком.

Авометр для проверки транзисторов. При проверке транзисторов можно использовать авометр типа Ц-20, если в его схему внести некоторые изменения (рис. XII. 59). На лицевой панели прибора устанавливаются гнезда для подключения транзисторов, а между гнездом «Общий минус» и гнездом «Б» (база) припаивается резистор $R_{см}$, сопротивление которого определяется по формуле

$$R_{см} = \frac{E_б \beta_{макс}}{I_{макс}},$$

где $R_{см}$ — сопротивление смещения, ком; $E_б$ — напряжение батареи B_1 , в; $\beta_{макс}$ — максимальное значение коэффициента усиления по току проверяемых транзисторов в схеме с общим эмиттером; $I_{макс}$ — максимальный ток, измеряемый миллиамперметром, ма.

Если использовать шкалу прибора 30 ма, то при $\beta_{макс} = 300$ и напряжении батареи 1,5 в $R_{см} = 15$ ком. В этом случае для получения значения β показания шкалы следует умножить на 10. Переключатель рода работы должен стоять в положении измерений на постоянном токе. Величина начального тока коллектора проверяется при отключенном выводе базы транзистора.

МИКРОМИНИАТЮРИЗАЦИЯ РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ

§ 1. Общие сведения

Микроминиатюризация — направление радиоэлектроники, связанное с выполнением электронных схем, блоков и аппаратуры в целом из миниатюрных и микроминиатюрных радиоэлементов и узлов. Самым простым и доступным направлением миниатюризации является уплотненный монтаж дискретных элементов. Миниатюрные схемы и узлы выполняются либо уплотненной модульной сборкой элементов обычной формы и конструкции, либо сборкой элементов специальной формы и определенных размеров. При использовании элементов обычной формы

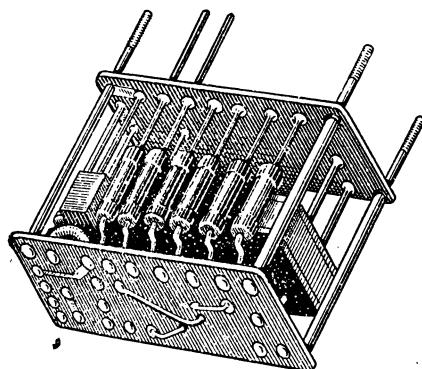


Рис. XIII. 1. Колончатый модуль.

повышенная плотность монтажа создается за счет рациональной конструкции и определяется главным образом размерами деталей. Примером уплотненной конструкции дискретных миниатюрных элементов случайной формы могут служить «колончатые модули» и плоские микромодули.

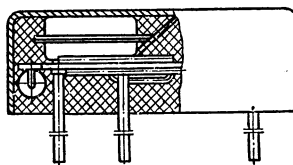


Рис. XIII. 2. Плоский микромодуль.

Колончатые модули — модули, в которых обычные детали устанавливаются плотно, параллельно друг другу и соединяются с помощью печатного монтажа с последующей общей герметизацией или без нее (рис. XIII. 1).

Плоские микромодули — модули, выполненные из деталей, установленных на одной или двух сторонах печатной платы. Выводы деталей соединяют с печатным монтажом с помощью пайки или токопроводящих клеев. Сборку затем герметизируют (рис. XIII. 2).

Этажерочные микромодули — модули, выполненные из радиодеталей специальной формы, называемых микроэлементами (рис. XIII. 3).

Основным элементом этажерочного микро модуля является микроплата. Микроплата предназначена для установки на ней печатных или навесных радиоэлементов. На каждой стороне микроплаты имеется по три металлизированных паза, в которые при сборке микро модуля впаиваются соединительные проводники. В одном из углов микроплаты

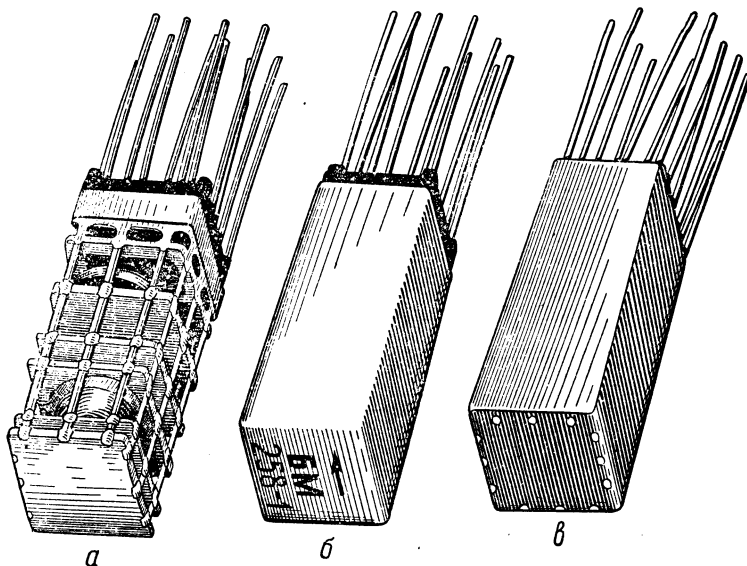


Рис. XIII. 3. Этажерочный микро модуль.

есть ключ — прямоугольный вырез — для ориентации платы в процессе изготовления микроэлементов и сборки микро модуля. Каждый паз микроплаты имеет условный номер. Нумерация пазов микроплаты ведется по часовой стрелке, начиная с короткой стороны ключа (рис. XIII. 4). При сборке микроэлементов в микро модуль этажерочной конструкции микроплаты можно устанавливать в восьми различных положениях в зависимости от места расположения ключа.

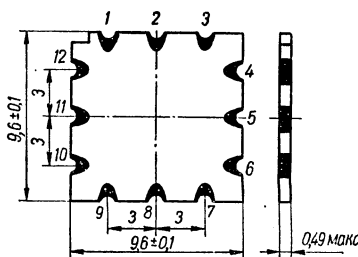


Рис. XIII. 4. Типовая микроплата.

§ 2. Микроэлементы РЭА

Микроэлементы — это специально разработанные резисторы, конденсаторы, диоды, транзисторы, трансформаторы, расположенные на микроплатах.

Резисторы постоянного сопротивления микро модульные изготавливаются с номинальными величинами сопротивлений согласно шкале ГОСТ 2825—60. В составе микро модулей и в микро модульной аппаратуре используются резисторы следующих типов:

СЗ-4 (СКПМ) — резисторы композиционные печатные микромодульные (рис. XIII. 5, а).

ССНМ — резисторы станатные ниточные микромодульные. Резисторы выполняются в виде тонких навесных столбиков, крепящихся непосредственно к поверхности микроплаты (рис. XIII. 5, б).

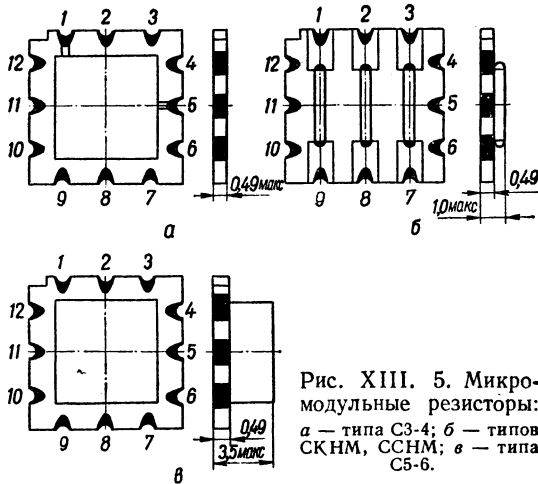


Рис. XIII. 5. Микро-модульные резисторы: а — типа СЗ-4; б — типов СКНМ, ССНМ; в — типа С5-6.

СКНМ — резисторы композиционные ниточные микромодульные. По конструктивному оформлению похожи на резисторы типа ССНМ (рис. XIII. 5, б).

СЗ-2 — резисторы композиционные таблеточные. Изготавливаются в виде плоских дисков (таблет) диаметром 1,7 и 2,7 мм;

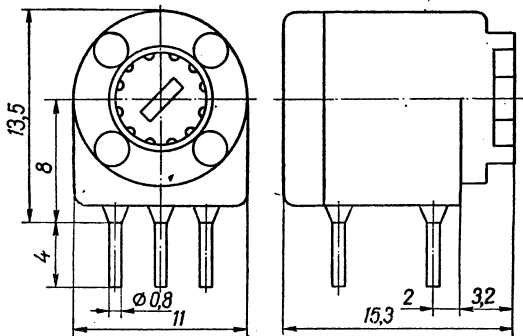


Рис. XIII. 6. Резистор СП5-6Б.

СЗ-3 — резисторы композиционные ниточные;
С5-6, С5-18 — резисторы постоянного сопротивления проволочные микромодульные (рис. XIII. 5, в).

СТ2-26, СТЗ-24, СТЗ-26, СТЗ-28 — терморезисторы;

СПЗ-6 — резисторы непроволочные переменного сопротивления с поверхностным композиционным проводящим слоем.

СП15-6 — резисторы проволочные переменного сопротивления. Два последних типа резисторов изготавливаются в угловом (рис. XIII. 6)

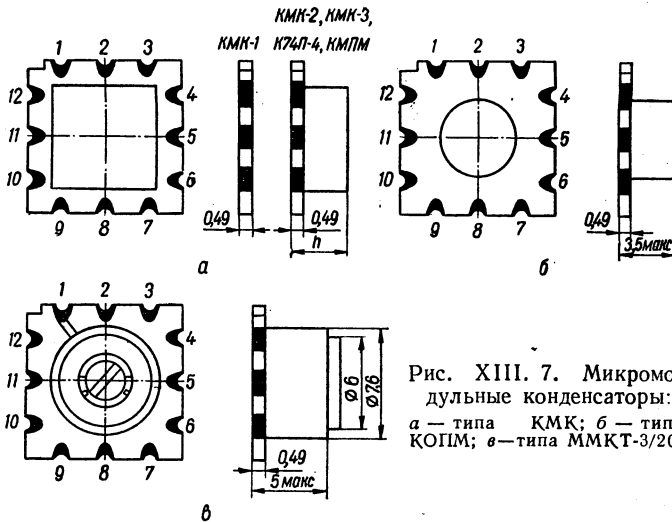


Рис. XIII. 7. Микро-модульные конденсаторы: а — типа КМК; б — типа КОПМ; в — типа ММКТ-3/20.

и прямом вариантах. Основные параметры микро-модульных резисторов приведены в табл. XIII. 1.

Микро-модульные конденсаторы и конденсаторы для печатного монтажа изготавливаются с номиналами, согласно ГОСТу 2519—60. В составе микро-модулей и в микро-модульной аппаратуре используются конденсаторы следующих типов:

КМК — конденсаторы микро-модульные керамические (рис. XIII. 7, а);

КОПМ — конденсаторы оксидно-полупроводниковые микро-модульные (рис. XIII. 7, б);

КМПП — конденсаторы металлопленочные микро-модульные;

ММКТ-3/20 — конденсатор подстроечный микро-модульный (рис. XIII. 7, в);

КОПП — конденсаторы оксидно-полупроводниковые для печатного монтажа (рис. XIII. 8);

КМПП — конденсаторы металлопленочные для печатного монтажа;

КМБП — конденсаторы металлобумажные для печатного монтажа.

Основные параметры микро-модульных конденсаторов приведены в табл. XIII. 2.

Катушки индуктивности ИФМ выполняются на ферритовых кольцах марки 20ВЧ, 50ВЧ, 100НН, 1000НМ и устанавливаются на микро-плате. Номинальные значения индуктивностей лежат в пределах от 1,25 до 2500 мкГн, допустимые отклонения от номинальной величины

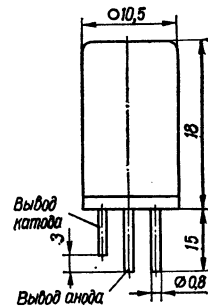


Рис. XIII. 8. Конденсаторы типов К53-6А, КОПП.

Таблица XIII.1

Основные параметры микромодульных резисторов

Тип резистора	Материал и конструкция резистора	Пределы номинальных значений сопротивлений	Допустимые отклонения от номинального значения, %	Максимальное рабочее напряжение, в	Номинальная мощность, Вт
ССНМ	Станатные ниточные на плате	5,6 ом—2,7 ком	±5, ±10, ±20	80	0,05
		560 ом—5,1 ком		160	0,125
С2-12	Станатные ниточные	10 ом—510 ком		160	0,250
СКНМ	Композиционные ниточные на плате	150 ом—1 мом	±5, ±10; ±20	30	0,25
С3-3	Композиционные ниточные	100 ом—3,3 ком		80	0,125
С3-2	Композиционные таблеточные	10 ом—1 мом	±5, ±10, ±20	30	0,05
С3-4	Композиционные на плате	10 ом—3,3 ком	±5, ±10, ±20	120	0,25
С5-6	Проволочные на плате	10 ом—510 ком	±1, ±5	120	0,05
С5-18	Проволочные на плате	51 ом—510 ком	±0,1; ±0,2; ±0,5; ±1,0;	140	0,125
СТ2-26	Терморезисторы на платах	1 ком—100 ком	±20		10—20
СТ3-24		0,68; 1; 1,5; 2,2; 3,3 ком		—	0,15—2,0
СТ3-26		100 ом—680 ом			10—20
СТ3-28	Терморезисторы таблеточные	0,15; 0,22; 0,33; 1,5; 2,2; 3,3 ком	±20	—	10—20
СП3-6а СП3-6б	Переменного сопротивления с поверхностным композиционным проводящим слоем	1 ком—1 мом (соответствуют ряду 1,0; 1,3; 2,2; 3,3; 4,7; 6,8)	±10, ±20, ±30	160	0,125
СП5-6а СП5-6б	Переменного сопротивления проволочные	0,1; 0,2; 0,47; 1,0; 2,2; 4,7; 10; 22; 47; 100 ком	±10	160	0,5

Таблица XIII.2

Основные параметры микромодульных конденсаторов

Тип конденсатора	Материал и конструкция конденсатора	Номинальные емкости, пф	Группы ТКЕ	Допускаемые отклонения емкостей от номинальной, %	Номинальное напряжение, в	Размеры элемента, мм
КМК-1-2	Керамические на плате	16—220	П33, М47	±5; ±10; ±20	50—160	—
		30—470	М75			
		75—820	М750			
		110—1800	М1500			
КМК-2а	Керамические без платы	1500—22 000	Н30	+50; —20		
		(0,022; 0,033; 0,047) · 10 ⁶	Н90	+80; —20		
		75—68)	П33, М47			
КМК-3	Керамические на плате	240—1200	М75	±5; ±10; ±20	35	6 × 6 × 1,9
		510—2200	М750			
		1100—4700	М1500			
КМК-3а	Керамические без платы	(0,022; 0,033; 0,047) · 10 ⁶	М30	+50; —20		
		150; 330		±20		
К10У-1	Керамические для печатного монтажа	2200; 4700	—	+80 —20	330	7,5 × (6; 10)
		100; 120; 150; 180; 220; 270; 330; 390; 470; 560; 680; 820; 1000	—	±1; ±2; ±5; ±10; ±20		
К3П-6	Слюдяные на плате		—		100	6 × 6 × 3

Продолжение табл. XIII.2

Тип конденсатора	Материал и конструкция конденсатора	Номинальные емкости, $\mu\text{ф}$	Группы ТКЕ	Допускаемые отклонения емкости от номинальной, %	Номинальное напряжение, В	Размеры элемента, мм
КБ3-6А	Оксиднополупроводниковые для печатного монтажа	(4,7; 6,8; 10; 22; 33; 47; 68; 100) · 10 ⁶	—	-20; +50	6, 15, 30	8,2 × 10,5*
КМПМ	Металлопленочные на плате	1000; 1500; 2200; 3300; 4700; 6800; 10 000	—	±10; ±20	160	6 × 6 × 2,7
КМПП	Металлопленочные для печатного монтажа	(0,05; 0,10; 0,15; 0,25; 0,50; 1,0) · 10 ⁶	—	±10; ±20	30, 160	11 × 11 × (18; 22)
К73П-3					100	
К71П-2					±5; ±10; ±20	
К74П-4	Пленочные на плате	1000; 1500; 2200; 3300; 4700; 6800; 10 000	—	±10; ±20	160	6 × 6 × (2,7 — 4)
К74-5	Пленочные для печатного монтажа	1000 — 220 000	—	±10; ±20	50	(5 — 16,5) × (2,3 — 10,5) × (13,5 — 17)
КМБП	Металлобумажные для печатного монтажа	(0,05; 0,10; 0,15; 0,25; 0,5; 1,0) · 10 ⁶	—	±10; ±20	30	(10 — 22) × (11 — 22) × (11 — 22)
ММКТ-3/20	Подстроечные на плате	3—20	—	±2	80	6 × 6 × 4,7

КОПМ	Оксиднополупроводниковые на плате	(1; 1,5; 2,2; 3,3; 4,7; 6,8; 10) · 10 ⁶	—	±10; ±20; ±30	6	6 × 6 × 3,5
		(0,047; 0,068; 0,1; 0,47; 0,68; 1; 1,5; 2,2; 3,3) · 10 ⁶			15	
		(0,47; 0,68; 1,0; 1,5; 2,2) · 10 ⁶			30	
КОПП	Оксиднополупроводниковые для печатного монтажа	(22; 33; 47; 68; 100) · 10 ⁶	—	—20; +50	6	14 × 10,5* (без выводов)
		(4,7; 6,8; 10; 15; 22; 33) × 10 ⁶			15	
		(4,7; 6,8; 10; 15; 22) · 10 ⁶			30	
К53-2	Оксиднополупроводниковые таблеточные	(0,047; 0,068; 0,1; 0,15; 0,22; 0,33; 0,47; 0,68; 1,0; 1,5; 2,2; 3,3; 4,7; 6,8; 10; 15) · 10 ⁶	—	—20; +50	6, 10, 15, 30	(2,7—4,7)*
		(0,047; 0,068; 0,1; 0,47; 0,68; 1,0; 1,5; 2,2; 3,3; 4,7; 6,8; 10) · 10 ⁶			6, 15, 30	

Диаметр.

± 5 , $\pm 10\%$, добротность 20—80. Общий вид катушек индуктивности ИФМ показан на рис. XIII. 9, а.

Катушки индуктивности типа МКИ (постоянные), МКИП (переменные), МКИС (индуктивно связанные) выполняются на ферритовых броневых сердечниках (см. § 1 гл. III) и устанавливаются на платах

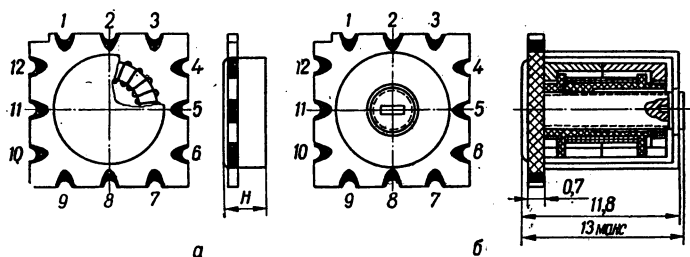


Рис. XIII. 9. Микромодульные катушки индуктивности:
а — типа ИФМ; б — типа МКИ.

(рис. XIII. 9, б). Катушки предназначены для работы в схемах микромодулей в цепях переменного и постоянного тока с максимальным напряжением до 100 в. Основные параметры микромодульных катушек индуктивности приведены в табл. XIII. 3.

Т а б л и ц а XIII.3

Основные параметры микромодульных катушек индуктивности типа МКИ

Тип катушки	Индуктивность, мкГн	Высота, мм	Точность изготовления или перестройка, %
МКИ	1—8	9,8	± 5
МКИ	10—2500	11,8	± 5
МКИП	1—8	9,8—11	± 10
МКИП	10—2500	11,8—13	± 10
МКИС	1—10	9,8	± 5
МКИС	16—2500	11,8	± 5

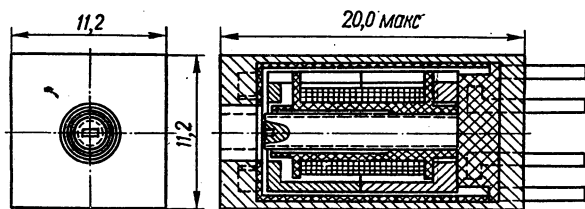
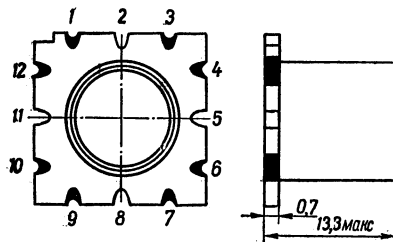


Рис. XIII. 10. Катушка индуктивности типа МКИ-3.

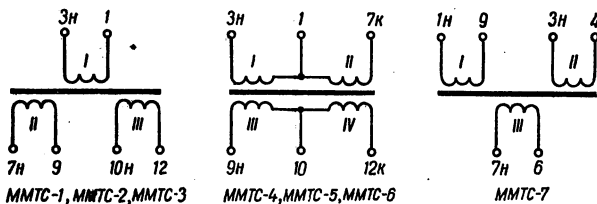
Катушки индуктивности МКИ-3, МКИП-3, МКИС-3, соответственно постоянные, переменные и связанные, предназначены для работы в цепях переменного и постоянного тока с постоянным напряжением до 100 в при токе до 5 ма. Катушки индуктивности изготавливаются

на номинальные значения индуктивностей 3150—63 000 мкГн для МКИ-3, МКИП-3 высотой 16,5 мм; 100—400 мГн для МКИ-3, МКИП-3 высотой 20,5 мм; 400—25 000 мкГн для МКИС-3. Добротность катушек лежит в пределах 25—90 для МКИ-3, МКИП-3 и в пределах 45—80 для МКИС-3. Точность изготовления постоянных и связанных катушек не хуже $\pm 5\%$. Общий вид катушек показан на рис. XIII. 10.

Трансформаторы ММТС-1—7 — микромодульные согласующие, низкой частоты. Предназначены для работы в диапазоне частот 300—3000 Гц



а



б

Рис. XIII. 11. Трансформаторы типов ММТС-1, ..., ММТС-7:

а — общий вид; б — электрические схемы.

с неравномерностью частотной характеристики не более ± 5 дБ и коэффициентом нелинейных искажений не более 10%. Общий вид трансформаторов приведен на рис. XIII. 11, а, параметры — в табл. XIII. 4, а электрические схемы и цоколевка — на рис. XIII. 11, б.

Трансформаторы ММТС-8—13 — согласующие, низкой частоты. Предназначены для работы в диапазоне частот 300—10 000 Гц с неравномерностью частотной характеристики не более ± 5 дБ и коэффициентом нелинейных искажений не выше $\pm 10\%$. Общий вид трансформаторов показан на рис. XIII. 12, а, параметры приведены в табл. XIII. 5, а электрические схемы и цоколевка — на рис. XIII. 12, б.

Микромодульные диоды выполняются в нескольких конструктивных оформлениях. Диоды ДММЗВП изготавливаются отдельно в круглом металло-стеклянном корпусе и затем монтируются на плате с прямоугольным отверстием по диагонали платы (рис. XIII. 13, а). Выводы диодов подключаются к пазам 1—6, 1—4 (плюс диода соответствует меньшему номеру паза).

Диоды типа 2ДМ и 2СМ (стабилитроны) изготавливаются в табличных металло-стеклянных круглых корпусах и монтируются на плате

Параметры транс

Тип трансформатора	Входное сопротивление, ом	Выходное сопротивление, ом	Максимальное напряжение на I обмотке (эфф.), в	Ток подмагничивания, ма
ММТС-1	50	500×2	0,35	—
ММТС-2	600	500×2	0,35	—
ММТС-3	2000	500×2	0,35	—
ММТС-4М	3000×2	500×2	1,41	1
ММТС-5	3000×2	100×2	1,41	1
ММТС-6	500×2	100×2	3,54	4
ММТС-7М	500×2	600	2,5	4

Параметры транс

Тип трансформатора	Входное сопротивление, ом	Выходное сопротивление, ом	К. п. д.	Максимальное напряжение на I обмотке (эфф.), в	Ток подмагничивания, ма
ММТС-8	1,92 (1—3)* (4—6)	4000 (7—9)	0,65	1 (1—3)	—
ММТС-9	8,2 (1—2)	430 (3—4) (5—6)	0,8	4 (1—2)	3
ММТС-10	12,5 (1—3)	400 (4—6)	0,8	10 (1—3)	1
ММТС-11	12,5 (1—3)	2000 (4—6)	0,8	10 (1—3)	1
ММТС-12	16 (1—3)	1000 (4—5) (5—6)	0,85	13 (1—3)	1
ММТС-13	28 (1—2)	41500 (3—4)	0,9	2 (1—2)	1

* В скобках указаны номера выводов обмоток трансформаторов в соответствии

Таблица XIII.6

Основные данные микродиодов

Тип диода	Максимальный импульсный ток при длительности импульса 10 мксек, ма	Выпрямленный ток, ма	Прямое импульсное падение напряжения (при токе, ма), в	Максимальное обратное напряжение, в	Обратный ток (при максимальном обратном напряжении), ма	Время установления обратного сопротивления, мксек	Емкость диода, пф	Диапазон рабочих температур, °С	
								от	до
ДММЗВП	50	12	3,5 (20)	15	100	0,1	1	-60	+70
2ДМ101А	200	20	—	30	5	—	—	—	—
2ДМ502А	200	20	3,5 (50)	30	5	0,5	20	—	—
2ДМ502Б	200	20	2,5 (50)	30	5	0,5	20	-60	+80
2ДМ502В	200	20	3,5 (50)	100	5	0,5	20	—	—
2ДМ502Г	200	20	2,5 (50)	100	5	0,5	20	—	—
1ДМ505А*	50	12	3,5 (20)	15	100	0,1	1	-60	+70

* Микродиод 1ДМ505А состоит из трех элементов МДЗ, собранных на одной плате.

форматоров ММТС

Таблица XIII.4

Коэффициент трансформации		Индуктивность I обмотки, гн	Индуктивность рассеяния, гн, не более	Сопротивление обмотки постоянному току при +20° С, ом	
Номинальное значение	Допустимое отклонение			I обмотка	II обмотка
6,33	+0,63	0,01	0,004	16	270×2
1,82	±0,18	0,135	0,048	160	264×2
1,0	±0,1	0,35	0,16	420	366×2
0,52	±0,05	1,4	0,5	690×2	342×2
0,169	±0,017	1,8	0,5	600×2	66×2
0,4	±0,04	0,18	0,08	106×2	40×2
1,41	±0,14	0,09	0,04	152×2	175

форматоров ММТС-8-13

Таблица XIII.5

Коэффициент трансформации		Индуктивность I обмотки, гн	Индуктивность рассеяния, гн	Сопротивление обмоток постоянному току при +20° С, ом	
Номинальное значение	Допустимое отклонение			I обмотка	II обмотка
1,79	±0,18	1,5 (1-3) (4-6)	0,11 (1-3) (4-6)	200 (1-3)	1700 (7-9)
0,26	±0,03	1,5 (1-2)	0,22 (1-2)	510 (1-2)	100 (3-4) (5-6)
0,18	±0,02	6 (1-3)	0,6 (1-3)	1700 (1-3)	26 (4-6)
0,45	±0,04	6 (1-3)	0,6 (1-3)	1750 (1-3)	210 (4-6)
0,27	±0,03	7,5 (1-3)	0,75 (1-3)	1650 (1-3)	110 (4-5) (5-6)
1,26	±0,13	5 (1-2)	1,5 (1-2)	1000 (1-2)	1700 (3-4)

виз с принципиальными схемами.

Таблица XIII.7

Основные данные микростабилизаторов

Тип стабилизатора	Напряжение стабилизации, в	Максимальный ток стабилизации, мА	Дифференциальное сопротивление, ом	Температурный коэффициент стабилизации, %/° С		Максимальная мощность, мВт	Диапазон рабочих температур, ° С	
				от	до		от	до
2СМ133А	3-3,7	30	65	-0,1	0	70*	-60	+12)
2СМ139А	3,5-4,3	26	60	-0,1	0	70*		
2СМ147А	4,1-5,2	21	56	-0,08	0,02	70*		
2СМ156А	5,0-6,4	18	45	-0,04	0,07	70*		
2СМ168А	6,0-7,5	15	15	0	0,07	70*		
2СМ180А	7,0-8,5	15	8	—	—	125		
2СМ190А	8,0-9,5	13	12	—	—	125		
2СМ210А	9,0-10,5	11	15	—	—	125		
2СМ211А	10-12	10	18	—	—	125		
2СМ213А	11,5-14	9	22	—	—	125		

* При температуре +120° С.

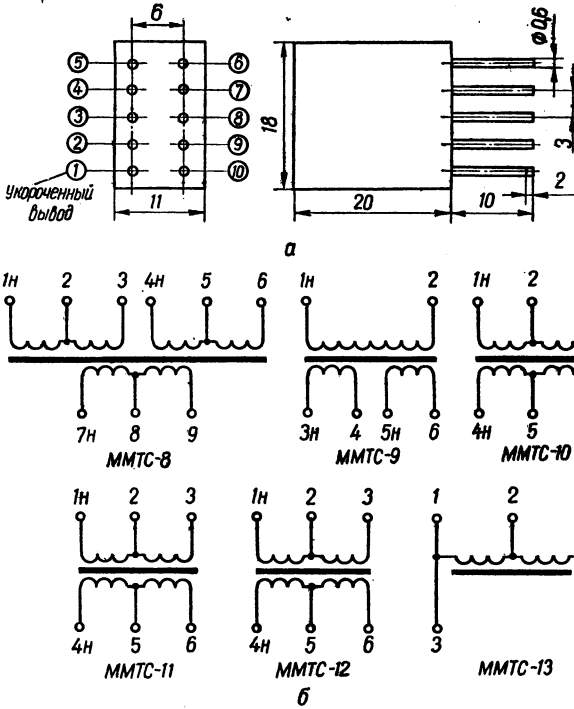


Рис. XIII. 12. Трансформаторы типов ММТС-8, ..., ММТС-13:
а — общий вид; б — электрические схемы.

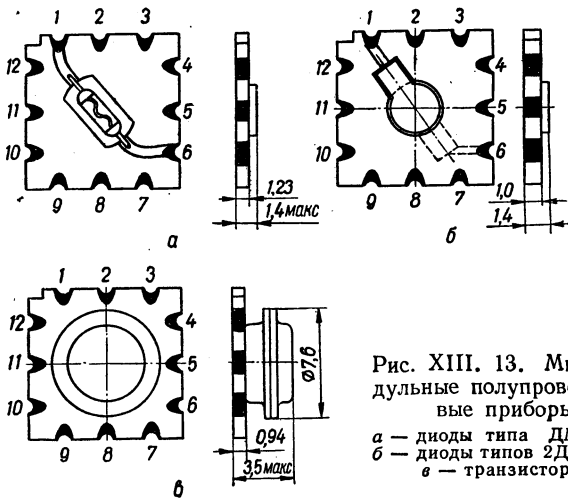


Рис. XIII. 13. Микро-модульные полупроводниковые приборы:
а — диоды типа ДММЗВП;
б — диоды типов 2ДМ, 2СМ;
в — транзисторы.

с круглым отверстием в центре (рис. XIII. 13, б). Выводы диодов подключаются к пазам 1—6, 1—4, 2—5 (плюс диода соответствует меньшему номеру паза). Электрические параметры микромодульных диодов приведены в табл. XIII. 6, а стабилитронов — в табл. XIII. 7.

Микромодульные транзисторы изготавливаются в специальном корпусе, устанавливаются на микроплате в соответствии с рис. XIII. 13, в и обозначаются буквами ТМ (транзистор микромодульный). Электроды транзистора подключаются к пазам: 1 — база, 5 — эмиттер, 8 — коллектор. Основные электрические параметры микромодульных транзисторов приведены в табл. XIII. 8.

§ 3. Микромодули

Микроэлементы в модуле устанавливаются с определенным шагом и соединяются в «этажерку» 12 проводниками, запаяными в металлизированные пазы микроплат. Соединительные проводники служат для

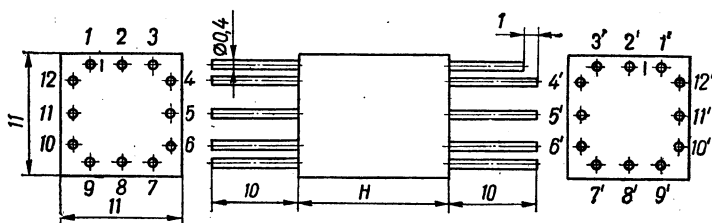


Рис. XIII. 14. Расположение и условная нумерация выводов микромодуля.

подвода питания и вывода сигналов от различных точек схемы. Собранный микромодуль заливается эпоксидным компаундом или герметизируется в металлической капсуле.

Нумерация выводов микромодуля ведется по часовой стрелке со стороны нижнего основания. Ключом служат проводники 1', 2', 3' и дополнительная маркировочная метка между выводами 1' и 2' (обычно цветная риска) или стрелка, направленная от вывода 1' (рис. XIII. 14).

Ниже приводятся основные технические характеристики некоторых типов микромодулей общего применения.

Микромодули для усилителей низкой частоты:

У1-1 применяется в предварительном каскаде УНЧ;

У2-1 — в оконечном каскаде УНЧ;

У1-2 — в предварительном каскаде УНЧ;

6Н-6М — в предварительном (микрофонном) каскаде УНЧ;

6Н-10М — в предварительном или маломощном выходном каскаде УНЧ с трансформаторной нагрузкой.

Усилитель У1-1 состоит из двух микромодулей У1-1-1 и У1-1-2 (рис. XIII. 15, а), имеет гальванический вход (вывод 12—12' первого микромодуля), который может быть использован для введения межкаскадной обратной связи, и выход через разделительный конденсатор (выводы 2—2' и 6—6' первого микромодуля). Полярность подключения разделительного конденсатора зависит от потенциала источника входного сигнала. Для стабилизации коэффициента усиления и регулировки

Наименование параметров	Обозначение	Единицы измерения
Параметры постоянного тока: начальный ток коллекторного перехода при напряжении на коллекторе в v	$I_{к60}$	<i>мкА</i>
начальный ток* эмиттерного перехода при напряжении $V_{э6}$ в v	$I_{э60}$	<i>мкА</i>
Режим измерения коэффициента передачи тока: напряжение на коллекторе	U_K	<i>v</i>
ток коллектора	I_K	<i>мА</i>
Малосигнальные параметры: входное сопротивление	h_{116}	<i>ом</i>
коэффициент передачи тока	$h_{21э}$	
выходная проводимость	h_{226}	<i>мксим</i>
Высокочастотные параметры: граничная частота коэффициента передачи тока	$f_{h_{216}}$	<i>МГц</i>
емкость коллектора	C_K	<i>пф</i>
постоянная времени цепи коллектора	r_{6C_K}	<i>нсек</i>
Коэффициент шума	$F_{ш}$	<i>дБ</i>
Предельные параметры: напряжение коллектор—база при х. х. в цепи эмиттера	$U_{к60}$	<i>v</i>
напряжение коллектор—эмиттер при сопротивлении в цепи базы	$U_{кэR}$	<i>v</i>
постоянный ток коллектора	$I_{кт}$	<i>мА</i>
ток коллектора в импульсном режиме	$I_{кМ}$	<i>мА</i>
мощность, рассеиваемая транзистором	P_t	<i>мвт</i>
Тепловые параметры: максимальная температура перехода	$T_{макс}$	$^{\circ}C$
минимальная температура перехода	$T_{мин}$	$^{\circ}C$
тепловое сопротивление переход—среда	$R_{пс}$	$^{\circ}C/вт$
Тип перехода, материал	—	—

* Числитель дроби — ток, знаменатель — напряжение.

Таблица XIII.8

ядульных транзисторов

Тип транзистора					
ТМ-2А	ТМ-2Б	ТМ-2В	ТМ-2Г	ТМ-2Д	ТМ-3А
—	—	—	—	—	20/15
20/10	20/10	20/10	20/10	20/10	20/15
1	1	1	1	1	1
10	10	10	10	10	10
—	—	—	—	—	—
20—60	50—150	30—90	70—210	80—250	18—55
—	—	—	—	—	—
3	3	9	9	20	1
25	25	25	25	25	35
3000	3000	3000	4000	4000	3000
—	—	—	—	—	—
15	15	10	10	10	15
15	15	10	10	10	15
50	50	50	50	50	50
100	100	100	100	100	100
75	75	75	75	75	75
+85	+85	+85	+85	+85	+85
—60	—60	—60	—60	—60	—60
0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
р-п-р, германий					п-р-п, германий

Обозначения	Единицы измерения	Тип			
		ТМ-3В	ТМ-3Г	ТМ-3Д	ТМ-4А
$I_{к60}$	<i>мкА</i>	20/15	20/15	20/15	6/15
$I_{э60}$	<i>мкА</i>	20/15	20/15	20/15	100/1,5
U_k	<i>в</i>	12	1	1	1
I_k	<i>мА</i>	10	10	10	10
$h_{11б}$	<i>ом</i>	—	—	—	—
$h_{21э}$		20—60	40—120	40—160	20—75
$h_{22б}$	<i>мксим</i>	—	—	—	—
$h_{21б}$	<i>Мгц</i>	5	5	10	60
C_k	<i>пф</i>	35	35	35	8,5
$r_{б}^i C_k$	<i>псек</i>	3500	3500	3500	1500
$F_{ш}$	<i>дб</i>	—	—	—	—
$U_{к60}$	<i>в</i>	15	15	15	15
$U_{кэR}$	<i>в</i>	15	15	15	15
$I_{кт}$	<i>мА</i>	50	50	50	40
$I_{кМ}$	<i>мА</i>	100	100	100	100
P_t	<i>мвт</i>	75	75	75	75
$T_{макс}$	$^{\circ}C$	+85	+85	+85	+85
$T_{мин}$	$^{\circ}C$	-60	-60	-60	-60
$R_{по}$	$^{\circ}C/мвт$	0,8	0,8	0,8	0,8

п-р-п, германий

транзистора

ТМ-4Б	ТМ-4В	ТМ-4Г	ТМ-4Д	ТМ-4Е	ТМ-5А	ТМ-5Б
6/15	6/15	6/15	6/15	6/15	20/15	20/15
100/1,5	100/1,5	100/1,5	100/1,5	100/1,5	20/15	20/15
1	1	1	1	1	1	1
10	10	10	10	10	10	10
—	—	—	—	—	—	—
50—120	90—200	20—75	50—120	90—200	20—50	35—80
—	—	—	—	—	—	—
60	60	120	120	120	1	1
8,5	8,5	8,5	8,5	8,5	30	30
1500	1500	500	500	500	2500	3000
—	—	—	—	—	—	—
15	15	15	15	15	15	15
15	15	15	15	15	15	15
40	40	40	40	40	70	70
100	100	100	100	100	150	150
75	75	75	75	75	75	75
+85	+85	+85	+85	+85	+85	+85
—60	—60	—60	—60	—60	—60	—60
0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8

p-n-p, германий

Обозначение	Единицы измерения	Тип			
		ТМ-5В	ТМ-5Г	ТМ-5Д	ТМ-10
$I_{кбо}$	<i>мкА</i>	20/15	20/15	20/15	15/20
$I_{эбо}$	<i>мкА</i>	20/15	20/15	20/15	50/3
U_K	<i>в</i>	1	1	1	10
I_K	<i>мА</i>	10	10	10	10
$h_{11б}$	<i>ом</i>	—	—	—	—
$h_{21э}$		60—130	110—250	20—60	14—60
$h_{22б}$	<i>мксим</i>	—	—	—	3
$f_{h_{21б}}$	<i>МГц</i>	2	3	1	30***
C_K	<i>пф</i>	30	30	30	10
$r_{б}^i C_K$	<i>псек</i>	3000	3500	2500	—
$F_{ш}$	<i>дб</i>	—	—	—	—
$U_{кбо}$	<i>в</i>	15	15	15	20
$U_{кэR}$	<i>в</i>	15	15	15	20
$I_{кн}$	<i>мА</i>	70	70	70	10
$I_{кМ}$	<i>мА</i>	150	150	150	100
P_n	<i>мвт</i>	75	75	75	150
$T_{макс}$	<i>°С</i>	+85	+85	+85	+150
$T_{мин}$	<i>°С</i>	-60	-60	-60	-60
$R_{ис}$	<i>°С/мвт</i>	0,8	0,8	0,8	0,6

p-p-p, германий

** При температуре +120° С. *** Частота генерации $f_{г}$.

транзистора						
ТМ-10А	ТМ-10Б	ТМ-10В	ТМ-10Г	ТМ10Д	ТМ-10Е	ТМ-10Ж
15/20	100/10**	100/10**	15/20	15/20	15/20	15/20
50/3	50/3	50/3	50/3	50/3	50/3	50/3
10	10	10	10	10	10	10
10	10	10	10	10	10	10
—	—	—	—	—	—	—
28—120	7—32	14—60	7÷32	14÷60	28÷120	55
3	3	3	3	3	3	3
30***	30***	30***	60***	60***	60***	60***
10	10	10	10	10	10	10
—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—
20	30	30	20	20	20	20
20	30	30	20	20	20	20
10	10	10	10	10	10	10
100	100	100	100	100	100	100
150	150	150	150	150	150	150
+150	+150	+150	+150	+150	+150	+150
-60	-60	-60	-60	-60	-60	-60
0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6

n-p-n, кремний

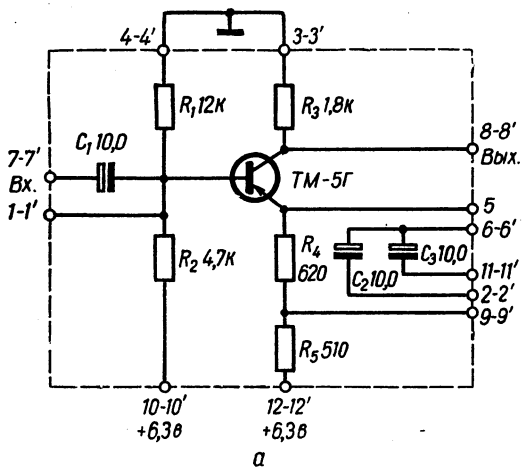
Обозначение	Единицы измерения	Тип		
		ТМ-11	ТМ-11А	ТМ-11Б
$I_{к60}$	<i>мка</i>	20/30	20/15	300/10**
$I_{э60}$	<i>мка</i>	150/5	150/5	150/5
U_K	<i>в</i>	1	1	1
I_K	<i>ма</i>	10	10	10
$h_{11б}$	<i>ом</i>	300	300	300
$h_{21э}$		7—40	10—60	19—160
$h_{22б}$	<i>мксим</i>	—	—	—
$f/h_{21б}$	<i>Мгц</i>	0,1	0,5	0,5
C_K	<i>пф</i>	110	110	—
$r'_{б'С_K}$	<i>нсек</i>	—	—	—
$F_{ш}$	<i>дб</i>	—	—	—
$U_{к60}$	<i>в</i>	30	15	15
$U_{кэR}$	<i>в</i>	30	15	15
$I_{кт}$	<i>ма</i>	50	50	50
$I_{кМ}$	<i>ма</i>	60	60	60
P_t	<i>вт</i>	150	150	150
$T_{макс}$	$^{\circ}C$	+150	+150	+150
$T_{мин}$	$^{\circ}C$	-60	-60	-60
$R_{пс}$	$^{\circ}C/вт$	0,6	0,6	0,6

p-n-p, кремний

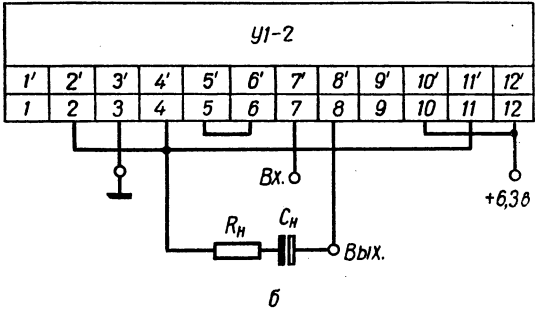
Продолжение табл. XIII.8

транзистора

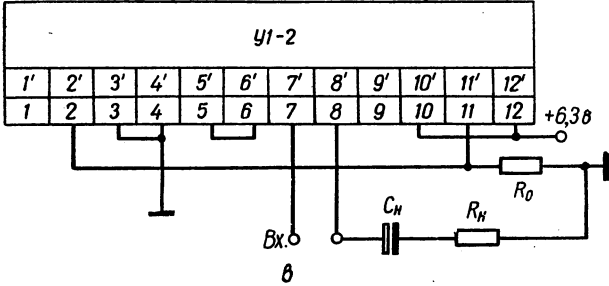
1ТМ-115А	1ТМ-115Б	1ТМ-115В	1ТМ-115Г	1ТМ-305А	1ТМ-305Б	1ТМ 305В
50/50	50/50	50/70	50/70	—	—	4/15
50/50	50/50	50/50	50/50	30/1,5	30/1,5	30/1,5
1	1	1	1	1	1	5
25	25	25	25	10	10	5
—	—	—	—	—	—	5
20—60	50—150	20—60	50—150	25—80	60—180	40—120
—	—	—	—	—	—	—
1	1	1	1	200	200	240
50	50	50	50	7	7	4
—	—	—	—	500	500	300
—	—	—	—	—	—	6
50	50	70	70	15	15	15
50	50	70	70	15	15	15
—	—	—	—	40	40	40
100	100	100	100	100	100	100
50	50	50	50	75	75	75
+85	+85	+85	+85	+85	+85	+85
—60	—60	—60	—60	—60	—60	—60
0,9	0,9	0,9	0,9	0,8	0,8	0,8
<i>p-n-p</i> , германий				<i>p-n-p</i> , германий		



а



б



в

Рис. XIII. 17. Схема микромодуля У1-2.

Условное обозначение микромодуля	Коэффициент усиления	Входное сопротивление, Ω	Выходное сопротивление, Ω	Диапазон рабочих частот, гц
У1-1	40—58	650—1100	100	50—20000
У2-2	1,8—2,3	1400—1800	550—700	50—20000
У1-2	33—56	600	1650—20000	300—3400
6Н-6М	53—60	900—1250	1700—2000	100—10000
6Н-10М	25—35	2000—2700	11000—13000	100—10000

его в небольших пределах увеличивают внутреннюю отрицательную обратную связь (цепочка R_0C_0), как показано на рис. XIII. 15, б.

Усилитель У2-1 состоит из двух микромодулей — У2-1-1 и У2-1-2 (рис. XIII. 16), имеет гальванический вход (вывод 3—3' первого микромодуля), который может быть использован для введения межкаскадной обратной связи, и вход через разделительный конденсатор (выводы 5—5' и 9—9' первого микромодуля). Полярность подключения разделительного конденсатора зависит от потенциала источника входного сигнала.

Усилитель У1-2 (рис. XIII. 17, а) имеет гальванический вход (1—1'), который можно использовать для введения межкаскадной обратной связи по постоянному и переменному току, и вход через разделительный конденсатор (7—7'). Схема включения микромодуля в качестве предварительного каскада УНЧ приведена на рис. XIII. 17, б. Для стабилизации коэффициента усиления, выравнивания частотной характеристики и увеличения входного сопротивления вводится отрицательная обратная связь (резистор обратной связи R_0), как показано на рис. XIII. 17, в. Электрические параметры микромодулей даны в табл. XIII. 9.

Используя микромодули У1-1, У2-1, У1-2, можно создать целый ряд различных усилителей низких частот. В качестве примера на рис. XIII. 18, а и XIII. 18, б приведены схемы включения усилителей УНЧ-1 и УНЧ-2, параметры которых даны в табл. XIII. 10.

Усилитель 6Н-6М предназначен для работы в качестве микрофонного усилителя и предварительного УНЧ. Схема (рис. XIII. 19, а) позволяет вводить в нее последовательную или параллельную обратную связь, в том числе и с других каскадов. Параметры усилителя приведены в табл. XIII. 9.

Усилитель 6Н-10М представляет собой усилитель без внутренней нагрузки (рис. XIII. 19, б) и используется в качестве предварительного УНЧ или малоомощного выходного УНЧ с трансформаторной нагрузкой. Дополнительный вывод эмиттера (вывод 11—11') позволяет регулировать усиление или вводить отрицательную обратную связь. При отсутствии обратной связи вывод 11—11' заземляется. Для обеспечения равномерности частотной характеристики при трансформаторной нагрузке индуктивность первичной обмотки должна быть не менее 1,5 гн . Величина нагрузки, приведенной к цепи коллектора, должна быть 2,4—5 ком . Параметры усилителя 6Н-10М указаны в табл. XIII. 9.

Микромодули для приемо-усилительных устройств выполняют функции усилителей, смесителей, детекторов, управляемых элементов АРУ, ограничителей и т. д.

Усилитель радиочастот УР-0,4 представляет собой каскодный усилитель высокой или промежуточной частоты (рис. XIII. 20, а). Диапазон

используемых в усилителях низкой частоты

Неравномерность частотной характеристики, дБ	Максимальный входной сигнал, мВ	Коэффициент нелинейных искажений, %	Ток потребления, мА	Напряжение питания, В
4,5	10	2	3,7	-12,6±10%
1,5	350	2	7,8	-12,6±10%
9	5	5	1,8	+6,3±10%
3	20	5	2	-6,3±10%
3	30	5	3,2	-6,3±10% или -12,6±10%

рабочих частот усилителя 0,5—70 МГц, коэффициент усиления ≥ 10 .
Смеситель радиочастот СЧ-00 имеет отдельные входы сигнального и гетеродинного напряжения (рис. XIII. 20, б). Промежуточная час-

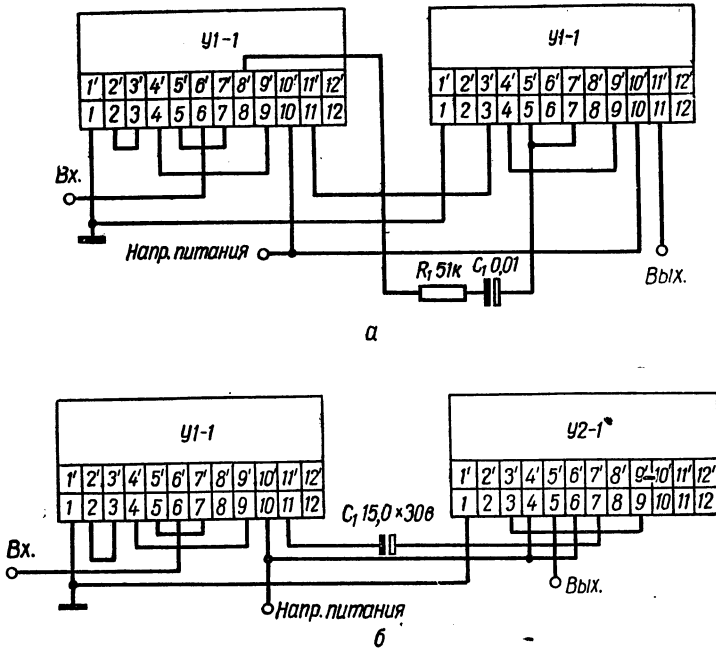


Рис. XIII. 18. Схемы включения усилителей:
а — типа УНЧ-1; б — типа УНЧ-2.

тота выделяется на контуре, выполненном в виде отдельного микромодуля. Диапазон рабочих частот смесителя 1—70 МГц, коэффициент преобразования 2,5.

Амплитудный диодный детектор Д-1М предназначен для выделения постоянной составляющей в цепях АРУ (рис. XIII. 21, а). Диапазон

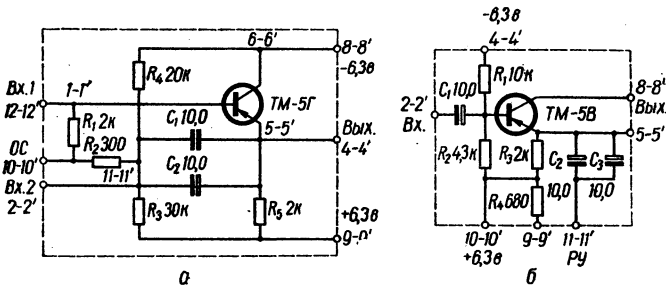


Рис. XIII. 19. Схемы микромодулей:
а — типа 6Н-6М; б — типа 6Н-10М.

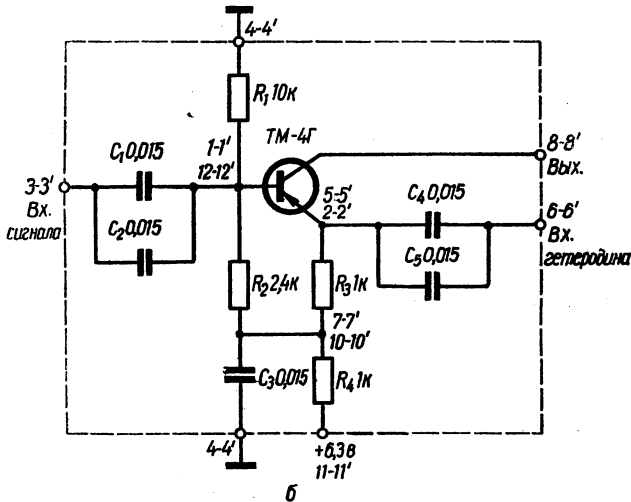
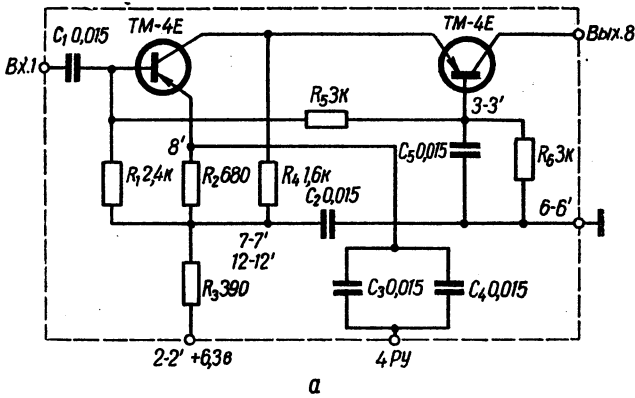


Рис. XIII. 20. Схемы микромодулей:
а — типа УР-04; б — типа СЧ-00.

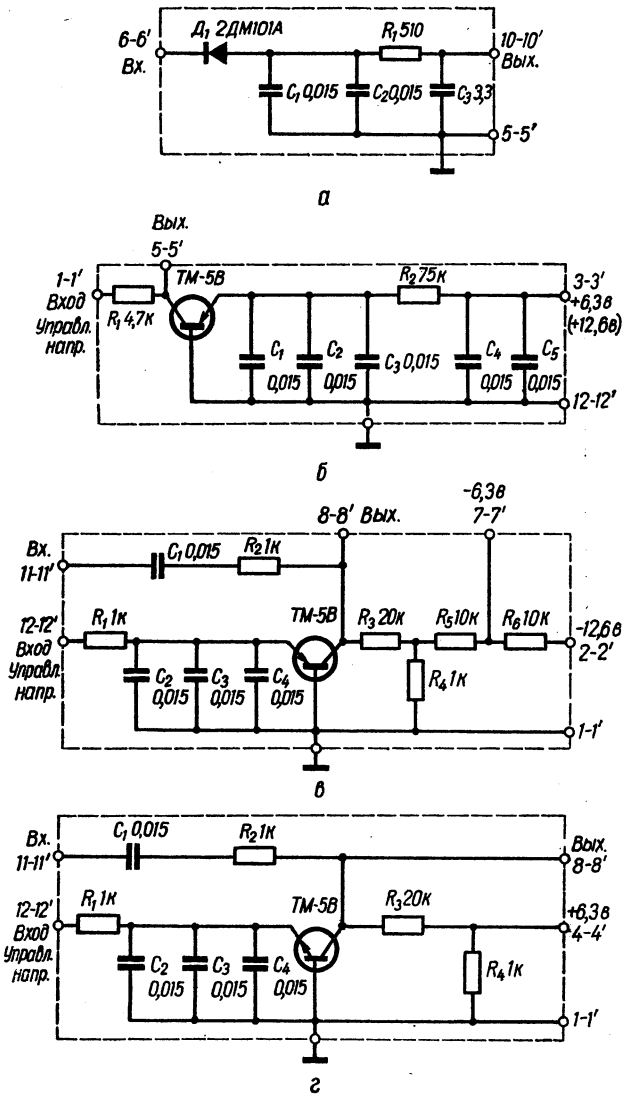


Рис. XIII. 21. Схемы микромодулей:
 а — типа Д-1М; б — типов 6Р-1М; 12Р-1М; в — типа Р-2М;
 г — типа Р-3М.

Таблица XIII.10

Основные параметры усилителей УНЧ-1, УНЧ-2

Параметр	Тип усилителя	
	УНЧ-1	УНЧ-2
Коэффициент усиления	200	40
Сопrotивление нагрузки, <i>ом</i>	4700	680
Входное сопротивление, <i>ом</i>	1000	600
Выходное напряжение при $K_f = 5\%$, <i>мв</i>	300	700
Неравномерность частотной характеристики, <i>дБ</i> :		
в полосе частот 50—20 000 <i>гц</i>	4	—
в полосе частот 250—2000 <i>гц</i>		6
Напряжение питания, <i>в</i>	—12,6	—12,6

рабочих частот детектора 300 *кГц* — 20 *МГц*, коэффициент передачи 0,4—0,6 (при нагрузке 4,7 *ком*).

Управляемые элементы 6P-1M и 12P-1M представляют собой транзисторные каскады с управляемой постоянным напряжением проводимостью (рис. XIII. 21, б). Управляемые элементы используются как элементы АРУ и подключаются параллельно эмиттерному сопротивлению каскадов усилителей, регулируя величину отрицательной обратной связи. В качестве источника управляющего напряжения рекомендуется микромодуль Д-1M. Микромодули 6P-1M и 12P-1M отличаются только напряжением питания ($\phi 6,3$ *в* для 6P-1M и $\phi 12,6$ для 12P-1M).

Регулирующие делители P-2M, P-3M представляют собой транзисторные каскады с изменяемым сопротивлением перехода коллектор—база (рис. XIII. 21, в, г). Проводимость переходов меняется постоянным управляющим напряжением, подаваемым на эмиттер. Регулирующие делители включаются в тракт УПЧ между основными усилительными каскадами и выполняют роль элементов АРУ. Диапазон рабочих частот делителей 0,5—5 *МГц*, максимальный коэффициент передачи 0,5, глубина регулирования 30—36 *дБ*, ток управления 0—1 *ма*.

§ 4. Интегральные микросхемы

Интегральные микросхемы, или просто микросхемы,— это микроэлектронные модули, в которых группы элементов выполняются по полупроводниковой, пленочной или любой другой технологии на поверхности или в объеме твердых оснований (подложек). В интегральных микросхемах комплекс отдельных конструктивно законченных деталей, входящих в данную схему, заменяется группой элементов, выполненных неразъемно на поверхности или в объеме материала основания. Это резко увеличивает плотность монтажа и позволяет значительно упростить конструкцию радиоэлектронного узла. В зависимости от применяемой технологии изготовления микросхемы делятся на три основных вида: полупроводниковые, гибридные и пленочные.

Интегральная полупроводниковая микросхема — микросхема, все элементы которой выполнены на поверхности или в объеме подложки из полупроводникового материала.

В интегральной пленочной микросхеме все элементы и соединения между ними выполнены методами пленочной технологии на общей

Таблица XIII.11

Условные обозначения классов и групп интегральных микросхем

Класс		Группа		Буквенный индекс
Наименование	Обозначение	Наименование	Обозначение	
Усилитель	У	Синусоидальный Постоянного тока Видеоусилитель Импульсный Повторитель Прочие	С Т Б И Э П	УС УТ УБ УИ УЭ УП
Генератор	Г	Синусоидальный Сигналов специальной формы	С Ф	ГС ГФ
Преобразователь	П	Частоты Фазы	С Ф	ПС ПФ
Модулятор	М	Амплитудный Частотный Фазовый	А С Ф	МА МС МФ
Детектор	Д	Амплитудный Частотный Фазовый	А С Ф	ДА ДС ДФ
Фильтр	Ф	Верхних частот Нижних частот Полосовой Заградительный Сглаживающий	В Н П Г С	ФВ ФН ФП ФГ ФС
Набор элементов	Н	Резисторов Конденсаторов Диодов Транзисторов Комбинированные	С Е Д Т К	НС НЕ НД НТ НК

диэлектрической подложке. Для изготовления подложек обычно используется керамика (ситалл), стекло.

Гибридная интегральная микросхема — это микросхема, в которой наряду с элементами, неразъемно связанными с поверхностью или в объеме подложки, используются навесные микроминиатюрные элементы, которыми, как правило, являются полупроводниковые приборы. В гибридной полупроводниковой микросхеме навесными элементами являются резисторы и конденсаторы, выполненные на поверхности полупроводника методами пленочной технологии.

Маркировка интегральных микросхем состоит из четырех элементов. Первый элемент — цифра, обозначающая вид микросхемы: 1 — полу-

проводниковые и совмещенные, 2 — гибридные, 3 — пленочные; второй — буквенный индекс, обозначающий функциональный класс и группу данного класса в соответствии с табл. XIII.11; третий — цифра, обозначающая порядковый номер разработки; четвертый — буквенный

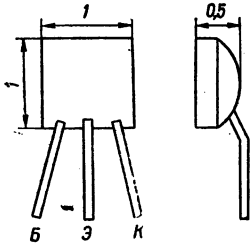


Рис. XIII. 22. Общий вид бескорпусных транзисторов 2Т319.

индекс, отличающий микросхему внутри данного класса и группы по параметрам. Например: 1УС221А — полупроводниковый усилитель синусоидальный, разновидность А.

В интегральных гибридных схемах используются специальные бескорпусные транзисторы и диоды. Бескорпусные кремниевые транзисторы серии 2Т319 характеризуются следующими параметрами: начальный ток коллекторного перехода $I_{к.60}$ не более 5 $\mu\text{ка}$ (при напряжении на коллекторе 5 в), эмиттерного перехода $I_{э.60}$ — не более 33 $\mu\text{ка}$ (при напряжении $U_{э.60} = 3,5 \text{ в}$); коэффициент передачи тока $h_{21э}$ (при напряжении на коллекторе 1 в и токе коллектора 1 ма) не менее 15 для транзисторов типа 2Т319А, не

менее 25 для типа 2Т319Б и не менее 40 для 2Т319В; предельная частота по коэффициенту передачи тока 100 Мгц , емкость коллектора 11 пф , предельное напряжение коллектор — база при разомкнутом эмиттере 5 в, предельный постоянный ток коллектора 15 ма, предельная рассеиваемая мощность (без теплоотвода) 5 мвт , пределы температур переходов от -60 до $+80$ °С. Тип перехода $n-p-n$. Общий вид бескорпусных транзисторов серии 2Т319 показан на рис. XIII.22. В интегральных гибридных схемах можно применять также малогабаритные транзисторы ГТ109, ГТ310. Примером выполнения аппаратуры с применением гибриднопленочной технологии является приемник «Микро».

ЛИТЕРАТУРА

- I. 1. *Рябчинская Г. И.* Радиотехнические материалы. Госэнергоиздат, М.—Л., 1950.
 2. *Соболевский А. Г.* Материалы в радиоэлектронике. Госэнергоиздат, М.—Л., 1963.
 3. *Соболевский А. Г.* Провода, шнуры, кабели. Госэнергоиздат, М.—Л., 1962.
 4. *Справочник по электрическим материалам. Т. 1 и 2.* Госэнергоиздат, М.—Л., 1958—1959.
- II. 1. *Гальперин Б. С.* Непроволочные сопротивления. Госэнергоиздат, М., 1958.
 2. *Михайлов И. В., Пропошин А. И.* Конденсаторы. «Энергия», М.—Л., 1965.
 3. *Ренне В. Т.* Электрические конденсаторы. Госэнергоиздат, М.—Л., 1959.
 4. *Румянцев М., Бобров Ф. и Грязев В.*— Радио, 1960, 12, 23—24.
- III. 1. *Волгов В. А.* Детали и узлы радиоэлектронной аппаратуры. «Энергия», М.—Л., 1967.
 2. *Малинин Р. М.* Выходные трансформаторы. Госэнергоиздат, М.—Л., 1963.
 3. *Матвеев Г. А., Хомиц В. И.* Катушки с ферритовыми сердечниками. Госэнергоиздат, М.—Л., 1962.
 4. *Вальков А. А., Толчилов Н. А., Колосовский В. В.* Кремниевые полевые транзисторы типов 2П102 и КП102. ЦНТИ, Новосибирск, 1969.
 5. *Лабутин В. К.* Полупроводниковые диоды. «Энергия», М.—Л., 1967.
 6. *Малин Б. В., Сонин М. С.* Параметры и свойства полевых транзисторов. «Энергия», М.—Л., 1967.
 7. *Справочник по полупроводниковым диодам и транзисторам.* «Энергия», М.—Л., 1968.
 8. *Транзисторы.* «Связь», М., 1969.
- IV. 1. *Дольник А. Г.* Громкоговорители. Госэнергоиздат, М.—Л., 1958.
 2. *Дольник А. Г., Румянцев М.*— Радио, 1960, 10, 31—34.
 3. *Дольник А. Г.* Микрофоны. «Энергия», М.—Л., 1964.
 4. *Кольцов Б. В.* Миниатюрные громкоговорители для приемников на транзисторах. Госэнергоиздат, М.—Л., 1960.
 5. *Малогобаритные громкоговорители.*— Радио, 1960, 6, 42—44.
- V. 1. *Трохименко Я. К.* Радиоприемные устройства на транзисторах. «Техника», К., 1964.
 2. *Усилитель НЧ на транзисторах для походных приемников.*— Радио, 1961, 12, 40; 1962, 4, 51—52.
 3. *Ши Р. Ф.* Усилители звуковой частоты на полупроводниковых триодах. ИЛ, 1957.
 4. *Цыкина А. В.* Проектирование транзисторных усилителей низкой частоты. «Связь», М., 1967.
- VI. 1. *Гурфинкель Б. Б.* Растянутые диапазоны. Госэнергоиздат, М.—Л., 1947.
 2. *Гуткин Л. С., Лебедев В. Л., Сифонов В. И.* Радиоприемные устройства, ч. I. «Советское радио», М., 1961.
 3. *Радиоприемные схемы на полупроводниковых приборах. Проектирование и расчет.* Под ред. Валитова Р. А., Куликовского А. А. «Советское радио», М., 1968.
 4. *Соколов М. А.* Преобразователи частоты. Воениздат, М., 1957.
 5. *Трохименко Я. К.* Радиоприемные устройства на транзисторах. Изд. 4-е. «Техника», К., 1967.
 6. *Щуцкой К. А.* Транзисторные усилители высокой частоты. «Энергия», М.—Л., 1967.
- VII. 1. *Глазюк О.*— Радио, 1967, 12, 20—22.
 2. *Дьяков А.*— Радио, 1969, 2, 37—38.
 3. *Матлин С., Соловьев А.*— Радио, 1967, 2, 30—32.
 4. *Пахлавян А. Н.* Радиопередающие устройства. «Связь», М., 1967.
 5. *Портативная транзисторная радиостанция на 144—146 Мгц.*— Радио, 1963, 2, 54.
 6. *Судаков Ю. И.* Амплитудная модуляция и автомодуляция транзисторных генераторов. «Энергия», М.—Л., 1969.
 7. *Устюгов М.*— Радио, 1965, 9, 30—32.
- VIII. 1. *Мейнке Х., Гундлах Ф.* Радиотехнический справочник, перев. с нем., I. Госэнергоиздат, М.—Л., 1960.
 2. *Хомич В. И.* Приемные ферритовые антенны. Госэнергоиздат, М.—Л., 1963.

- X. 1. *Альтрихтер Э.* Магнитная лента. ИЛ, 1959.
2. *Бургов В. А.* Основы записи и воспроизведения звука. «Искусство», М., 1954.
3. *Ганзбург М. Д.* Электродвигатели для магнитофонов. «Энергия», М.—Л., 1964.
4. *Ганзбург М. Д., Тальянцев А.*—Радио, 1965, 11, 39—41.
5. *Зюзин Ю., Петров Е.*—Радио, 1963, 5, 33—37.
6. *Курбатов Н. В., Яновский Е. Б.* Узлы и детали магнитофонов. «Энергия», М.—Л., 1965.
7. *Матвеевко А. С.* Любительская звукозапись. «Искусство», М., 1959.
8. *Пархоменко В. И.* Магнитные головки. Госэнергоиздат, М., 1960.

- XI. 1. *Журавлев А. А., Мазель К. Б.* Преобразователи постоянного напряжения на транзисторах. Госэнергоиздат, М.—Л., 1960.
2. *Кузьменко М. И., Сиваков А. Р.* Полупроводниковые преобразователи постоянного напряжения. Госэнергоиздат, М.—Л., 1961.
3. *Орлов В. А.* Малогабаритные источники тока. Воениздат, М., 1965.

- XII. 1. *Архипов Е.*—Радио, 1970, 2, 32.
2. *Буянов Э.*—Радио, 1967, 4, 27.
3. *Бобров Н.*—Радио, 1968, 1, 45—46.
4. *Васильев В.*—Радио, 1967, 8, 35—38.
5. *Васильев В.*—Радио, 1970, 3, 14—16.
6. *Васильев В.*—Радио, 1970, 4, 15—16.
7. *Васильев И., Терлецкий В.*—Радио, 1965, 9, 21—23.
8. *Васильевич И.*—Радио, 1961, 12, 40; 1962, 4, 51—52.
9. *Газнюк О.*—Радио, 1963, 5, 23—28.
10. *Голубев В.*—Радио, 1968, 2, 52—53.
11. *Демьяновский Б., Ломанович В.*—Радио, 1958, 8, 38—40.
12. *Детский приемник.*—Радио, 1969, 7, 59—60.
13. *Евлахов Е., Енин С.*—Радио, 1967, 5, 26—27.
14. *Зюзин Д., Петров Е.*—Радио, 1963, 5, 33—37; 1963, 6, 29—31.
15. *Иванов В.*—Радио, 1970, 2, 29—30.
16. *Исупов Н.*—Радио, 1967, 6, 24—26.
17. *Крапивников В.*—Радио, 1968, 5, 45—46.
18. *Кулигин И., Хабаров Ю.*—Радио, 1959, 9, 37—39.
19. *Лавров М.*—Радио, 1969, 2, 51—52.
20. *Лесота А., Чванов В.*—Радио, 1968, 7, 51.
21. *Ломанович В.*—Радио, 1970, 1, 22—23, 34.
22. *Ломанович В.*—Радио, 1968, 8, 47—48.
23. *Ломанович В.*—Радио, 1970, 2, 21—23.
24. *Льманович В.*—В помощь радиолюбителю, 1963, вып. 16, 18—33.
25. *Львов В.*—Радио, 1965, 5, 16 и 41.
26. *Мелешенковский В.*—Радио, 1970, 11, 48.
27. *Миниатюрный приемник на трех транзисторах.*—Радио, 1969, 11, 48.
28. *Михайлов В.*—Радио, 1970, 1, 49.
29. *Панов А.*—Радио, 1970, 1, 33.
30. *Портативная транзисторная радиостанция на 144—146 Мгц.*—Радио, 1963, 2, 54.
31. *Пуртов А.*—Радио, 1968, 7, 52 и 55.
32. *Рефлексные приемники.*—Радио, 1968, 8, 60.
33. *Рефлексный приемник.*—Радио, 1969, 6, 58.
34. *Рефлексный приемник на трех транзисторах.*—Радио, 1969, 9, 59.
35. *Рибкин А.*—Радио, 1969, 9, 27—28.
36. *Синхродин.*—Радио, 1970, 2, 60.
37. *Соколов Х.*—Радио, 1968, 8, 52.
38. *Солдатов С.*—Радио, 1969, 8, 41.
39. *Транзисторный УКВ приемник.*—Радио, 1970, 10, 60.
40. *Турлапов Ю.*—Радио, 1969, 4, 29—30.
41. *УКВ приемник.*—Радио, 1969, 10, 59.
42. *УКВ ЧМ приемник на одном транзисторе.*—Радио, 1970, 6, 59.
43. *Фролов В.*—Радио, 1968, 2, 45—46.
44. *Фролов В., Лайшев З.*—Радио, 1969, 5, 17—19.
45. *ЧМ приемник с низкой промежуточной частотой.*—Радио, 1968, 2, 58—59.
46. *Языков Н.*—Радио, 1967, 11, 49—51.

- XIII. 1. *Барканов Н. А.* и др. Конструирование микромодульной аппаратуры. «Советское радио», М., 1968.
2. *Майоров С. А.* Проектирование и производство модулей и микромодулей. «Машиностроение», М., 1968.
3. *Цымбалюк В. С., Крюков Ю. Г., Грибов Э. Б.* Миниатюризация приемно-усилительной аппаратуры. «Связь», М., 1968.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	3
Глава I. Электро- и радиоматериалы	5
§ 1. Проводники	5
§ 2. Медные обмоточные провода	6
§ 3. Обмоточные провода высокого сопротивления	9
§ 4. Монтажные провода	11
§ 5. Припой и флюсы	11
§ 6. Электроизоляционные материалы	16
§ 7. Ферромагнитные материалы	20
Глава II. Малогабаритные радиодетали общего применения	32
§ 1. Основные параметры конденсаторов	32
§ 2. Конденсаторы постоянной емкости	37
§ 3. Подстроечные конденсаторы	52
§ 4. Конденсаторы переменной емкости	53
§ 5. Основные параметры резисторов	57
§ 6. Малогабаритные резисторы	58
§ 7. Малогабаритные переключатели	62
§ 8. Малогабаритные электромагнитные реле постоянного тока	64
Глава III. Малогабаритные намоточные узлы радиоаппаратуры	70
§ 1. Катушки для колебательных контуров	70
§ 2. Дроссели высокой частоты	86
§ 3. Трансформаторы низкой частоты	87
Глава IV. Полупроводниковые приборы	100
§ 1. Полупроводниковые диоды	100
§ 2. Транзисторы	124
§ 3. Полевые транзисторы	141
Глава V. Малогабаритные микрофоны, громкоговорители и телефоны	198
§ 1. Микрофоны	198
§ 2. Громкоговорители и телефоны	201
Глава VI. Усилители звуковых частот на транзисторах	207
§ 1. Основные характеристики усилителей звуковых частот	207
§ 2. Питание цепей транзисторов и стабилизация рабочей точки	209
§ 3. Выходные каскады усилителей звуковых частот	213
§ 4. Каскады предварительного усиления	224
§ 5. Усилители на транзисторах с малым коэффициентом усиления по току	228
§ 6. Каскады с большим входным сопротивлением	230
§ 7. Обратная связь в усилителях звуковых частот	232
§ 8. Коррекция частотных характеристик	234
§ 9. Регулировка в усилителях звуковых частот	234
§ 10. Шумы в усилителях	237
Глава VII. Радиоприемные устройства на транзисторах	239
§ 1. Основные параметры радиоприемников	239
§ 2. Блок-схемы радиоприемников	242
§ 3. Эскизный расчет супергетеродина на транзисторах	244
§ 4. Входные цепи	249
§ 5. Растянутые поддиапазоны	252
§ 6. Усилители высокой частоты	253
§ 7. Преобразователи частоты	254
§ 8. Гетеродины	257
§ 9. Усилители промежуточной частоты	259
§ 10. Детектирование сигналов	265
§ 11. Блоки УКВ вещательных радиоприемников	263
§ 12. Автоматические регулировки в приемниках	270
Глава VIII. Радиопередаточные устройства на транзисторах	273
§ 1. Диапазоны для любительской радиосвязи	273
§ 2. Особенности транзисторных передатчиков	274
§ 3. Блок-схема радиопередатчика	274
§ 4. Генератор с независимым возбуждением	275
§ 5. Расчет граничного режима генератора	284
§ 6. Схемы выходных и промежуточных каскадов	290
§ 7. Задающие генераторы и возбудители	291

§ 8. Генераторы на туннельных диодах	294
§ 9. Модуляция	294
§ 10. Передача одной боковой полосой	298
§ 11. Частотная модуляция	303
Глава IX. Малогабаритные антенные устройства	305
§ 1. Общие сведения	305
§ 2. Основные параметры передающих антенн	305
§ 3. Основные параметры приемных антенн	306
§ 4. Вибраторные антенны	310
§ 5. Рамочные антенны	310
§ 6. Приемные ферритовые антенны	311
Глава X. Малогабаритные магнитофоны	315
§ 1. Основные характеристики магнитофонов	315
§ 2. Магнитные носители записи	319
§ 3. Блок-схемы магнитофонов	323
§ 4. Лентопотяжные механизмы	326
§ 5. Магнитные головки	323
§ 6. Усилители для магнитофонов на транзисторах	335
§ 7. Генераторы высокой частоты	341
§ 8. Индикаторы уровня записи	343
§ 9. Наладка электрического тракта магнитофона	344
Глава XI. Электронитание малогабаритных радиоустройств	347
§ 1. Гальванические элементы и батареи, их основные характеристики	347
§ 2. Малогабаритные аккумуляторы	354
§ 3. Преобразователи напряжения на транзисторах	358
Глава XII. Образцы промышленных и любительских малогабаритных радиоустройств	365
§ 1. Радиоприемные устройства	365
§ 2. Приемно-передающие радиостанции и передатчики	409
§ 3. Усилительные устройства	425
§ 4. Магнитофоны	431
§ 5. Малогабаритная измерительная аппаратура	435
Глава XIII. Микроминиатюризация радиоэлектронной аппаратуры	446
§ 1. Общие сведения	446
§ 2. Микроэлементы РЭА	447
§ 3. Микромодули	459
§ 4. Интегральные микросхемы	474
Литература	477

Терещук Ромуальд Михайлович, Терещук Константин Михайлович, Седов Сергей Алексеевич, Чаплинский Абрам Борисович, Фукс Лев Бенционович

МАЛОГАБАРИТНАЯ РАДИОАППАРАТУРА

Справочник радиолюбителя

Редакторы *Е. А. Воронько, Л. Я. Грамм*. Художественный редактор *В. М. Тепляков*. Оформление художника *В. Г. Самсонова*. Технические редакторы *М. А. Притыкина, В. М. Кричевская*. Корректор *Р. С. Борисова*.

Сдано в набор 20/IV 1971 г. Подписано к печати 12/XI 1971 г. БФ 04204. Зак. 1-104. Изд. № 228. Тираж 400 000 (100 001—200 000). Бумага № 3, 84 × 108¹/₃₂. Усл. печ. листов 25,2. Учетно-изд. листов 29,4. Цена 1 руб. 31 коп.

Издательство «Наукова думка», Киев, ул. Репина, 3.

Книжная ф-ка им. М. В. Фрунзе Комитета по печати при Совете Министров УССР, Харьков, Донец-Захаржевская, 6/8.

