

УДК 656.254.16(035)
ББК 39.278
Т18

Рецензенты: главный инженер Департамента связи и вычислительной техники ОАО «РЖД» А.Н. Сяножев; зав. кафедрой «Радиотехника и электросвязь» МГУПС проф. Г.В. Горелов

Таныгин Ю.И.

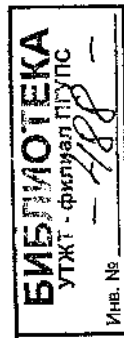
Т18 Справочник электромеханика железнодорожной радиосвязи. — М.: ГОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2009. — 407 с.

ISBN 978-5-89035-583-6

Содержит сведения по электротехнике, об электрорадиоагрегатах, о рэксисторах, конденсаторах, приборах стабилизации частоты и их маркировке, классификации и маркировке обслуживающих диодов, транзисторов, микросхем. Отдельно рассмотрены работа и схемы усилителей, генераторов, модуляторов и преобразователей на конкретных примерах железнодорожных радиосистем. Описаны принципы работы радиостанций, приведены основные параметров устройств железнодорожных радиостанций, приведены основные параметры радиостанций, а также принципы диагностики, настройки и ремонта аппарата. Кратко рассмотрено распространение радиоволн и работа железнодорожных антенн. Изложены принципы организации поселковой станционной радиосвязи, отражены вопросы электромагнитной совместимости радиосредств. Описаны системы громкоговорящей связи, промышленного телевидения и радиолокационного контроля подвижного состава. Приведены материалы по энергоснабжению.

Предназначен для работников, обслуживающих радиотехнические системы железнодорожного транспорта.
Может быть также полезен студентам железнодорожных колледжей и вузов.

УДК 656.254.16 (035)
ББК 39.278



ISBN 978-5-89035-583-6

© Таныгин Ю.И., 2009

© ГОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2009

© ООО «Издательский дом «Транспортная книга», 2009

1. МЕЖДУНАРОДНАЯ СИСТЕМА ЕДИНИЦ (СИ)

1.1. Базовые единицы СИ

Величина	Наименование	Обозначение	Определение
1	2	3	4
<i>Основные единицы</i>			
Длина	метр	м	Метр равен длине 1 650 763, 73 длин волн в вакууме излучения, соответствующего переходу между уровнями $2p_{10}$ и $5d_5$ атома криптона-86
Масса	килограмм	кг	Килограмм равен массе международного прототипа килограмма
Время	секунда	с	Секунда равна $9 \cdot 192 \cdot 631 \cdot 770$ периодам излучения, соответствующего переходу между двумя сверхтонкими уровнями основного состояния атома цезия-133
Сила электрического тока	ампер	А	Ампер равен силе неизменяющегося тока, который при прохождении по двум параллельным прямолинейным проводникам бесконечной длины и ничтожно малой площади кругового поперечного сечения, расположенным в вакууме на расстоянии 1 м один от другого, вызвал бы на участке проводника длиной 1 м силу взаимодействия, равную $2 \cdot 10^{-7}$ Н
Термодинамическая температура	кельвин	К	Кельвин равен $1/273,16$ части термодинамической температуры тройной точки воды
Сила света	кандела	кд	Кандела равна силе света, излучаемого с поверхности площадью $1/600\,000$ м ² полного излучателя в перпендикулярном направлении, при температуре излучателя, равной температуре затвердевания платины при давлении 101 325 Па

1	2	3	4
<i>Основные единицы</i>			
Количество вещества	моль	моль	Моль равен количеству вещества системы, содержащей столько структурных элементов (атомов, молекул, ионов, электронов или других частиц), сколько их содержится в углероде-12 массой 0,012 кг
<i>Дополнительные единицы</i>			
Плоский угол	радиан	рад	Радиан равен углу между двумя радиусами окружности, длина дуги между которыми равна радиусу
Телесный угол	стерадиан	ср	Стерадиан равен телесному углу с вершиной в центре сферы, вырезаемому на поверхности сферы площадью, равную площади квадрата со стороной, равной радиусу сферы

1.2. Производные единицы электрических и магнитных величин

Величина	Наименование	Обозначение	Определение
1	2	3	4
Количество электричества	кулон	Кл	Кулон равен количеству электричества, протекающему через поперечное сечение проводника при токе силой 1 А за время 1 с
Электрическое напряжение	вольт	В	Вольт равен электрическому напряжению на участке электрической цепи при прохождении 1 Кл электричества и выполнении работы в 1 Дж
Электрическая емкость	фарад	Ф	Фарад равен электрической емкости конденсатора, при которой заряд 1 Кл создает на конденсаторе напряжение 1 В
Электрическое сопротивление	ом	Ом	Ом равен электрическому сопротивлению участка электрической цепи, при котором постоянный ток силой 1 А вызывает падение напряжения 1 В
Удельное электрическое сопротивление	омметр	Ом·м	Омметр равен удельному электрическому сопротивлению вещества, при котором участок (выпленный из этого вещества) электрической цепи длиной 1 м и площадью поперечного сечения 1 м ² имеет сопротивление 10 Ом
Электрическая проводимость	сименс	См	Сименс равен электрической проводимости участка электрической цепи сопротивлением 1 Ом

1	2	3	4
Магнитный поток	вебер	Вб	Вебер равен магнитному потоку, при изменении которого со скоростью в 1 Вб в течение 1 с в цепи индуцируется электродвижущая сила в 1 В
Магнитная индукция	тесла	Тл	Тесла равна магнитной индукции, при которой магнитный поток сквозь поперечное сечение площадью 1 м ² равен 1 Вб
Индуктивность	генри	Гн	Генри равен индуктивности электрической цепи, с которой при силе постоянного тока в ней 1 А сцепляется магнитный поток, равный 1 Вб
Напряженность магнитного поля	ампер на метр	А/м	Ампер на метр равен напряженности магнитного поля, создаваемого прямым бесконечно длинным проводником при силе тока в 1 А на расстоянии 2 м от проводника с током
Магнитная проницаемость	генри на метр	Гн/м	Генри на метр — абсолютная магнитная проницаемость вещества, в котором при напряженности магнитного поля в 1 А/м создается магнитная индукция, равная 1 Тл

2. КЛАССИФИКАЦИЯ РАДИОВОЛН (ЧАСТОТ)

Р/волны	Частота	Применение
Метровые $\lambda = 10 \dots 100$ км	ОНЧ — очень низкая частота (VLF — very low frequency) 3...30 кГц	Дальняя связь (поверхностное распространение)
Километровые $\lambda = 1 \dots 10$ км	НЧ — низкие частоты (LF — low frequency) 30...300 кГц	Радиовещание (поверхностное распространение)
Гектометровые $\lambda = 0,1 \dots 1$ км	СЧ — средние частоты (MF — middle frequency) 0,3...3 МГц	Последняя линейная радиосвязь (2, 130 МГц) (поверхностное распространение)
Декаметровые $\lambda = 10 \dots 100$ м	ВЧ — высокие частоты (HF — high frequency) 3...30 МГц	Дальняя связь (распространение за счет переотражения от ионосферы)
Метровые $\lambda = 1 \dots 10$ м	ОВЧ — очень высокие частоты (VHF — very high frequency) 30...300 МГц	Стационарная р/связь ($f = 151 \dots 156$ МГц); прямолинейное распространение
Дециметровые $\lambda = 0,1 \dots 1$ м	УВЧ — ультравысокие частоты (UHF — ultra high frequency) 300...3000 МГц	Стационарная и поездная р/связь (330, 460 МГц), GSM-R, TETRA, 802.11 (800...900 МГц) телевизионный канал (2410 МГц); прямолинейное распространение
Сантиметровые $\lambda = 1 \dots 10$ см	СВЧ — сверхвысокие частоты (SHF — super high frequency) 3...30 ГГц	Спутниковая р/связь (10+11 ГГц); радиорелейная связь 4, 6, 8 ГГц. Прямолинейное распространение
Миллиметровые $\lambda = 1 \dots 10$ мм	КВЧ — крайне высокие частоты (EHF — extreme high frequency)	Радиолокация (РИС-8 мм) — прямолинейное распространение
$\lambda = c/f$	$c = 3 \cdot 10^8$ м/с	$\omega = 2\pi f$; $f = (1/c)\lambda$

3. ОБОЗНАЧЕНИЯ И КЛАССИФИКАЦИЯ ИЗЛУЧЕНИЙ

3.1. Обозначение излучений

Излучения должны обозначаться в соответствии с необходимой шириной полосы частот и их классификацией [2].

Для полного обозначения излучения перед обозначением его класса следует с помощью четырех знаков указать необходимую ширину полосы, которая должна выражаться тремя цифрами и одной буквой. Буква занимает положение запятой, и указывает единицу измерения полосы частот. Первый знак не должен быть ни нулевой, ни буквой К, М или G.

Необходимая ширина полосы:

от 0,01 до 999 Гц должна выражаться в герцах (буква Н),

от 1,00 до 999 кГц должна выражаться в килогерцах (буква К),

от 1,00 до 999 МГц должна выражаться в мегагерцах (буква М),

от 1,00 до 999 ГГц должна выражаться в гигагерцах (буква G).

Примеры:

4,2 Гц = 4Н20	6 кГц = 6К00	1,25 МГц = 1М25
0,1 Гц = Н100	12,5 кГц = 12К5	2 МГц = 2М00
25,3 Гц = 25Н3	180,4 кГц = 180К	10 МГц = 10М0
400 Гц = 400Н	180,5 кГц = 181К	202 МГц = 202М
2,4 кГц = 2К40	180,7 кГц = 181К	5,65 ГГц = 5G65.

3.2. Классификация излучений

Излучения должны классифицироваться и обозначаться в соответствии с их основными и дополнительными характеристиками.

С помощью первых трех условных обозначений описываются основные характеристики излучения, а для полного описания излучения необходимо добавить две дополнительные характеристики.

Первое обозначение — тип модуляции основной несущей. Второе обозначение — характер сигнала (сигналов), модулирующего основную несущую. Третье обозначение — тип передаваемой информации. Четвертое обозначение — подробные данные о сигнале (сигналах). Пятое обозначение — характер уплотнения.

Ниже приведены основные характеристики излучений.

3.3. Основные характеристики

Первый символ — тип модуляции основной несущей:

- а) *N* — излучение немодулированной несущей;
- б) излучения, при которых основная несущая модулируется по амплитуде (включая случаи, когда поднесущие имеют угловую модуляцию):
 - A* — двухполосная;
 - H* — однополосная с полной несущей;
 - R* — однополосная с ослабленной несущей или с переменным уровнем несущей;
 - J* — однополосная с подавленной несущей;
 - B* — с независимыми боковыми полосами;
 - C* — с частично подавленной одной из боковых полос;
- в) излучения, при которых на основной несущей используется угловая модуляция:

- F* — частотная модуляция;
- G* — фазовая модуляция;
- г) *D* — излучения, при которых на основной несущей используется амплитудная и угловая модуляция либо одновременно, либо в заранее установленной последовательности
- д) импульсные излучения:
 - P* — последовательность немодулированных импульсов;
 - K* — последовательность импульсов, модулированных по амплитуде
 - L* — по ширине или длительности;
 - M* — по положению или фазе;
 - Q* — последовательность импульсов, при которой на несущей используется угловая модуляция во время передачи импульсов;
 - U* — последовательность импульсов, представляющая собой сочетание указанных выше способов или производимая другими методами;
 - е) *W* — прочие случаи, отличные от указанных выше, при которых излучение состоит из основной несущей, модулированной либо од-

новременно, либо в заранее установленной последовательности, сочетанием двух или более из следующих методов модуляции: амплитудной, угловой, импульсной;

ж) *X* — прочие случаи.
Второй символ — характер сигнала (сигналов), модулирующего основную несущую:

- а) *O* — отсутствие модулирующего сигнала;
- б) *1* — один канал, содержащий квантованную или цифровую информацию без использования модулирующей поднесущей;
- в) *2* — один канал, содержащий квантованную или цифровую информацию при использовании модулирующей поднесущей;
- г) *3* — один канал с аналоговой информацией;
- д) *7* — два канала или более, содержащие квантованную или цифровую информацию;
- е) *8* — два канала или более с аналоговой информацией;
- ж) *9* — сложная система с одним или несколькими каналами, содержащими квантованную или цифровую информацию, совместно с одним или несколькими каналами, содержащими аналоговую информацию;

з) *X* — прочие случаи.

Третий символ — тип передаваемой информации:

- а) *N* — отсутствие передаваемой информации;
- б) *A* — телеграфия для слухового приема;
- в) *B* — телеграфия для автоматического приема;
- г) *C* — факсимиле;
- д) *D* — передача данных, телеметрия, телеуправление;
- е) *E* — телефония (включая звуковое радиовещание);
- ж) *F* — телевидение (видео);
- з) *V* — сочетание указанных выше типов;
- и) *X* — прочие случаи.

Четвертый символ — подробные данные о сигнале (сигналах):

- а) *A* — двухпозиционный код с разным количеством элементов и/или разной длительности;
- б) *B* — двухпозиционный код с одинаковым числом элементов и одинаковой длительности без исправления ошибок;
- в) *C* — двухпозиционный код с одинаковым числом элементов и одинаковой длительностью с исправлением ошибок;
- г) *D* — четырехпозиционный код, в котором каждая позиция представляет элемент сигнала (из одного или нескольких бит);

- д) *E* — многопозиционный код, в котором каждая позиция представляет элемент сигнала (из одного или нескольких бит);
 - е) *F* — многопозиционный код, в котором каждая позиция или комбинация позиций представляет знак;
 - ж) *G* — передача звука радиовещательного качества (монофоническая);
 - з) *H* — передача звука радиовещательного качества (стереофоническая или квадрофоническая);
 - и) *J* — передача звука с приемлемым для коммерческой связи качеством (исключая те категории, которые приведены в «к»);
 - к) *K* — передача звука с приемлемым для коммерческой связи качеством при использовании инверсии частот или расщеплении полос частот;
 - л) *L* — передача звука с приемлемым для коммерческой связи качеством при использовании отдельно частотно-модулированных сигналов для управления уровнем демодулированного сигнала;
 - м) *M* — монохромный сигнал;
 - н) *N* — цветной сигнал;
 - о) *W* — сочетание вышеуказанных сигналов;
 - п) *X* — случаи, не предусмотренные в вышеприведенных пунктах.
- Пять символов — характер уплотнения:
- а) *N* — без уплотнения;
 - б) *C* — кодовое уплотнение;
 - в) *F* — частотное уплотнение;
 - г) *T* — временное уплотнение;
 - д) *W* — сочетание частотного и временного уплотнения;
 - е) *X* — другие виды уплотнений.

Основные характеристики являются обязательными в обозначении излучения, а вместо дополнительных, если они не используются, ставятся прочерки.

Примеры:

- радиовещание двухполосное с полной амплитудной модуляцией — 20K0A3E;
- радиосвязь стационарная с частотной модуляцией — 18K0F3E;
- черно-белое телевидение с амплитудной (видео) и частотной (звук) модуляцией — 7M50W8F;
- радиорелейный сигнал — 15MG9D.

4. ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ ИЗ ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ

4.1. Закон Ома

Закон Ома для участка цепи. Величина тока на участке цепи прямо пропорциональна напряжению на концах этой цепи и обратно пропорциональна ее сопротивлению:

$$I = \frac{U}{R}; \quad U = IR; \quad R = \frac{U}{I},$$

где *I* — ток (А);

U — напряжение (В);

R — сопротивление (Ом).

Закон Ома для всей цепи. Величина тока во всякой замкнутой цепи прямо пропорциональна ЭДС источника тока и обратно пропорциональна сопротивлению всей цепи:

$$I = \frac{E}{R + r_0},$$

где *E* — ЭДС (В);

R — сопротивление внешней цепи;

*r*₀ — внутреннее сопротивление источника электрической энергии.

Из этой формулы находим:

$$IR = E - Ir_0 \quad \text{или} \quad U = E - Ir_0.$$

Следовательно, напряжение на зажимах источника тока меньше его ЭДС на величину падения напряжения на внутреннем сопротивлении. При разомкнутой внешней цепи напряжение на зажимах источника тока равно его ЭДС.

Ток в неразветвленной цепи, состоящей из нескольких последовательно соединенных источников тока, определяется по формуле

$$I = \frac{\sum E}{\sum R + \sum r_0}$$

где $\sum E$ — алгебраическая сумма ЭДС;

$\sum R$ — сумма сопротивлений внешней цепи;

$\sum r_0$ — сумма внутренних сопротивлений источников тока.

4.2. Законы Кирхгофа

Первый закон. Сумма токов, приходящих к узловой точке (рис. 4.1), равна сумме токов, уходящих от нее:

$$I_1 + I_2 + I_3 = I_4 + I_5$$

Если условно считать токи, приходящие к узловой точке, положительными, а уходящие — отрицательными, то первый закон Кирхгофа можно сформулировать так: алгебраическая сумма токов, сходящихся в узловой точке, равна нулю:

$$\sum I = 0.$$

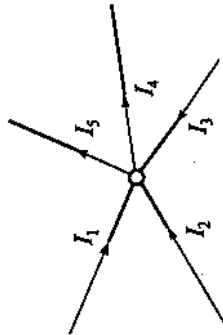


Рис. 4.1. Узловая точка соединения проводников

Второй закон. Во всяком замкнутом контуре алгебраическая сумма ЭДС равна алгебраической сумме падений напряжений:

$$\sum E = \sum IR.$$

При произвольно выбранном обходе контура ЭДС считаются положительными, если их направление совпадает с направлением обхода контура, и отрицательными — если не совпадает. Аналогично падения напряжений считаются положительными, если направление тока в сопротивлении совпадает с направлением обхода контура, и отрицательными — если не совпадает. Так, для контура *abca* (рис. 4.2) при обходе его по часовой стрелке можем записать:

$$E_1 + E_2 - E_3 = I_1 R_1 + I_2 R_2 - I_3 R_3 - I_4 R_4.$$

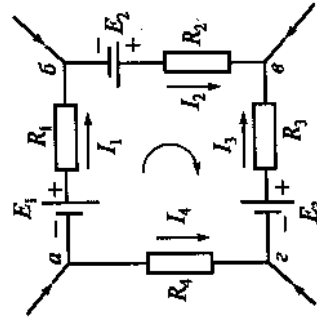


Рис. 4.2. Сложная цепь

4.3. Соединение сопротивлений

Последовательное соединение (рис. 4.3). Величина тока в любой точке цепи одна и та же:

$$I = I_1 = I_2 = I_3.$$

Общее (эквивалентное) сопротивление равно сумме всех последовательно соединенных сопротивлений:

$$R = R_1 + R_2 + R_3.$$

Общее напряжение (падение напряжений) равно сумме напряжений (падений напряжений) на отдельных участках цепи:

$$U = U_1 + U_2 + U_3.$$

Напряжения распределяются прямо пропорционально сопротивлениям:

$$U_1 = IR_1; U_2 = IR_2; U_3 = IR_3,$$

откуда

$$I_1 = \frac{U}{R_1}; I_2 = \frac{U}{R_2}; I_3 = \frac{U}{R_3}.$$

Параллельное соединение. Сумма токов, приходящих к узловой точке, равна сумме токов, уходящих от нее:

$$I = I_1 + I_2 + I_3.$$

Общая проводимость равна сумме проводимостей отдельных ветвей:

$$g = g_1 + g_2 + g_3.$$

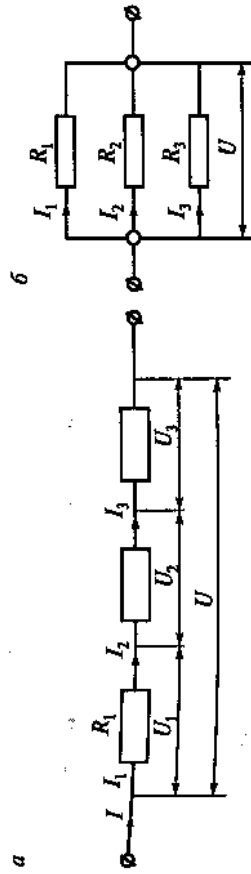


Рис. 4.3. Соединение сопротивлений

Делители напряжений

Схема	Параметр	Формула
	Ненагруженный делитель	$U_2 = U \frac{R_2}{R_1 + R_2}$
	Добавочное сопротивление	$R_1 = \frac{U - U_2}{I}$
	Ненагруженный делитель	$U_2 = U \frac{R}{R_1 + R}$
	Добавочное сопротивление	$R_1 = \frac{U - U_2}{I_2 - I_3}$

4.4. Работа, мощность и тепловое действие тока

Работа тока

$$A = IUt = I^2 R t = \frac{U^2}{R} t.$$

Мощность тока

$$P = UI = I^2 R = \frac{U^2}{R},$$

где A — работа (Дж или Вт·с);
 P — мощность (Вт);
 I — ток (А);
 U — напряжение (В);
 R — сопротивление (Ом).

Общее сопротивление равно обратной величине общей проводимости и меньше наименьшего сопротивления. Общее сопротивление определяется по формулам:

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \text{ или } R = \frac{1}{g},$$

Ток в каждой ветви определяется согласно закону Ома:

$$I_2 = \frac{U_2}{R_2} = Ug_2; \quad I_3 = \frac{U_3}{R_3} = Ug_3.$$

Токи разветвляются прямо пропорционально проводимостям или обратно пропорционально сопротивлениям ветвей:

$$I_1 : I_2 : I_3 = g_1 : g_2 : g_3$$

или

$$I_1 : I_2 : I_3 = \frac{1}{R_1} : \frac{1}{R_2} : \frac{1}{R_3}.$$

Формулы для расчета часто встречающегося параллельного соединения двух сопротивлений приведены в табл. 4.1.

Таблица 4.1

Параллельное соединение двух сопротивлений

R	I_1	I_2
$\frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$	$I \frac{R_2}{R_1 + R_2}$	$I \frac{R_1}{R_1 + R_2}$

Если цепь состоит из n одинаковых параллельно соединенных сопротивлений R , то

$$R = \frac{R_1}{n}$$

Расчет делителей напряжений производится по формулам, приведенным в табл. 4.2.

Мощность, развиваемая источником тока:

$$P = EI = I^2 R + I^2 r_0,$$

где $I^2 R$ — мощность, выделяющаяся во внешней цепи;
 $I^2 r_0$ — потеря мощности внутри источника тока. Максимальная мощность во внешней цепи — при равенстве сопротивлений внешней цепи и внутреннего сопротивления источника тока. Необходимо учитывать, что при этом коэффициент полезного действия равен 50 %.

Для определения величин I , U , R или P (когда заданы две из них) пользуются формулами, приведенными в табл. 4.3.

Таблица 4.3

Формулы для расчета величин I , U , R и P

Вычислить	Задано				
	U и R	P и R	P и U	I и R	P и I
I	$\frac{U}{R}$	$\frac{P}{\sqrt{R}}$	$\frac{P}{U}$	—	—
U	—	\sqrt{RP}	—	IR	$\frac{P}{I}$
R	—	—	$\frac{U^2}{P}$	—	$\frac{P}{I^2}$
P	$U^2 R$	—	—	$I^2 R$	—

Количество тепла, выделяющееся в проводнике при прохождении по нему тока, подсчитывается по формуле

$$Q = 0,24 U I t = 0,24 I^2 R t = 0,24 \frac{U^2}{R} t \text{ кал.}$$

При расчете теплового действия тока пользуются эквивалентом тепла

$$1 \text{ ккал} = 4184 \text{ Дж} = 1,1628 \text{ Вт}\cdot\text{ч} = 4186 \text{ Вт}\cdot\text{с}$$

и тепловым эквивалентом работы

$$1 \text{ ктм} = 2,34 \text{ кал}; 1 \text{ кВт}\cdot\text{ч} = 860 \text{ ккал}; 1 \text{ лс} = 631,5 \text{ ккал.}$$

На тепловом действии тока основана работа нагревательных приборов, ламп накаливания, плавких предохранителей, электросварка, плавление, пайка и т.д.

Количество тепла, выделяющееся на каждом из последовательно соединенных сопротивлений, прямо пропорционально величине этих сопротивлений. Наоборот, при параллельном соединении сопротивлений количество тепла обратно пропорционально величине этих сопротивлений.

4.5. Соединение конденсаторов

Последовательное соединение (рис. 4.4). Общее напряжение равно сумме напряжений на отдельных конденсаторах:

$$U = U_1 + U_2 + U_3.$$

Напряжение распределяется обратно пропорционально емкостям:

$$U_1 : U_2 : U_3 = \frac{1}{C_1} : \frac{1}{C_2} : \frac{1}{C_3}.$$

Общая емкость определяется по формуле:

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}$$

и будет меньше наименьшей емкости конденсаторов данной цепи.

Формулы для расчета последовательного соединения двух конденсаторов приведены в табл. 4.4.

Таблица 4.4

Последовательное соединение двух конденсаторов

Схема	$C_{\text{общ}}$	U_1	U_2
	$\frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}$	$U \frac{C_2}{C_1 + C_2}$	$U \frac{C_1}{C_1 + C_2}$

Параллельное соединение (рис. 4.5). Напряжения на каждом конденсаторе одинаковы, т.е.

$$U_1 = U_2 = U_3 = U.$$

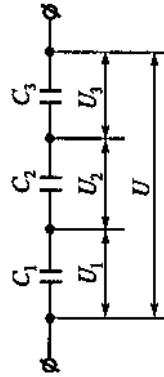


Рис. 4.4. Последовательное соединение конденсаторов

Рис. 4.5. Параллельное соединение конденсаторов

Общая емкость равна сумме емкостей параллельно соединенных конденсаторов:

$$C_{\text{общ}} = C_1 + C_2 + C_3.$$

При параллельном соединении n одинаковой емкости (C_1) конденсаторов общая емкость равна

$$C_{\text{общ}} = C_1 \cdot n,$$

$$1 \text{ Ф} = 10^6 \text{ мкФ}; 1 \text{ мкФ} = 10^6 \text{ пФ (мкмкФ)}; 1 \text{ пФ} = 0,9 \text{ см.}$$

4.6. Индуктивность и взаимоиндуктивность

Индуктивность (коэффициент самоиндукции) численно равна ЭДС самоиндукции (e_L), возникающей в проводнике (контуре) при равномерном изменении тока в нем на 1 А в 1 с:

$$L = \frac{e_L}{\Delta i / \Delta t}.$$

Индуктивность измеряется в следующих единицах:

$$1 \text{ Гн} = 1000 \text{ мГн}; 1 \text{ мГн} = 1000 \text{ мкГн}.$$

Коэффициент взаимоиндукции (M) численно равен ЭДС взаимоиндукции, возникающей в одном контуре при равномерном изменении тока на 1 А в 1 с в другом контуре:

$$M = \frac{e_1}{\Delta i_1 / \Delta t} = \frac{e_2}{\Delta i_2 / \Delta t}.$$

Коэффициент взаимоиндукции измеряется в тех же единицах, что и индуктивность.

Связь через общий магнитный поток называется индуктивной связью, характеризуемой коэффициентом связи k :

$$k = \frac{M}{\sqrt{L_1 L_2}}.$$

Зная коэффициент связи, можно определить коэффициент рассеяния:

$$\sigma = 1 - k^2 = \frac{L_1 L_2 - M^2}{L_1 L_2}.$$

Если катушки находятся на общем замкнутом ферромагнитном сердечнике, то $k \approx 1$; $\sigma \approx 0$.

4.7. Соединение индуктивностей

Общая индуктивность нескольких последовательно или параллельно соединенных индуктивностей при отсутствии, а также при наличии индуктивной связи между ними определяется по формулам, приведенным в табл. 4.5.

Таблица 4.5

Параллельное и последовательное соединение индуктивностей	
Схема соединения	Общая индуктивность
	$L = L_1 + L_2 + L_3$
	$\frac{1}{L} = \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} + \frac{1}{L_3}$
	$L = \frac{L_1 L_2}{L_1 + L_2}$
	$L = L_1 + L_2 \pm 2M^*$
	$L = \frac{L_1 L_2 - M^2}{L_1 + L_2 + 2M}$

*Верхний знак берется при согласованном, нижний — при встречном включении.

4.8. Параметры синусоидального тока

Период T (рис. 4.6) — время, в течение которого периодически изменяющаяся величина проходит все изменения, после чего процесс повторяется. Период измеряется в секундах. Частота — количество периодов в секунду, Гц:

$$f = \frac{1}{T}$$

Частота измеряется в герцах, килогерцах, мегагерцах:

$$1 \text{ МГц} = 1000 \text{ кГц}; 1 \text{ кГц} = 1000 \text{ Гц}$$

Круговая частота — количество периодов за 2π (6,28) секунды, рад/с:

$$\omega = 2\pi f = \frac{2\pi}{T}$$

Длина волны излучения λ определяется по формуле:

$$\lambda = cT = \frac{c}{f}$$

где c — скорость света, равная $3 \cdot 10^8$ км/с.

Взаимозависимость между частотой и длиной волны приведена в табл. 4.6.

Фаза, фазный угол (φ) — угол, определяющий значение периодически изменяющейся величины в данный момент времени.

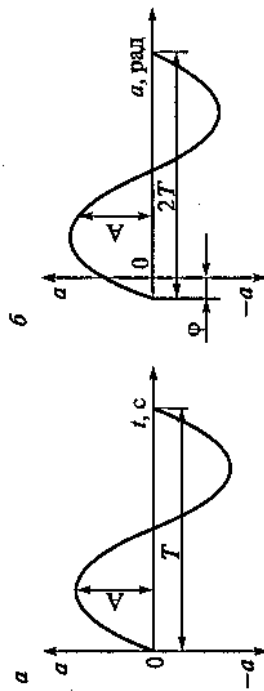


Рис. 4.6. График синусоидального тока: а — с начальной фазой, равной нулю; б — с начальной фазой φ

Таблица 4.6

Взаимозависимость между частотой и длиной волны

Перевод длины волны в частоту	Перевод частоты в длину волны
$f_{[\Gamma\text{ц}]} = \frac{c}{\lambda} = \frac{3 \cdot 10^8}{\lambda_{(\text{м})}} = \frac{3 \cdot 10^5}{\lambda_{(\text{км})}}$	$\lambda_{[\text{м}]} = \frac{c}{f} = \frac{3 \cdot 10^8}{f_{(\text{Гц})}} = \frac{3 \cdot 10^5}{f_{(\text{кГц})}} = \frac{300}{f_{(\text{МГц})}}$
$f_{[\text{кГц}]} = \frac{3 \cdot 10^5}{\lambda_{(\text{м})}}$	$\lambda_{[\text{км}]} = \frac{3 \cdot 10^4}{f_{(\text{МГц})}}$
$f_{[\text{МГц}]} = \frac{300}{\lambda_{(\text{м})}} = \frac{3 \cdot 10^4}{\lambda_{(\text{см})}}$	

Сдвиг фаз — сдвиг по времени достижения положительных или отрицательных максимальных значений двух синусоидальных величин. Угол сдвига фаз (φ) равен разности начальных фаз (рис. 4.7):

$$\varphi = \varphi_1 - \varphi_2$$

Мгновенное значение (a) — периодически изменяющееся значение величины в данный момент времени:

$$a = A_m \sin(\omega t + \varphi)$$

Амплитудное значение (A_m) — наибольшее из мгновенных значений. Действующее (эффективное) значение синусоидальной величины равно

$$A = \frac{A_m}{\sqrt{2}} = 0,707 A_m$$

Среднее за полупериод значение синусоидально изменяющейся величины равно

$$A_{\text{ср}} = \frac{2}{\pi} A_m = 0,637 A_m$$

Формулы для определения амплитудных, мгновенных, действующих и средних значений тока и напряжения приведены в табл. 4.7.

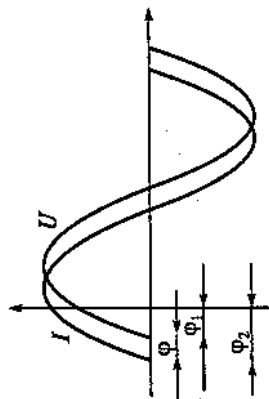


Рис. 4.7. Две синусоидальные величины, сдвинутые по фазе

Таблица 4.7

Зависимости между амплитудными, мгновенными, действующими и средними значениями тока и напряжения

Значение	Ток	Напряжение
Амплитудное	$I_m = \sqrt{2}I = 1,41I$	$U_m = \sqrt{2}U = 1,41U$
Мгновенное	$i = I_m \sin(\omega t + \varphi)$	$u = U_m \sin(\omega t + \varphi)$
Действующее	$I = \frac{I_m}{\sqrt{2}} = 0,707I_m$	$U = \frac{U_m}{\sqrt{2}} = 0,707U_m$
Среднее	$I_{cp} = \frac{2}{\pi}I_m = 0,637I_m$	$U_{cp} = \frac{2}{\pi}U_m = 0,637U_m$

4.9. Сопротивление в цепи переменного тока

Активное сопротивление (рис. 4.8).

Ток:

$$i = I_m \sin(\omega t + \varphi); I_m = \frac{U_m}{r}; I = \frac{U}{r}$$

Напряжение:

$$U = U_m \sin(\omega t + \varphi); U_m = I_m r; U = Ir.$$

Ток и напряжение в цепи с активным сопротивлением совпадают по фазе.

Индуктивность (рис. 4.9).

Если напряжение, приложенное к индуктивности, равно

$$U = U_m \sin(\omega t + \varphi),$$

то ток

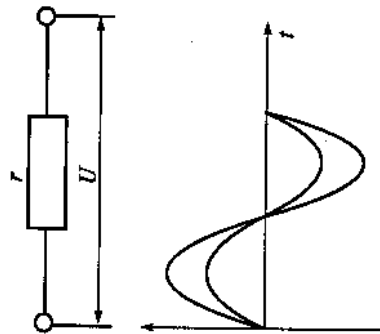
$$i = I_m \sin(\omega t + \varphi - 90^\circ).$$

Следовательно, ток отстает от напряжения по фазе на четверть периода, или на 90° .

Индуктивное сопротивление равно

$$X_L = \omega L = 2\pi fL = \frac{2\pi}{T}L$$

Рис. 4.8. График тока и напряжения в цепи с активным сопротивлением



или

$$X_L = \frac{1880}{\lambda} L,$$

где L , мкГн; X_L , Ом.

Емкость (рис. 4.10).

Если напряжение, приложенное к емкости, равно

$$U = U_m \sin(\omega t + \varphi),$$

то ток будет равен

$$i = I_m \sin(\omega t + \varphi + 90^\circ).$$

Следовательно, ток опережает напряжение по фазе на четверть периода, или на 90° .

Емкостное сопротивление равно

$$X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi C} = \frac{10^6}{2\pi fC} = \frac{10^{12}}{2\pi fC} \text{ или } X_C = \frac{530}{C} \lambda,$$

где λ , м; C , пФ; X_C , Ом.

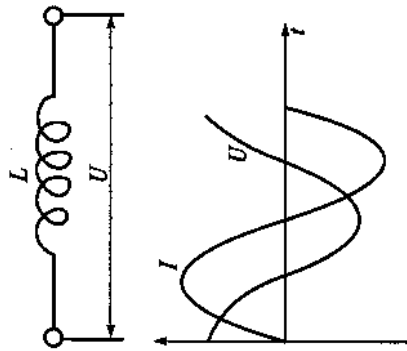


Рис. 4.9. График тока и напряжения в цепи с индуктивностью

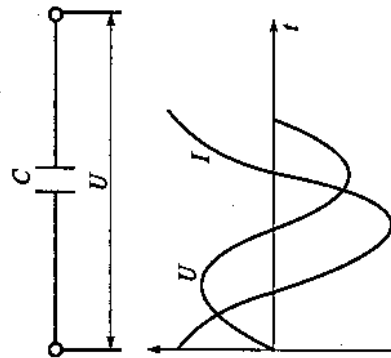


Рис. 4.10. График тока и напряжения в цепи с емкостью

4.10. Последовательное и параллельное соединение активных и реактивных сопротивлений

Значение основных величин, характеризующих работу цепей, состоящих из последовательно или параллельно соединенных активных и реактивных сопротивлений, приведены в табл. 4.8 и 4.9.

4.11. Мощность переменного тока

Мгновенная мощность равна

$$p = UI \text{ (В}\cdot\text{А)}.$$

Активная мощность равна

$$P = I^2 r = UI \cos \varphi = \frac{I_m^2 r}{2} \text{ (Вт)}.$$

Реактивная мощность равна

$$P_p = I^2 X + UI \sin \varphi \text{ (В}\cdot\text{А)}.$$

Кажущаяся мощность равна

$$P_k = I^2 Z = UI = \sqrt{P^2 + P_p^2} \text{ (В}\cdot\text{А)}.$$

Коэффициентом мощности называется косинус угла сдвига фаз между током и напряжением; он равен

$$\cos \varphi = \frac{P}{P_k}.$$

Энергия магнитного поля катушки индуктивности равна

$$W_m = \frac{LI_m^2}{2} = LI^2 \text{ (Дж)},$$

где L , Гн; I , А.

Энергия электрического поля конденсатора равна

$$W_c = \frac{CU^2}{2} = CU^2 \text{ (Дж)},$$

где C , Ф; U , В.

Таблица 4.8

Последовательное и параллельное соединения активных и реактивных сопротивлений

Схема	2	гФ	γ	8	б
	$\sqrt{r^2 + \omega^2 L^2}$	$\frac{r}{\omega L}$	$\frac{\sqrt{r^2 + \omega^2 L^2}}{1}$	$\frac{\sqrt{r^2 + \omega^2 L^2}}{r}$	$\frac{r^2 + \omega^2 L^2}{\omega L}$
	$\sqrt{r^2 + \frac{\omega^2}{L^2}}$	$\frac{r\omega}{1}$	$\frac{\sqrt{r^2 + \omega^2 L^2}}{\omega C}$	$\frac{r\omega^2 C^2}{1 + r^2 \omega^2 C^2}$	$\frac{r^2 + \omega^2 L^2}{\omega L}$
	$\sqrt{r^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}$	$\frac{r}{\omega C - \tau\omega}$	$\frac{\sqrt{r^2 + \omega^2 L^2}}{\omega C}$	$\frac{r\omega^2 C^2}{1 + r^2 \omega^2 C^2}$	$\frac{N}{\omega C(1 - \omega^2 LC)}$

Примечание. $N = (1 - \omega^2 LC)^2 + r^2 \omega^2 C^2$.

4.12. Несинусоидальные токи

Несинусоидальные токи — это токи, форма кривой которых отличается от синусоиды. Математический анализ показывает, что всякая периодическая несинусоидальная кривая в общем случае может быть представлена постоянной составляющей и суммой бесконечного числа синусоидальных и косинусоидальных кривых (гармоник), частоты которых в целое число раз больше основной частоты.

Если несинусоидальная кривая симметрична относительно оси времени (оси абсцисс), то она не содержит постоянной составляющей и гармоник четного порядка. На рис. 4.11, а и б приведены примеры таких кривых, состоящих из основной частоты и гармоник третьего порядка с одинаковыми и разными начальными фазами.

Несинусоидальные токи, которые изменяют только величину, не изменяя направления, называются *пульсирующими*.

Пульсирующий ток, или напряжение (рис. 4.12, а, в), состоит из постоянной составляющей, гармоник основной частоты и нечетных гармоник, а также из постоянной составляющей и гармоник четного порядка (основная частота отсутствует (рис. 4.12, б)).

Активная мощность несинусоидального тока равна сумме активных мощностей его гармоник, т.е.

$$P = P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_n.$$

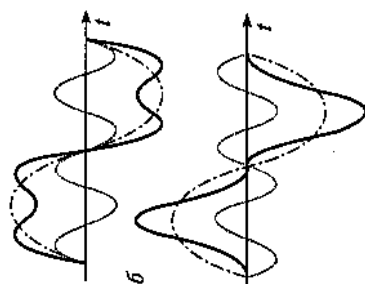


Рис. 4.11. Несинусоидальные кривые, состоящие из основной частоты и гармоники третьего порядка: а — с одинаковыми начальными фазами; б — с разными начальными фазами

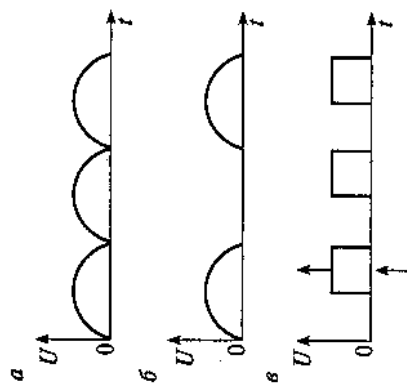


Рис. 4.12. Формы кривых пульсирующих токов

Схема	У	В	З	Г	Д	Е	Ж
	$\frac{r}{\sqrt{r^2 + \omega^2 L^2}}$	$\frac{r}{1}$	$\frac{r}{\omega}$	$\frac{r}{1}$	$\frac{r}{1}$	$\frac{r}{1}$	$\frac{r}{1}$
	$\frac{r}{\sqrt{1 + r^2 \omega^2 C^2}}$	$\frac{r}{1}$	ω	$\frac{r}{1}$	$\frac{r}{1}$	$\frac{r}{1}$	$\frac{r}{1}$
	$\frac{\sqrt{(1 - \omega^2 LC)^2 + r^2 \omega^2 C^2}}{r}$	$\frac{r}{1}$	$\frac{r}{\omega}$	$\frac{r}{1}$	$\frac{r}{1}$	$\frac{r}{1}$	$\frac{r}{1}$
	$\frac{r \omega \sqrt{1 + r^2 \omega^2 C^2}}{\sqrt{r^2 (1 - \omega^2 LC)^2 + r^2 \omega^2 C^2}}$	$\frac{r}{1}$	$\frac{r}{\omega}$	$\frac{r}{1}$	$\frac{r}{1}$	$\frac{r}{1}$	$\frac{r}{1}$
	$\frac{r \omega \sqrt{1 + r^2 \omega^2 C^2}}{\sqrt{r^2 (1 - \omega^2 LC)^2 + r^2 \omega^2 C^2}}$	$\frac{r}{1}$	$\frac{r}{\omega}$	$\frac{r}{1}$	$\frac{r}{1}$	$\frac{r}{1}$	$\frac{r}{1}$
	$\frac{r \omega}{\sqrt{r^2 + \omega^2 L^2}}$	$\frac{r}{1}$	$\frac{r}{\omega}$	$\frac{r}{1}$	$\frac{r}{1}$	$\frac{r}{1}$	$\frac{r}{1}$
	$\frac{r \omega}{\sqrt{r^2 + \omega^2 L^2}}$	$\frac{r}{1}$	$\frac{r}{\omega}$	$\frac{r}{1}$	$\frac{r}{1}$	$\frac{r}{1}$	$\frac{r}{1}$
	$\frac{r \omega}{\sqrt{r^2 + \omega^2 L^2}}$	$\frac{r}{1}$	$\frac{r}{\omega}$	$\frac{r}{1}$	$\frac{r}{1}$	$\frac{r}{1}$	$\frac{r}{1}$

Параллельное и смешанное соединения активных и реактивных сопротивлений

Таблица 4.9

Примечание. $N = \omega L - \omega C (r^2 + \omega^2 L^2)$; $M = 1 - \omega^2 LC r^2 \omega^2 C^2$

5. РЕЗОНАНСНЫЕ ЦЕПИ (КОНТУРЫ)

5.1. Последовательный колебательный контур

Цепь, состоящая из последовательно соединенных индуктивности, емкости и сопротивления и последовательно с ними включенного генератора переменного напряжения (рис. 5.1), называется *последовательным колебательным контуром*. Практически сопротивление r не существует как отдельный элемент колебательного контура. Оно характеризует величину потерь энергии в колебательном контуре и называется сопротивлением потерь. Потери энергии в контуре состоят из потерь энергии в проводе катушки, соединительных проводах, каркасе катушки, экранах, потерь на излучение в окружающее пространство и др.

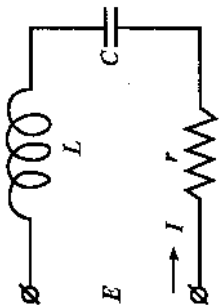


Рис. 5.1. Последовательный колебательный контур

Когда активное сопротивление контура мало, как это обычно и бывает в радиоконтурах, то зависимость тока от частоты приложенного напряжения изображается кривой (рис. 5.2). При некоторой частоте абсолютные значения реактивных сопротивлений емкости и индуктивности становятся равными между собой, а полное сопротивление контура — минимальным и равным активному сопротивлению r . При этом ток в контуре имеет максимальную величину и определяется отношением

$$I = \frac{E}{r},$$

Рис. 5.2. Резонансная кривая одиночного колебательного контура

а напряжения на индуктивности и емкости равны, противоположны по фазе и достигают

ют значительно большей величины, чем ЭДС генератора E . Это явление называется *резонансом*, а частота, при которой происходит резонанс, — *резонансной частотой* контура. Резонанс в последовательном колебательном контуре называется *последовательным резонансом*, или *резонансом на напряжении*.

Резонансная частота может быть определена по формуле

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}},$$

где f_0 — резонансная частота контура (Гц);

L — индуктивность контура (Гн);

C — емкость контура (Ф).

Эта формула может быть представлена в следующих вариантах, удобных для практических расчетов:

$$L_{(\text{мкГн})} C_{(\text{пФ})} = 0,28\lambda^2_{(\text{м})}; \quad f_{(\text{Гц})} = \frac{159}{\sqrt{L_{(\text{Гн})} C_{(\text{мкФ})}}};$$

$$1,88\sqrt{L_{(\text{мкГн})} C_{(\text{пФ})}} = \lambda_{(\text{м})}; \quad f_{(\text{кГц})} = \frac{5033}{\sqrt{L_{(\text{мГн})} C_{(\text{пФ})}}};$$

$$3,55L_{(\text{мкГн})} C_{(\text{пФ})} = \lambda^2_{(\text{м})}; \quad f^2_{(\text{кГц})} = \frac{2,53 \cdot 10^{10}}{L_{(\text{мкГн})} C_{(\text{пФ})}}.$$

5.2. Параллельный колебательный контур

Параллельный колебательный контур отличается от последовательного способом включения источника колебаний (рис. 5.3). На практике чаще встречается параллельный колебательный контур. Ток, отдаваемый генератором, нагруженным на параллельный колебательный контур, равен приложенному к контуру напряжению, деленному на эквивалентное сопротивление контура между точками a и b :

$$I = \frac{U}{Z_{\text{э}}}$$

Токи в ветвях равны приложенному напряжению, деленному на сопротивление соответствующих ветвей, т.е.

$$I_L = \frac{U}{Z_L}; \quad I_C = \frac{U}{Z_C}$$

На рис. 5.4 показаны зависимости эквивалентного сопротивления и токов от частоты для параллельного колебательного контура. На низких частотах ток в индуктивной ветви имеет большее значение, чем ток в емкостной ветви, а эквивалентное сопротивление мало и носит индуктивный характер. На высоких частотах большее значение принимает ток в емкостной ветви, а эквивалентное сопротивление контура мало и имеет емкостной характер. Между этими крайними случаями имеется частота, называемая *резонансной*, при которой реактивные сопротивления ветвей равны, а эквивалентное сопротивление контура имеет максимальное значение и активный характер. Напряжения на контуре между точками *a* и *b* и ток в контуре в этом случае также принимают максимальные значения. Резонанс в параллельном колебательном контуре называется *параллельным резонансом*, или *резонансом токов*.

Эквивалентное сопротивление параллельного колебательного контура при резонансе может быть выражено следующими соотношениями:

$$Z_0 = \frac{(\omega_0 L)^2}{r} = \frac{L}{Cr}$$

где $r = r_L + r_C$ — суммарное активное сопротивление контура.

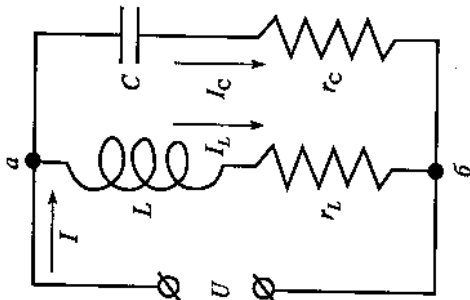


Рис. 5.3. Схема параллельного колебательного контура

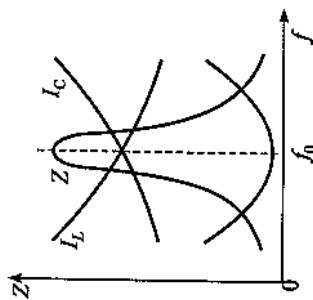


Рис. 5.4. Зависимости токов и полного сопротивления от частоты

5.3. Резонансная кривая последовательного контура. Избирательность

Зависимость тока в контуре от частоты подводимого напряжения называется *резонансной кривой*. Резонансная кривая может быть представлена следующим уравнением:

$$y = \frac{I}{I_0} = \frac{1}{\sqrt{1+x^2}}$$

где I — ток в контуре при резонансе;
 I_0 — ток при расстройке;
 x — обобщенная относительная расстройка:

$$x = Q \left(\frac{f}{f_0} - \frac{f_0}{f} \right) \approx \frac{2(f-f_0)}{f_0} Q = \frac{2\Delta f}{f_0} Q$$

Здесь f_0 — резонансная частота контура;

$f-f_0$ — абсолютная расстройка относительно частоты, действующей на контур ЭДС;

$Q = \frac{\omega_0 L}{r}$ — добротность контура.

Добротность контура (Q) является одним из важнейших параметров колебательного контура. Она характеризует остроту резонанса. Из уравнения резонансной кривой и рис. 5.5 видно, что чем больше Q , тем острее резонансная кривая, так как при больших Q даже небольшая расстройка вызывает значительное уменьшение тока в контуре по сравнению с резонансным. Величина, обратная добротности, $d = 1/Q$, называется *затуханием контура*.

Полосой пропускания контура принято называть спектр частот, находящихся в пределах, ограниченных значениями токов $I = 0,707 I_0$ (рис. 5.6):

$$\Delta f = 2\Delta f_1 \frac{f_0}{Q}$$

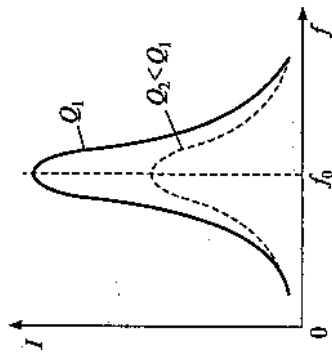


Рис. 5.5. Резонансные кривые одиночного колебательного контура при разных Q

Относительной полосой пропускания называется отношение абсолютной полосы пропускания к резонансной частоте, т.е.

$$\frac{\Delta F}{f_0} = \frac{1}{Q} = d.$$

Избирательностью, или селективностью, при заданной расстройке называют обычно величину, показывающую, во сколько раз помеха, отстоящая по частоте от резонанса на эту расстройку, усиливается слабее сигнала, совпадающего по частоте с резонансной кривой (см. рис. 5.6). Для расстройки Δf_2 помеха ослабляется в d раз.

Для быстрых расчетов удобно пользоваться графиками (рис. 5.7). При расчетах нужно учитывать пунтирующие действие лампы, сопротивление лампы, сопротивление антенны, сопротивление контура

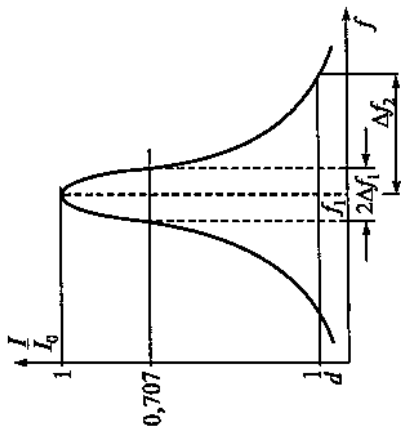


Рис. 5.6. Определение полосы пропускания

лющего по частоте с резонансной. Избирательность колебательного контура можно определить по резонансной кривой (см. рис. 5.6). Для расстройки Δf_2 помеха ослабляется в d раз.

Для быстрых расчетов удобно пользоваться графиками (рис. 5.7). При расчетах нужно учитывать пунтирующие действие лампы, сопротивление лампы, сопротивление антенны, сопротивление контура

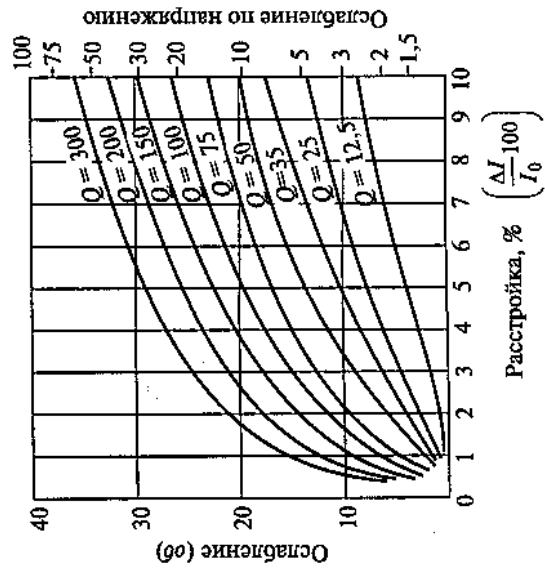


Рис. 5.7. Избирательность одиночного колебательного контура

5.4. Связанные колебательные контуры

Колебательные контуры, размещенные или соединенные так, что колебательная энергия из одного из них может передаваться в другие, называются *связанными контурами*.

Степень связи характеризуется коэффициентом связи $k_{св}$, который может иметь значения от 0 до 1 или от 0 до 100%. В радиопередатчиках, содержащих связанные контуры, $k_{св}$ имеет обычно величину от долей процента до нескольких процентов, изредка до нескольких десятков процентов. Коэффициент связи, равный 100%, практически не встречается.

Контур, получающий энергию от генератора, называется *первичным контуром*, получающий энергию от первичного контура, называется *вторичным*.

Вторичный контур оказывает обратное воздействие на первичный, уменьшая в нем ток. Можно сказать, что вторичный контур вносит в первичный некоторое дополнительное сопротивление, называемое *вносимым сопротивлением*. Когда вторичный контур настроен в резонанс с частотой генератора, то он вносит в первичный контур только активное сопротивление, которое тем больше, чем сильнее связь. Величина этого вносимого сопротивления характеризуется переходом некоторого количества энергии из первичного контура во вторичный. А когда вторичный контур не настроен точно в резонанс на частоту генератора, то он вносит в первичный контур не только активное, но и некоторое реактивное сопротивление, индуктивное или емкостное, в зависимости от того, в какую сторону расстроен вторичный контур. Таким образом, вторичный контур, будучи сам расстроен, нарушает также настройку первичного контура.

Если два контура, связанные друг с другом, настроены на одну и ту же частоту, то поведение такой системы очень сильно зависит от коэффициента связи (рис. 5.8). Если коэффициент связи мал, то зависимость первичного тока от частоты (рис. 5.8, а) приближается к резонансной кривой первичного контура, рассматриваемого отдельно. Вторичный ток при этом мал и изменяется с частотой по кривой (рис. 5.8, б), представляющей собой приблизительно произведение резонансных кривых первичного и вторичного контуров, взятых в отдельности. При увеличении коэффициента связи кривая первичного тока становится шире и его максимальное значение уменьшается. В то же время вторичный ток возрастает и острота кривой вторичного тока уменьшается.

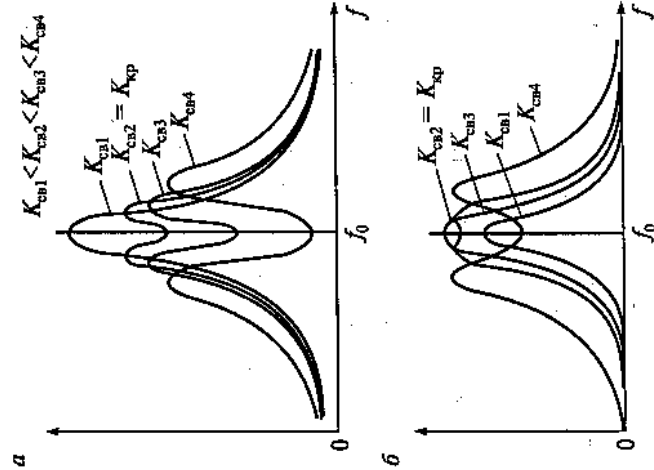


Рис. 5.8. Зависимости токов в связанных контурах от частоты при различных связях

двинуты дальше друг от друга. В то же время появляются два максимума и на кривой вторичного тока, которые с увеличением связи также становятся более резко выраженными и отодвигаются дальше друг от друга. Если добротности контуров не равны, то двугорбость в кривой вторичного контура появляется при связи, несколько большей критической.

Связи между контурами бывают нескольких видов (рис. 5.9). Наиболее часто встречается индуктивная, или трансформаторная, связь (рис. 5.9, а), которая образуется с помощью взаимной индукции между катушками контуров.

Емкостная связь осуществляется с помощью конденсатора связи. При нулевой емкости связи (рис. 5.9, б) увеличение емкости $C_{св}$ приводит к уменьшению коэффициента связи, при внешнеемкостной связи (рис. 5.9, в) — к его увеличению.

При автотрансформаторной связи (рис. 5.9, г) контуры имеют общую катушку.

Иногда применяются схемы с двумя видами связи между контурами, главным образом индуктивной и емкостной. На рис. 5.10 показана индуктивно-емкостная связь в двух вариантах: с внешней емкостной связью (схема а), с внутренней емкостной связью (схема б).

Коэффициент связи между контурами можно подсчитать по следующим формулам: для индуктивной связи

$$k_{св} = \frac{M}{\sqrt{L_1 L_2}}$$

$$k_{св} = \sqrt{\frac{C_1 C_2}{(C_1 + C_{св})(C_2 + C_{св})}}$$

для внешнеемкостной связи

$$k_{св} = \frac{C_{св}}{C_1 C_{св}}$$

для автотрансформаторной связи

$$k_{св} = \frac{M}{\sqrt{(L_1 + M)(L_2 + M)}}$$

В случае комбинированной связи общий коэффициент связи равен алгебраической сумме коэффициентов связи для каждого вида:

$$k_{св} = k_{св1} + k_{св2}$$

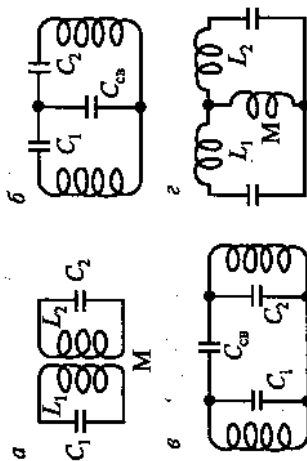


Рис. 5.9. Связи между контурами: а — индуктивная; б — внешнеемкостная; в — внутреннеемкостная; г — автотрансформаторная

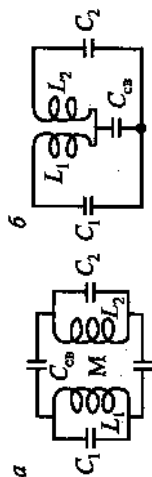


Рис. 5.10. Схемы комбинированной связи между контурами

6. ЭЛЕКТРОРАДИОМАТЕРИАЛЫ

6.1. Удельное сопротивление и температурный коэффициент сопротивления

Сопротивление R провода длиной l (м) и сечением S (мм²) вычисляется по формуле:

$$R = \rho \frac{l}{S}, \text{ Ом или } R = 1,25 \rho \frac{l}{d^2}, \text{ Ом,}$$

где d — диаметр провода (мм).

Величина ρ называется удельным сопротивлением проводника и представляет собой сопротивление провода длиной 1 м, имеющего постоянное по длине поперечное сечение в 1 мм².

Величины удельных сопротивлений для некоторых часто применяемых материалов приведены в табл. 6.1.

Таблица 6.1
Удельное сопротивление и температурный коэффициент сопротивления проводников

Материал	Удельное сопротивление при 20 °С (Ом · мм ² /м)	Температурный коэффициент α при 20 °С
Алюминий	0,028	0,0049
Вольфрам	0,055	0,0045
Латунь	0,025...0,06	0,002...0,007
Медь	0,0175	0,0039
Молибден	0,057	0,0033
Никель	0,100	0,0050
Олово	0,115	0,0042
Ртуть	0,958	0,0009
Свинец	0,221	0,0041
Серебро	0,016	0,0038
Сталь	0,098	0,0062
Тантал	0,155	0,0031
Уголь	0,33...1,85	±0,0006
Хром	0,027	—
Цинк	0,059	0,0035

Примечание. Приведенные в таблице величины являются средними. Действительные же величины зависят от степени чистоты, термообработки и т.п.

Сопротивление проводника зависит от температуры. Сопротивление провода при температуре T определяется по формуле:

$$R_T = R_{20} [1 + \alpha (T - 20^\circ)],$$

где R_T — сопротивление при заданной температуре;

R_{20} — сопротивление при 20 °С;

T — заданная температура (в градусах Цельсия);

α — температурный коэффициент сопротивления (см. табл. 6.1).

6.2. Ток плавления проводов

Для тонких (0,02...0,2 мм) проволочек расплавляющий ток равен

$$I_{\text{плав}} = \frac{d - 0,005}{k},$$

где $I_{\text{плав}}$ — расплавляющий ток (А);

d — диаметр проводника (мм);

k — постоянный коэффициент, зависящий от материала проводника:

для серебра — 0,031; никелина — 0,06;

меди — 0,034; константана — 0,07;

латуни — 0,05; железа — 0,127.

Для более толстых проводников ток плавления можно рассчитать по формуле

$$I_{\text{плав}} = \alpha \sqrt{d^3},$$

где $I_{\text{плав}}$ — А; d , мм.

Коэффициент, зависящий от материала, равен:

для меди — 80,0; железа — 24,6;

алюминия — 59,2; олова — 12,8;

никелина — 40,8; свинца — 10,8.

6.3. Монтажные провода

Для монтажа радиодеталей и радиокомпонентов, узлов и блоков радиоэлектронной аппаратуры, монтажа электрических аппаратов и приборов применяются монтажные провода различного конструктивного исполнения (табл. 6.2--6.9). Токопроводящими жилами монтажных про-

водов служат луженые медные проволоки различного сечения, допускающие соединения пайкой низкотемпературными припоями.

Многожильные гибкие провода обеспечивают гибкость монтажа и надежную защиту от внешних воздействий. Материалом изоляции служат стеклянные и капроновые нити, ленты из триацетатной пленки, применяемые в диапазоне температур $-60...+105^{\circ}\text{C}$, поливинилхлоридная и полиэтиленовая изоляция с дополнительной защитной оболочкой из капрона, стойкая к влаге, маслу и грибковой плесени. Для повышения механической прочности к медным жилам добавляют стальные луженые проволоки.

В условных обозначениях монтажных проводов используют буквы, соответствующие конструктивным особенностям и характеристикам изоляции:

М — монтажный провод; Л — лакированный;
 Г — многопроволочная жила (отсутствует); С — обмотка и оплетка из стекловолокна;
 этой буквы указывает на то, что Д — двойная обмотка;
 жила однопроволочная); О — оплетка из полиамидного шелка;
 Ш — изоляция из полиамидного шелка; У — усиленный стальной проволокой;
 Ц — изоляция пленочная; Э — экранированный; если буква Э
 В — поливинилхлоридная изоляция; стоит за буквой М, то провод эмальро-
 ваный;
 П — изоляция из полистилена;

Таблица 6.2

Марка и основные характеристики

Марка провода	Характеристика монтажного провода и изоляции	Сечение проводящей жилы, мм ²	Номинальное напряжение, В	Интервал рабочих температур, °С	
				4	5
МГВ	Многопроволочный, с поливинилхлоридной изоляцией	0,1...1,0	220	-40...+70	
МГВЭ	Многопроволочный, с поливинилхлоридной изоляцией, экранированный	0,75...1,0	220	-40...+70	
МГСП	Многопроволочный, с обмоткой из стеклянных нитей в сплошной изоляции из полистилена	0,2...1,5	220	-60...+70	
МГСПЭ	Многопроволочный, с обмоткой из стеклянных нитей в сплошной изоляции из полистилена с гибким проволочным экраном	0,2...1,5	220	-60...+70	

Продолжение табл. 6.2

1	2	3	4	5
МГСЛ	Многопроволочный, в обмотке и оплетке из стекловолокна, лакированный	0,2...1,5	127	-60...+105
МГСЛЭ	Многопроволочный, в обмотке и оплетке из стекловолокна, лакированный, экранированный	0,2...1,5	127	-60...+105
МГСТ	Многопроволочный, в обмотке из стекловолокна, покрытый кремнийорганическим лаком	0,35...1,5	220	-60...+200
МГТЛ	Многопроволочный, изолированный обмоткой и оплеткой из лавсанового волокна, лакированный	0,12...0,2	250	-60...+150
МГТЛЭ	Многопроволочный, изолированный обмоткой и оплеткой из лавсанового волокна, лакированный, экранированный	0,35...1,5	250	-60...+150
МГТФ	Многопроволочный, изолированный обмоткой из фторопластового волокна	0,07...0,14	250	-60...+220
МГТФЭ	Многопроволочный, изолированный обмоткой из фторопластового волокна, экранированный	0,07...0,2	250	-60...+220
МГЦСЛ	Многопроволочный, с плетеной изоляцией, в обмотке и оплетке из стекловолокна, лакированный	0,35...4,0	220	-60...+70
МГЦСЛЭ	Многопроволочный, с плетеной изоляцией, в обмотке и оплетке из стекловолокна, лакированный, экранированный	0,35...4,0	220	-60...+70
МГШ	Многопроволочный, изолированный одним слоем оплетки из искусственного шелка	0,05...0,1	24	-60...+105
МГШВ	Многопроволочный, изолированный двойной обмоткой из искусственного шелка и полихлорвинилом	0,14...0,35	500	-50...+70
МГШВЭ	Многопроволочный, изолированный двойной обмоткой из искусственного шелка и полихлорвинилом, экранированный	2-0,35...2-0,7 3-0,35...3-0,75	500	-50...+70

Продолжение табл. 6.2

1	2	3	4	5
МГШВЭЛ	Многопроволочный, изолированный двойной обмоткой из искусственного шелка и полихлорвинилом, экранированный лакированным	0,5	1000	-60...+90
МГШВЭВ	Многопроволочный, изолированный обмоткой из триацетатного шелка в сплошной изоляции из поливинилхлоридного пластика, экранированный	0,5	1000	-60...+90
МГШД	Многопроволочный, изолированный двумя слоями оплетки из искусственного шелка	0,05...0,5	60	-60...+90
МГШДЛ	Многопроволочный, изолированный двумя слоями оплетки из искусственного шелка, лакированный	0,05...0,5	250	-60...+105
МГШДО	Многопроволочный, изолированный двойной обмоткой и оплеткой из искусственного шелка	0,05...2,5	127	-60...+105
МГШДОП	Многопроволочный, изолированный двойной обмоткой и оплеткой из искусственного шелка с подклеенной оплеткой из полиамидного шелка	0,05...2,5	127	-60...+105
МГШП	Многопроволочный, изолированный двойной обмоткой из искусственного шелка и полихлорвинилом, гибкий	0,14...0,35	500	-50...+105
МГШПЭ	Многопроволочный, изолированный обмоткой из шелка и полистиролом, экранированный	2-0,35...2-1,0 3-1,0...3-0,5	500	-60...+105
МГШПЭВ	Многопроволочный, изолированный обмоткой из шелка и полистиролом, экранированный, изолированный пленочной изоляцией, с плечевой обмоткой и подклеенной оплеткой из полиамидного шелка	0,12...0,35	500	-60...+105
МГШПШ	Многопроволочный, с плечевой изоляцией, с двойной обмоткой и подклеенной оплеткой из полиамидного шелка	0,05...2,5	100	-60...+90
МКШМУ	Многопроволочный, с капроновой оплеткой, полиэтиленовой изоляцией, усиленный стальной жилой	0,05...2,5	100	-60...+90

Продолжение табл. 6.2

1	2	3	4	5
МКШМУЭ	Многопроволочный, с капроновой оплеткой, полиэтиленовой изоляцией, усиленный стальной жилой, экранированный	0,05...2,5	100	-60...+90
МОГ	Многопроволочный, изолированный обмоткой из х/б пряжи, лентами из лакошелка, обмоткой и оплеткой из шелка и капрона	0,3...0,5	1000	-50...+60
МПКМ	Многопроволочный, со сплошной полиэтиленовой изоляцией и дополнительной защитной капроновой оболочкой	0,12...1,5	1000	-50...+60
МПКМЭ	Многопроволочный, со сплошной полиэтиленовой изоляцией и дополнительной защитной капроновой оболочкой, экранированный	0,12...1,5	1000	-50...+60
МПКМ	Многопроволочный со сплошной полиэтиленовой изоляцией	0,12...1,5	250	-50...+70
МПКМЭ	Многопроволочный со сплошной полиэтиленовой изоляцией, экранированный	0,12...0,5	250	-50...+70
МПКМУ	Многопроволочный со сплошной полиэтиленовой изоляцией, усиленный луженой стальной жилой	0,2...0,5	250	-50...+70
МПКМУЭ	Многопроволочный, со сплошной полиэтиленовой изоляцией, усиленный луженой стальной жилой, экранированный	0,2...0,5	250	-50...+70
МШВ	Однопроволочный, с обмоткой из триацетатного шелка в сплошной изоляции из поливинилхлоридного пластика	0,08...1,5	1000	-50...+70
МШП	Однопроволочный, изолированный двойной обмоткой шелка в сплошной изоляции из полистирола	0,08...1,5	1000	-50...+70
МШДЛ	Однопроволочный, с двойной обмоткой из полиамидного шелка, лакированный	0,1...0,75	220	-60...+105
МЭШДЛ	Однопроволочный, эмальированный с двойной обмоткой из полиамидного шелка, лакированный	0,1...0,75	220	-60...+105

Продолжение табл. 6.2

1	2	3	4	5
ПВ-500	Однопроволочный, с гибкой изоляцией из поливинилхлоридного пластика, стойкого к влаге, маслам и грибковой плесени	0,08...2,5	500	-50...+70
ПВ-1000	Однопроволочный, с гибкой изоляцией из поливинилхлоридного пластика, стойкого к влаге, маслам и грибковой плесени	0,08...2,5	1000	-50...+70
ПВЭ-500	С одной, двумя или тремя изолированными медными жилами с гибкой изоляцией из поливинилхлоридного пластика, стойкого к влаге, маслам и грибковой плесени, экранированный	0,08...2,5	500	-50...+70
ПВЭ-1000	С одной, двумя или тремя изолированными медными жилами, с гибкой изоляцией из поливинилхлоридного пластика, стойкого к влаге, маслам и грибковой плесени, экранированный	0,08...2,5	1000	-50...+70
ПВК-500	Однопроволочный, с гибкой изоляцией из поливинилхлоридного пластика и с защитной оболочкой из капрона, стойкий к влаге, маслам и грибковой плесени	0,08...2,5	500	-50...+70
ПВК-1000	Однопроволочный, с гибкой изоляцией из поливинилхлоридного пластика и с защитной оболочкой из капрона, стойкий к влаге, маслам и грибковой плесени	0,08...2,5	1000	-50...+70
ПВКЭ-500	С одной, двумя или тремя изолированными медными жилами с гибкой изоляцией из поливинилхлоридного пластика с защитной оболочкой из капрона, стойкий к влаге, маслам и грибковой плесени	0,08...2,5	500	-50...+70
ПВКЭ-1000	С одной, двумя или тремя изолированными медными жилами с гибкой изоляцией из поливинилхлоридного пластика с защитной оболочкой из капрона, стойкий к влаге, маслам и грибковой плесени	0,08...2,5	1000	-50...+70

Окончание табл. 6.2

1	2	3	4	5
ПВКЭ-1000	С одной, двумя или тремя изолированными медными жилами с гибкой изоляцией из поливинилхлоридного пластика с защитной оболочкой из капрона, стойкий к влаге, маслам и грибковой плесени, экранированный	0,08...2,5	1000	-50...+70
ПП-500	Однопроволочный, с гибкой полиэтиленовой изоляцией, стойкий к влаге, маслам и грибковой плесени	0,08...2,5	500	-50...+70
ППЭ-500	С одной, двумя или тремя изолированными медными жилами с гибкой полиэтиленовой изоляцией, стойкий к влаге, маслам и грибковой плесени, экранированный	0,08...2,5	500	-50...+70
ППК-500	Однопроволочный, с гибкой полиэтиленовой изоляцией и с защитной оболочкой из капрона, стойкий к влаге, маслам и грибковой плесени	0,08...2,5	500	-50...+70
ППКЭ-500	С одной, двумя или тремя изолированными медными жилами с гибкой полиэтиленовой изоляцией, с защитной оболочкой из капрона, стойкий к влаге, маслам и грибковой плесени, экранированный	0,08...2,5	500	-50...+70
ПМВ	Однопроволочный, изолированный полихлорвинилом	0,2...0,75	380	-60...+70
ПМВГ	Многопроволочный, изолированный обмоткой из ж/б пражки, стекловолокна и полихлорвинилом	0,2...0,75	250	-50...+100
ПМВЭ	Однопроволочный, изолированный полиэтиленом, экранированный	0,1...0,2	500	-60...+70
ПАШ	Однопроволочный, изолированный полиэтиленом	0,2...0,5	380	-60...+70
ПМОВ	Однопроволочный, изолированный обмоткой из ж/б пражки, стекловолокна и полихлорвинилом	0,2...0,75	380	-60...+70

Таблица 6.3

Марка и основные характеристики

Марка кабеля	Характеристика монтажного кабеля и изоляции	Сечение проводящих жил, мм ²	Номинальное напряжение, В	Интервал рабочих температур, °С
МКШ	Монтажный многожильный кабель с изоляцией жил и общей оболочкой из поливинилхлоридного пластика	0,35...0,75	500	-40...+60
МКШЭ	Монтажный многожильный кабель с изоляцией жил и общей оболочкой из поливинилхлоридного пластика, экранированный	0,35...0,75	500	-40...+60
МКШП	Монтажный многожильный кабель с изоляцией жил из полиэтилена и общей оболочкой из поливинилхлоридного пластика	0,35...0,75	500	-40...+60
МКШЭП	Монтажный многожильный кабель с изоляцией жил из полиэтилена и общей оболочкой из поливинилхлоридного пластика, экранированный	0,35...0,75	500	-40...+60

Таблица 6.4

Монтажные провода с волокнисто-пластмассовой изоляцией

Число жил и их сечение, мм ²	Наружный диаметр проводов (не более), мм					
	МШВ, МШП	МГШВ, МГШП	МГСП	МГШВЭ, МГШПЭ	МГСПЭ	МГШВЭВ
1 × 0,08	—	—	—	—	—	—
1 × 0,12	—	1,3	1,45	1,9	—	2,9
1 × 0,14	—	1,4	—	2	—	3
1 × 0,2	1,6	1,6	1,8	2,2	2,4	—
1 × 0,35	1,9	1,9	2	2,5	2,6	3,5
1 × 0,5	2	2,2	2,1	2,8	—	—
1 × 0,75	2,3	2,5	2,4	3,3	3	—
1 × 1	2,6	2,8	—	—	—	—
1 × 1,5	2,7	3	—	—	—	—
2 × 0,35	—	—	—	4,6	4,6	—
2,5	—	—	—	5,2	—	—
2 × 0,75	—	—	—	5,8	—	—
3 × 0,35	—	—	—	4,9	4,9	—
3 × 0,5	—	—	—	5,4	5,1	—
3 × 0,75	—	—	—	6,8	—	—

Таблица 6.5

Многожильные монтажные провода

Сечение жилы, мм	Число и диаметр проволок в жиле	Толщина изоляции (не менее), мм	Наружный диаметр проводов (не более), мм		
			МПМ	МПМЭ	МПКМЭ
0,12	7 × 0,15	0,2	1	1,5	1,2
0,2	7 × 0,2	0,2	1,15	1,7	1,35
0,35	7 × 0,26	0,2	1,4	1,9	1,6
0,5	19 × 0,18	0,2	1,5	2	1,7
0,75	19 × 0,23	0,25	1,9	2,4	2,1
1	19 × 0,26	0,25	2,1	2,6	2,3
1,5	19 × 0,32	0,25	2,4	2,9	2,6

Таблица 6.6

Многожильные монтажные провода, усиленные стальной проволокой

Сечение жилы, мм	Число и диаметр проволок в жиле	Толщина изоляции (не менее), мм	Наружный диаметр проводов (не более), мм						
			МПМУ	МПМУЭ	МКПМУ	МКПМУЭ	МПКМУ	МПКМУЭ	
0,12	6 × 0,15	0,2	1	1,5	1,2	1,7	—	—	—
0,2	6 × 0,2	0,2	1,15	1,7	1,35	1,9	—	—	—
0,35	6 × 0,25	0,2	1,4	1,9	1,6	2,1	—	—	—

Таблица 6.7

Монтажные провода на напряжение 500 В

Сечение жилы, мм	Наружные диаметры проводов (не более), мм												
	ПВ-500, ПП-500	ПВЭ-500, ППЭ-500			ПВК-500, ППК-500			ПВКЭ-500, ППКЭ-500					
		Число жил	1	2	3	Число жил	1	2	3	Число жил	1	2	3
0,08	1,2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
0,12	1,3	1,8	3,2	3,4	1,6	2,1	3,8	4,1	—	—	—	—	—
0,2	1,5	2	3,6	3,8	1,8	2,3	4,2	4,1	—	—	—	—	—
0,35	1,6	2,2	3,8	4,1	1,9	2,5	4,4	4,7	—	—	—	—	—
0,5	1,8	2,3	4,2	4,5	2,1	2,7	4,8	5,1	—	—	—	—	—
0,75	2,1	2,7	4,8	5,1	2,3	2,9	5,2	5,6	—	—	—	—	—
1	2,2	2,8	5	5,3	2,4	3	5,4	5,8	—	—	—	—	—
1,5	2,5	3,1	—	—	2,8	3,4	—	—	—	—	—	—	—
2,5	3,2	3,8	—	—	3,4	4	—	—	—	—	—	—	—

6.4. Установочные провода

Для силовых и осветительных сетей применяются как медные, так и алюминиевые установочные провода, которые имеют резиновую, поливинилхлоридную или полиэтиленовую изоляцию (табл. 6.10, 6.11).

Провода с резиновой изоляцией применяются в диапазоне температур $-50...+50$ °С, провода с пластмассовой изоляцией — с относительной влажностью 98 % при 20 и 40 °С.

В условных обозначениях марки провода используются буквы, обозначающие материал токоведущей жилы, материал изоляции и конструктивное исполнение провода.

Обычно первая буква обозначает материал токоведущей жилы (А — алюминий). Отсутствие в марке провода буквы А означает, что токоведущая жила из меди.

Вторая буква П обозначает провод (для медного провода это первая буква).

Третья буква (для медного провода — вторая буква) обозначает материал изоляции:

Р — резина;

В — полихлорвинил или поливинилхлорид;

П — полиэтилен.

В обозначении проводов могут быть буквы, характеризующие элементы конструктивного выполнения:

Г — гибкий;

П — плоский с разделительным основанием;

О — оплетка;

С — без разделительного основания;

Т — для прокладки в трубах.

Для электропроводки в сухих помещениях используются как медные, так и алюминиевые провода в зависимости от величины потребляемого тока. При этом следует знать, что провода с медными жилами допускают в 1,5 раза большую плотность тока, чем алюминиевые, да и механическая прочность медных проводов в 2–3 раза выше алюминиевых, они не «текут» в контактных зажимах и более устойчивы к коррозии.

Выбор сечения жилы провода определяется длительным значением максимального тока, нагревающего изоляцию, и механическими нагрузками на провод, в том числе в контактных зажимах оконечных устройств электропроводки.

Таблица 6.8

Монтажные провода на напряжение 1000 В

Сечение жилы, мм	Наружные диаметры проводов (не более), мм								
	ПВ-1000		ПВЭ-1000			ПВК-1000		ПВКЭ-1000	
	Число жил		Число жил			Число жил		Число жил	
0,08	1,4	—	—	—	—	—	—	—	—
0,12	1,5	2	3,6	3,8	1,8	—	—	—	—
0,2	1,7	2,2	4	4,3	1,9	—	—	—	—
0,35	1,8	2,4	4,2	4,5	2,1	—	—	—	—
0,5	2	2,5	4,6	4,9	2,2	—	—	—	—
0,75	2,3	2,9	5,2	5,6	2,5	—	—	—	—
1	2,4	3	5,4	5,8	2,6	—	—	—	—
1,5	2,7	3,3	—	—	3	—	—	—	—
2,5	3,4	4	—	—	3,6	—	—	—	—

Таблица 6.9

Монтажные кабели

Число жил и их сечение, мм ²	Наружный диаметр кабелей (не более), мм					
	МКШ	МКШЭ	МКШШ	МКШШЭ	МКШШЭ	МКШШЭ
2 × 0,35	6,7	7,5	6,1	—	—	6,9
3 × 0,35	6,9	7,7	6,4	—	—	7,2
5 × 0,35	8,2	9,0	7,6	—	—	8,4
7 × 0,35	8,8	9,6	8,2	—	—	9
10 × 0,35	11,6	12,4	10,8	—	—	11,6
14 × 0,35	12,4	13,2	11,6	—	—	12,4
2 × 0,5	7	7,8	6,6	—	—	7,4
3 × 0,5	7,2	8	6,7	—	—	7,5
5 × 0,5	8,5	9,5	8	—	—	8,8
7 × 0,5	9,2	10	8,6	—	—	9,1
10 × 0,5	12,2	13	11,4	—	—	12,2
14 × 0,5	13,1	13	12,2	—	—	13
2 × 0,75	7,5	8,3	7,1	—	—	7,9
3 × 0,75	7,7	8,5	7,3	—	—	8,1
5 × 0,75	9,2	10	8,7	—	—	9,5
7 × 0,75	10	10,8	9,4	—	—	10,2
10 × 0,75	13,2	14	12,4	—	—	13,2
14 × 0,75	14,2	15	13,3	—	—	14,1

Таблица 6.10
Марка и основные характеристики установочных проводов

1	2	3	4
Марка провода	Площадь сечения жилы, мм ²	Материал токопроводящей жилы и характеристика изоляции	Назначение провода и область применения
		<i>Провода с резиновой изоляцией</i>	
ПР	0,75...100	Провод с медной однопроволочной жилой с резиновой изоляцией в пропитанной х/б оплетке, не распространяющей горение	Для неподвижной прокладки внутри и вне помещений в сетях с напряжением 660 В или до 3000 В (ПР-3000)
ПРВ	1...10	Провод с медной однопроволочной жилой с резиновой изоляцией в оболочке из полихлоридного пластика	Для неподвижной прокладки внутри и вне помещений в сетях с напряжением 660 В или до 3000 В (ПРВ-3000) в помещениях с повышенной влажностью
ПРГ	0,75...240	Провод с медной многопроволочной жилой с резиновой изоляцией в пропитанной хлопчатобумажной оплетке, не распространяющей горение	Для неподвижной прокладки внутри и вне помещений в сетях с напряжением 660 В или до 3000 В (ПРГ-3000)
ПРТВ	1...6	Провод с медной многопроволочной жилой с резиновой изоляцией и в оболочке из поливинилхлоридного пластика	Для неподвижной прокладки внутри и вне помещений (на роликах и изоляторах)
ПРГЛ	0,75...70	Провод с медной многопроволочной жилой с резиновой изоляцией и в оплетке из хлопчатобумажной пряжи, покрытой лаком	Для прокладки во вторичных цепях, где требуется гибкость провода с напряжением 660 и до 1000 В в зависимости от толщины изоляции
ПРД	0,75...6	Провод двужильный, витой, каждая многопроволочная жила изолирована резиновой и оплеткой из хлопчатобумажной пряжи	Для прокладки на роликах и в сухих помещениях в установках с переменным напряжением до 380 В
ПРДШ	0,75...6	Провод двужильный, витой, каждая многопроволочная жила изолирована резиновой и в оплетке из лавсанового шелка	Для прокладки на роликах и в сухих помещениях в установках с переменным напряжением до 380 В

Продолжение табл. 6.10

1	2	3	4
		<i>Провода с резиновой изоляцией</i>	
ПРЛ	0,75...6	Провод с медной однопроволочной жилой с резиновой изоляцией и в оплетке из хлопчатобумажной пряжи, покрытой лаком	Для прокладки во вторичных цепях с напряжением 660 и до 1000 В в зависимости от толщины изоляции
ПРП	1...95	Провод с одной, двумя или тремя медными многопроволочными жилами с резиновой изоляцией в общем гибком панцире из оцинкованных стальных провололок	Для неподвижной прокладки в устройствах, требующих экранировки и механической защиты, с напряжением 660 и 1000 В
ПРРП	1...95	Провод с одной, двумя или тремя медными многопроволочными жилами с резиновой изоляцией в общем гибком панцире из оцинкованных стальных провололок в общем резиновом панцире	Для неподвижной прокладки в устройствах, требующих экранировки и механической защиты, с напряжением 660 и 1000 В в тяжелых условиях эксплуатации
ПРТО	2,5...120	Провод, состоящий из одной или нескольких многопроволочных медных жил с резиновой изоляцией в общей пропитанной хлопчатобумажной оплетке	Для неподвижной прокладки в металлических трубах и рукавах в устройствах с напряжением 660 и 2000 В
ПРФ	1...10	Провод с одной, двумя или тремя медными многопроволочными жилами с резиновой изоляцией в обмотке из прорезиненной ткани в общей тонкостенной фальцованной металлической оболочке	Для неподвижной прокладки в устройствах, требующих экранировки и механической защиты, с напряжением 660 и 1000 В, в случае защиты от легких механических повреждений
АПРП	2,5...10	Провод с алюминиевой жилой и резиновой изоляцией, в пропитанной хлопчатобумажной оплетке, не распространяющей горение	Для неподвижной прокладки внутри и вне помещений (на роликах и изоляторах)
АПР	2,5...120	Провод с алюминиевой жилой и резиновой изоляцией, в оплетке из хлопчатобумажной пряжи, пропитанной противогнилостным составом	Для неподвижной прокладки внутри и вне помещений

1	2	3	4
<i>Провода с резиновой изоляцией</i>			
АПРВ	2,5...10	Провод с алюминиевой жилой и резиновой изоляцией, с наружной оболочкой из поливинилхлоридного пластика	Для неподвижной прокладки внутри и вне помещений (на роликах и изоляторах)
АПРН	2,5...120	Провод с алюминиевой жилой и резиновой изоляцией, с наружной оболочкой из резины, не распространяющей горение	Для неподвижной прокладки внутри и вне помещений
АПРТО	2,5...120	Провод, состоящий из одной или нескольких многопроволочных алюминиевых жил с резиновой изоляцией в общей пропитанной ж/б оплетке	Для неподвижной прокладки в металлических трубах и рукавах в устройствах с напряжением 660 и 2000 В
<i>Провода с пластмассовой изоляцией</i>			
ПВ	0,5...95	Провод с медной однопроволочной жилой в гибкой изоляции из поливинилхлоридного пластика	Для прокладки в трубах и каналах нестареющих строительных конструкций и неподвижной прокладки в силовых и осветительных сетях 380, 660 В в зависимости от толщины изоляции
ПВЭ	0,5...95	Провод с медной многопроволочной жилой в гибкой изоляции из поливинилхлоридного пластика, экранированный	Для прокладки в трубах и каналах нестареющих строительных конструкций и неподвижной прокладки в силовых и осветительных сетях 380, 660 В в зависимости от толщины изоляции
ПГВ	0,5...95	Провод с медной многопроволочной жилой в гибкой изоляции из поливинилхлоридного пластика	Для прокладки вторичных цепей и для соединений в скрытой и открытой проводке
АПВ	2,5...120	Провод с алюминиевой однопроволочной жилой в поливинилхлоридной изоляции	Для неподвижной прокладки в силовых и осветительных сетях 380, 660 В в зависимости от толщины изоляции
ПП	0,5...95	Провод с медной однопроволочной жилой в полнетиленовой изоляции	Для неподвижной прокладки в силовых и осветительных сетях 380 В

1	2	3	4
<i>Провода с пластмассовой изоляцией</i>			
АПП	2,5...120	Провод с алюминиевой однопроволочной жилой в полнетиленовой изоляции	Для неподвижной прокладки в силовых и осветительных сетях
ППВ	0,75...4	Провод плоский с двумя или тремя медными однопроволочными жилами, расположенными параллельно, в поливинилхлоридной изоляции	Для неподвижной прокладки в силовых и осветительных сетях
АППВ	2,5...6	Провод плоский с двумя или тремя алюминиевыми однопроволочными жилами, расположенными параллельно, в поливинилхлоридной изоляции	Для неподвижной прокладки в силовых и осветительных сетях
ППП	0,75...4	Провод плоский с двумя или тремя медными однопроволочными жилами, расположенными параллельно, в полнетиленовой изоляции	Для неподвижной прокладки в силовых и осветительных сетях
АППП	2,5...6	Провод плоский с двумя или тремя алюминиевыми однопроволочными жилами, расположенными параллельно, в полнетиленовой изоляции с разделительным основанием	Для неподвижной прокладки в силовых и осветительных сетях
ППВС	0,75...4	Провод с двумя однопроволочными медными жилами, расположенными параллельно в поливинилхлоридной изоляции без разделительного основания	Для неподвижной скрытой проводки под штукатурку, а также в трубах и каналах нестареющих строительных конструкций
АППВС	2,5...6	Провод с двумя однопроволочными алюминиевыми жилами, расположенными параллельно, в поливинилхлоридной изоляции без разделительного основания	Для неподвижной скрытой проводки под штукатурку, а также в трубах и каналах нестареющих строительных конструкций
ПППС	0,75...4	Провод плоский с двумя или тремя медными однопроволочными жилами, расположенными параллельно, в полнетиленовой изоляции без разделительного основания	Для неподвижной скрытой проводки под штукатурку, а также в трубах и каналах нестареющих строительных конструкций
АПППС	2,5...6	Провод плоский с двумя или тремя алюминиевыми однопроволочными жилами, расположенными параллельно, в полнетиленовой изоляции без разделительного основания	Для неподвижной скрытой проводки под штукатурку, а также в трубах и каналах нестареющих строительных конструкций

Таблица 6.11

Длительно допустимая величина тока для проводов с резиновой или поливинилхлоридной изоляцией с медными и алюминиевыми жилами

Площадь сечения жилы, мм ²	Допустимая величина тока, А							
	Провода, проложенные в одной трубе		Провода, проложенные в одной трубе		Провода, проложенные в одной трубе		Провода, проложенные в одной трубе	
			Два одножильных	Три одножильных	Два одножильных	Три одножильных	Четыре одножильных	Четыре одножильных
	Медь	Алюминий	Медь	Алюминий	Медь	Алюминий	Медь	Алюминий
1,0	17	—	16	—	15	—	14	—
1,5	22	18	20	16	19	15	19	15
2,0	26	21	24	19	22	18	22	15
2,5	30	24	27	20	25	19	25	19
3,0	33	27	30	25	27	24	27	24
4,0	41	32	38	28	35	28	30	23
6,0	50	39	46	36	42	32	40	30
10	80	55	70	50	60	47	50	39
16	100	75	85	60	80	60	75	55
25	140	105	115	85	100	80	90	70

При комнатной температуре 25 °С допустимый перегрев изоляции не должен быть больше 40...45 °С. Для относительно малых токов сечение жил определяется механической прочностью проводника, особенно в винтовых контактных зажимах. Исходя из этого, сечение медной жилы не должно быть меньше 1 мм, а алюминиевой — 2 мм.

6.5. Высокочастотные коаксиальные кабели

Входящий в комплект поставки коаксиальный кабель не всегда пригоден для использования в качестве фидера стационарных радиостанций из-за значительного погонного затухания. В тех случаях, когда требуется обеспечить большую дальность связи, необходимо снизить затухание в фидере, соединяющем радиостанцию с антенной.

В табл. 6.12 перечислены коаксиальные кабели, рекомендуемые к применению, и указаны их постоянные затухания.

Подключение к аппаратуре (приемопередатчики и антенны) кабелей РК50-13-51 и РК50-17-51 следует выполнять с применением переходных отрезков из гибких кабелей, которые входят в комплектацию радиостанций. Соединение кабелей должно выполняться тщательно пай-

Таблица 6.12

Коаксиальные кабели и их постоянные затухания

Тип кабеля	Затухание, дБ/м, на частотах, МГц		Тип кабеля	Затухание, дБ/м, на частотах, МГц	
	160	330		160	330
РК75-4-11	0,13	—	РК75-9-13	0,07	—
РК75-4-15	0,13	—	РК50-4-13	0,15	0,23
РК75-4-12	0,15	—	РК50-7-15	0,1	0,14
РК75-4-16	0,15	—	РК50-7-11	0,1	0,14
РК75-7-11	0,09	—	РК50-9-11	0,07	0,1
РК75-7-12	0,09	—	РК50-9-12	0,07	0,1
РК75-7-15	0,09	—	РК50-13-51	0,03	0,05
РК75-7-16	0,09	—	РК50-17-5L	0,02	0,028
РК75-9-12	0,08	—			

кой (из-за отсутствия специальных разъемов) и с принятием мер, направленных на предотвращение попадания в место соединения влаги и пыли.

7. ИЗОЛИРУЮЩИЕ МАТЕРИАЛЫ

Материалы	Диэлектрическая проницаемость	tg угла диэлектрических потерь		Пробивная напряженность электрического поля, мм ²	Теплостойкость, град	Удельный вес, г-см ³
		при f = 50 Гц	при f = 1 МГц			
1	2	3	4	5	6	7
Асбест (ВЛ)	—	0,7	—	2	400	2,3...2,6
Бакелит (СС)	4...4,6	5,10 ⁻² ...12,10 ⁻²	—	10...40	—	1,2
Береза сухая	3...4	—	2,10 ⁻²	40...60	—	0,7
Битум	2,6...3,3	0,005	—	6...15	18...190	1,2
Бумага кабельная	4...4,8	35,10 ⁻²	—	—	—	—
Волокнит (П)	—	—	—	2	110	1,4
Воск пчелиный (В)	2,8...2,9	3,10 ⁻⁴	—	20...35	—	0,96
Гетинакс (СП)	5...6,5	2,10 ⁻²	3,10 ⁻² ...4,10 ⁻²	10...30	150	1,3
Галовакс (В)	4,5...5,5	4,10 ⁻³ ...10 ⁻²	4,10 ⁻² ...10 ⁻²	10	88...135	1,5...1,6
Гуттаперча	4	0,008	—	15	30	0,95
Капитель (НС)	3,5	14,10 ⁻³	—	—	—	1,1
Карболит (П)	—	3,10 ⁻² ...6,10 ⁻²	—	10...14,5	—	1,2...1,3
Кварц плавленый (С)	4,1...4,4	—	1,10 ⁻⁴ ...2,10 ⁻⁴	20...30	1600	2,2
Керамит (ТК)	7,5	—	7,10 ⁻⁴ ...18,10 ⁻⁴	20	1200	3,2
Лакоткань черная	2,8...3	0,16	0,19	20...24	105	—
Лакоткань светлая	4,7...7,7	7,10 ⁻²	9,10 ⁻²	—	105	—
Микалекс (КН)	8...10	5,10 ⁻³ ...10 ⁻⁶	2,10 ⁻³	15...20	400	2,6...3,5
Мрамор (М)	8...10	0,005...0,1	—	6...10	70...100	2,7
Озокерит (В)	2,3	0,02	—	25	58...98	0,9...1,0
Парафин (В)	2,2...2,3	5,10 ⁻⁴	0,0005	20...30	45...54	0,4...0,9

1	2	3	4	5	6	7
Плексиглас	3,0...3,6	0,02	6,10 ⁻²	18,5	60	1,2
Полистирол (П)	2,2...2,6	0,0003	2,10 ⁻⁴ ...4,10 ⁻³	25...50	70...90	1,05
Полихлорвинил	3,1...3,5	0,02	—	50	—	1,38
Радиостеатит (ТК)	6,0	0,0006	8,10 ⁻⁴ ...10 ⁻⁴	20	—	2,7
Радиофарфор (К)	6,0	0,009	2,7,10 ⁻⁴ ...4,10 ⁻³	15...20	1 200	2,5...2,6
Резина мягкая	2,6...3	5,10 ⁻³ ...3,10 ⁻²	—	15...25	50	1,7...2
Слюда мусковит (М)	4,5...8	10 ⁻⁴ ...10 ⁻³	10 ⁻⁴ ...10 ⁻³	50...200	400	2,8...3,2
Слюда флогопит (М)	4...5,5	5,10 ⁻³ ...10 ⁻⁴	10 ⁻³ ...5,10 ⁻³	60...125	800	2,5...5,7
Стеатит (К)	5,5...6,5	0,0006	15,10 ⁻⁴ ...2,10 ⁻³	20...30	1 400	2,6...2,8
Стекло (С)	4...10	10 ⁻³ ...5,10 ⁻⁴	10 ⁻³ ...10 ⁻⁴	20...30	500...1700	2,2...4,0
Текстолит	7	0,02	0,08	2...8	120	1,3...1,4
Тиконд (К)	25...80	0,0003	10 ⁻³ ...2,10 ⁻³	15...20	1200	3,8...3,9
Ультрафарфор (К)	6,3...7,5	0,002	0,0006	15...30	1400	2,6...2,9
Фарфор электро-технический	6,5	—	4,5,10 ⁻³ ...10 ⁻²	20	1200	2,4
Фибра сухая	2,5...8	0,02	6,10 ⁻² ...7,10 ⁻²	2...6	100	1,1...1,9,4
Целлулоид	3...4	25,10 ⁻³	5,10 ⁻² ...6,10 ⁻²	30	40	—
Церезин (В)	2,2	4,10 ⁻⁴ ...15,10 ⁻⁴	4,10 ⁻⁴ ...10 ⁻³	30...35	65...80	0,96
Шелк натуральный	4...5	—	10 ⁻² ...2,10 ⁻²	—	100	—
Шеллак (СН)	3,5	1	—	50	80	1,02
Шифер (М)	6...7	0,7	—	5...14	200...300	2,6...2,9
Эбонит (КП)	4...4,5	—	10 ⁻² ...15,10 ⁻³	25	60	1,3
Пресс-шпан	3...4	0,02	2,10 ⁻² ...3,10 ⁻²	9...12	100	0,9...1,1
Эмаль стекловидная (С)	4...7	—	—	20...12	300	2,0...2,7
Эскалоп (П)	2,7...3	—	6,10 ⁻³ ...10 ⁻³	36	130	—

Примечание. Буквы в скобках обозначают: В — воскообразный, ВЛ — волокнистый, К — керамический, П — пластмасса, КН — комбинированный неорганический, КП — каучуковая пластмасса, С — стеклообразный, М — минеральный, СН — смола натуральная, СС — смола синтетическая, СП — слоистая пластмасса, ТК — талькомагнезальная керамика.

8. ПРИПОИ

Припой — это сплав металла, предназначенный для соединения в качестве связующего материала радиодеталей, радиокомпонентов и проводов в радиоэлектронной аппаратуре и изделий из различных металлов и сплавов. В расплавленном состоянии припой должен иметь хорошую текучесть и обладать хорошей смачиваемостью соединяемых поверхностей, обеспечить надежное соединение паяных поверхностей с высокой механической прочностью и низкое переходное сопротивление.

В зависимости от состава компонентов, входящих в припой, они разделяются на легкоплавкие (мягкие) и тугоплавкие (твердые) припои (табл. 8.1, 8.2). Мягкие припои имеют температуру плавления от 60 до 500 °С. К ним относятся оловянно-свинцовые сплавы в чистом виде, а также припои с присадками сурьмы, кадмия; сплавы олова с цинком, кадмием, висмутом; сплавы цинка с алюминием.

Твердые припои имеют температуру плавления свыше 500 °С, к ним относятся медно-цинковые и медно-серебряные сплавы, сплавы алюминия с кремнием.

Припои с содержанием олова менее 15 % (сплав Вуда) применяют для пайки деталей, где не требуется большой механической прочности.

Оловянно-свинцовые припои ПОС-40, ПОССу-40-05, ПОС-61, ПОССу-61-05 по ГОСТ 21931—76, ПОСК-50-18 по ГОСТ 21930—76 применяются для пайки резисторов и конденсаторов.

Оловянно-свинцовые припои с большим содержанием висмута (50...57 %) имеют хорошую текучесть в расплавленном состоянии, заполняют тонкие швы в спаиваемых металлах, но имеют низкую механическую прочность и достаточно хрупки.

Медно-цинковые и медно-фосфорные припои, применяемые для пайки деталей из меди, латуни, бронзы и стали, имеют высокую хрупкость и не выдерживают ударных нагрузок и вибраций.

Припои на основе медно-серебряных сплавов (ПСр-45, ПСр-50, ПСр-65, ПСр-70) с малым удельным электрическим сопротивлением широко применяются для пайки токоведущих частей, пайки черных и цветных металлов, образуя прочные коррозионно-стойкие паяные швы.

Припои на алюминиевой основе с добавками меди, кремния и олова (34-А, 35-А) обеспечивают повышенную механическую прочность и стойкость к атмосферной коррозии.

Удельное электрическое сопротивление швов ($\text{Ом}\cdot\text{мм}^2/\text{м}$), образующих припоями, лежит в диапазоне:

оловянно-свинцовые припои 0,12...0,189;
медно-цинковые припои 0,03...0,07;
серебряные припои 0,02...0,038.

Таблица 8.1

Марки, состав и назначение мягких припоев

Марка припоя	Состав, % по массе	Температура плавления, °С	Назначение и соединяемые материалы
1	2	3	4
ПОССу-61-0,5	Олово 60...62 Сурьма 0,5 Свинец 39,5...37,5	189	Для пайки и лужения токоведущих частей и обмоток электрических машин и получения герметичных швов
ПОССу-40-2	Олово 39...41 Сурьма 2 Свинец 59...57	229	Для пайки и лужения токоведущих частей и обмоток электрических машин и получения герметичных швов
ПОССу-40-0,5	Олово 39...41 Сурьма 0,5 Свинец 60,5...58,5	235	Для пайки и лужения токоведущих частей и обмоток электрических машин и получения герметичных швов
ПОССу-30-0,5	Олово 29...31 Сурьма 0,5 Свинец 70,5...68,5	255	Для пайки и лужения токоведущих частей и тонких герметичных швов
ПОССр-15	Олово 15 Цинк 6 Свинец 83,15 Серебро 1,25	276	Для пайки и лужения деталей из цинка и оцинкованной стали
ПОС-10	Олово 9...10 Свинец 91...90	299	Для пайки и лужения токоведущих частей из меди, латуни, бронзы
ПОС-40	Олово 39...41 Свинец 61...59	238	Для пайки и лужения токоведущих частей из меди, латуни, бронзы
ПОС-61	Олово 60...61 Свинец 40...39	190	Для пайки и лужения токоведущих частей из меди, латуни, бронзы и герметичных швов
ПОС-6Ш	Олово 60...61 Медь 1,52 Свинец остальное	192	Для пайки и лужения токоведущих частей из меди, латуни, бронзы и герметичных швов

Марки, состав и назначение твердых припоев

Марка припоя	Состав, % по массе	Температура плавления, °С	Назначение и соединяемые материалы
1	2	3	4
ПСр-72	Серебро 72 Медь 28	779	Для пайки и лужения контактов и токопроводов из меди, латуни, бронзы и других металлов, кроме алюминиевых и магниевых сплавов. Швы обладают большой механической прочностью
ПСр-70	Серебро 70 Медь 26 Цинк 4	755	Для пайки и лужения контактов и токопроводов из меди, латуни, бронзы и других металлов, кроме алюминиевых и магниевых сплавов. Швы обладают большой механической прочностью, большой стойкостью к коррозии
ПСр-71Ф	Медь 28 Серебро 71 Фосфор 1	795	Для пайки узких и глубоких зазоров (без флюса). Обеспечивает высокую механическую прочность
ПСр-65	Серебро 65 Медь 20 Цинк 15	740	Для пайки и лужения деталей из серебра, платины и вольфрама. Швы обладают высокой проводимостью
ПСр-50	Серебро 50 Медь 50	850	Для пайки и лужения деталей из серебра, платины и вольфрама. Швы обладают высокой проводимостью
ПСр-45	Серебро 45 Медь 30 Цинк 25	725	Для пайки и лужения деталей из стали, меди, бронзы, никеля, серебра. Швы обладают повышенной механической прочностью и стойкостью к коррозии
ПСр-25	Серебро 45 Медь 40 Цинк 35	800	Для пайки и лужения деталей из хромистых нержавеющей сталей. Швы обладают повышенной механической прочностью
ПСр-12	Серебро 12 Медь 36 Цинк 52	825	Для пайки и лужения деталей из латуни с содержанием меди 58 %

Окончание табл. 8.1

1	2	3	4
ПОС-90	Олово 90 Свинец 10	220	Для пайки и лужения пищевой посуды и медицинских инструментов с образованием коррозионноустойчивых швов и покрытий
ПОСК-50-18	Олово 49...51 Кадмий 17...19 Свинец остальное	145	Для пайки и лужения легкоплавких металлов и сплавов и полужения герметичных швов
ПОСВ33	Олово 33,4 Свинец 33,3 Висмут 33,3	130	Для пайки и лужения обмоток электрических машин и изделий из меди, латуни, константана и герметичности швов
ПОСВ32-15-53	Олово 32 Висмут 53 Свинец 15	96	Для пайки и лужения легкоплавких металлов и сплавов и полужения герметичных швов
ЛЗОО	Цинк 60 Кадмий 40	300	Для пайки деталей из алюминия и алюминиевых сплавов
ПК60Ц40	Цинк 40 Кадмий 60	310	Для пайки деталей из алюминия и алюминиевых сплавов
АВИА-2	Олово 40 Кадмий 20 Цинк 25 Алюминий 15	250	Для пайки деталей из алюминия и алюминиевых сплавов
АВИА-1	Олово 55 Кадмий 20 Цинк 25	200	Для пайки деталей из алюминия и алюминиевых сплавов, но при более низкой температуре
ЛП70А	Олово 80 Серебро 1 Кадмий 12,5	175	Для пайки и лужения тоководущих частей и соединительной алюминия с медью
А*	Медь 1,5 Олово 40 Цинк 58,5	425	Для пайки и лужения алюминиевых проводов
В*	Медь 8 Алюминий 12 Цинк 80	410	Для пайки и лужения алюминиевых проводов
Кадмиевый*	Кадмий 24 Олово 36 Цинк 40	300	Для пайки и лужения алюминиевых проводов малого диаметра
Сплав Вуда	Олово 12,5 Свинец 25 Висмут 50 Кадмий 12,5	60,5	Для пайки и лужения тоководущих частей и деталей, чувствительных к перегреву, и когда требуется очень низкая температура плавления припоя

*Флюс при пайке не применяется. Места пайки тщательно зачищаются.

1	2	3	4
ПСр-10	Серебро	830	Для пайки и лужения деталей из латуни с содержанием меди 58 %
	Медь		
	Цинк		
ПСр-44Кл	Медь	800	Для пайки узких и глубоких зазоров (с флюсом). Обеспечивает высокую механическую прочность
	Серебро		
	Кадмий		
ПМЦ-36	Медь	825	Для пайки и лужения деталей из стали, меди, бронзы. Недостатком является хрупкость швов
	Цинк		
ПМЦ-47	Медь	850	Для пайки и лужения деталей из латуни с содержанием меди 60...68 %
	Цинк		
ПМЦ-48	Медь	865	Для пайки и лужения деталей из стали, меди, бронзы. Недостатком является хрупкость швов
	Цинк		
ПМЦ-54	Медь	880	Для пайки и лужения деталей из стали, меди, бронзы. Недостатком является хрупкость швов
	Цинк		
Л63	Медь	905	Для пайки и лужения деталей из стали, меди, бронзы. Недостатком является хрупкость швов
	Цинк		
ЛОК-62-06-04	Медь	905	Для пайки и лужения деталей из стали, меди, бронзы. Преимущество в большой механической прочности паяных швов
	Цинк		
	Олово		
	Кремний		
34-А	Алюминий	525	Для пайки и лужения изделий из алюминия и его сплавов. Места пайки обладают повышенной механической прочностью
	Медь		
	Кремний		
35-А	Алюминий	540	Для пайки и лужения изделий из алюминия и его сплавов. Места пайки обладают повышенной механической прочностью
	Медь		
	Кремний		
ВЭИ	Серебро	500	Для пайки и лужения деталей из латуни и луженого железа
	Олово		
	Цинк		
МФ-1	Фосфор	800	Для пайки и лужения деталей из стали, меди, бронзы
	Медь		

9. ФЛЮСЫ

Флюсы предназначены для очистки поверхностей при пайке металлов или сплавов от окислов, предохранения их от окисления при пайке и для снижения поверхностного натяжения расплавленного припоя.

Флюсы представляют собой как твердые вещества (канифоль), порошкообразные вещества (бура, борная кислота), так и жидкости или пасты (спиртовый раствор канифоли, водный раствор хлористого цинка).

При пайке радиодеталей и монтажных проводов, деталей из меди, латуни и бронзы припоями на оловянно-свинцовой основе используют бескислотные и активированные флюсы на основе канифоли, которые не вызывают коррозии паяных швов. В частности, для пайки конденсаторов припоями ПОС-40, ПОС-61, ПОССу-61-05, ПОСК-50-18 в соответствии с указаниями по их применению и эксплуатации используют бескислотные флюсы КЭ, ГК и ЛТИ-120. Однако, учитывая, что флюсы на основе канифоли (раствор канифоли в этиловом спирте) являются слабоактивными, эта особенность требует хорошей зачистки мест пайки перед нанесением канифольного флюса и последующей промывки ацетоном или спиртом после пайки.

Антикоррозийные флюсы не вызывают коррозии после пайки.

Активные флюсы (кислотные) интенсивно растворяют оксидные пленки на поверхности металлов и сплавов. Для пайки радиодеталей и монтажных проводов активные флюсы применять нельзя.

Для пайки алюминия, легко окисляющегося на воздухе, применяют особо активные флюсы, способные растворять плотную пленку оксидов на алюминии. К таким флюсам относятся: состав из хлористого лития, фтористого натрия, хлористого цинка и хлористого калия.

Для твердых припоев применяют буру или смеси ее с борной кислотой и другими солями.

Во избежание коррозии паяных твердыми припоями швов остатки флюса должны быть удалены растворителями или промывкой швов горячей водой с помощью волосяной щетки.

9.1 Флюсы для пайки мягкими припоями

Таблица 9.1

Бескислотные и активированные флюсы

Флюс	Компоненты, входящие в состав флюса, %	Слаиваемые металлы и сплавы	Очистка и промывка
КЭ	Канифоль светлая (эфирные смоляные кислоты)	Для пайки проводниковых изделий из меди и ее сплавов, во время электромонтажных работ мягкими легкоплавкими припоями	Промывка мест пайки спиртом или ацетоном 797
	Канифоль — 10...40 Спирт этиловый — 90...60	Для пайки проводниковых изделий из меди и ее сплавов, во время электромонтажных работ мягкими легкоплавкими припоями. Удобен в труднодоступных местах	Промывка мест пайки спиртом или ацетоном 797
ЛТИ-1	Канифоль — 22 Анилин соляно-кислый — 6 Триэтанолламин — 2 Спирт этиловый — 70	Для пайки токоведущих частей и большинства металлов и сплавов (медь и ее сплавы, нержавеющая сталь, цинк, никром, никель, серебро)	Промывать не обязательно
ЛТИ-120	Канифоль — 25 Диэтиламин соляно-кислый — 5 Триэтанолламин — 1 Спирт этиловый — 69	Для пайки большинства металлов и сплавов (сталь, нержавеющая сталь, никель, серебро)	Промывать не обязательно

Таблица 9.2

Антикоррозийные флюсы

Флюс	Компоненты, входящие в состав флюса, %	Назначение флюсов, рекомендации по их применению	Очистка и промывка
1	2	3	4
ВТС	Вазелин — 63 Триэтанолламин — 6,5 Силициловая кислота — 6,3 Спирт этиловый — 21,2	Для пайки проводниковых изделий из меди, константана, серебра, платины и ее сплавов. Достигается высокая чистота пайки	Промывать место пайки спиртом или ацетоном
КС	Канифоль — 24 Стеарин — 1 Спирт этиловый — 75	Для пайки меди, константана, серебра, платины и черных металлов. Хорошо очищает поверхности соединяемых материалов	Промывать место пайки ацетоном
ФИМ	Ортофосфорная кислота — 16 Спирт этиловый — 3,7 Вода дистиллированная — 80,3	Для пайки меди, константана, серебра, платины и черных металлов. Хорошо очищает поверхности соединяемых материалов	Промывать место пайки ацетоном

1	2	3	4
ФА	Солянокислый анилин — 1,75 Глицерин — 1,5 Канифоль — остальное Для уменьшения вязкости добавляют уайтспирит	Для пайки меди, константана, серебра, платины, ее сплавов и черных металлов. Хорошо очищает поверхности соединяемых материалов. В большинстве случаев может заменить флюсы ВТС и ФИМ	Промывать место пайки спиртом или ацетоном
	ФВ-3	Натрий фтористый — 8 Цинк хлористый — 16 Литий хлористый — 36 Калий хлористый — 40	Для спайки изделий из алюминия и его сплавов цинковыми и алюминийсодержащими припоями
ФТКА	Фтороборат кадмия — 10 Фтороборат аммония — 8 Триэтанолламин — 82	Для пайки меди, алюминия и алюминийсодержащих сплавов, медных проводов с алюминийсодержащими припоями	Промывать место пайки ацетоном
АФ-44	Калий хлористый — 50 Натрий хлористый — 28 Литий хлористый — 14 Натрий фтористый — 8 Триэтанолламин — 82	Для электроконтактной пайки проводниковых изделий из алюминия и его сплавов (припоями АВИА-1 и АВИА-2)	Промывать место пайки и швы ацетоном

Таблица 9.3

Активные флюсы

Флюс	Компоненты, входящие в состав флюса, %	Назначение флюсов, рекомендации по их применению	Очистка и промывка
КЭЦ	Канифоль — 24 Хлористый цинк — 1 Спирт этиловый — 75	При пайке большинства изделий из цветных и драгоценных металлов, а также ответственных деталей из черных металлов	Промывка мест пайки ацетоном
ФП	Канифоль — 16 Хлористый цинк — 4 Вазелин — 80	При пайке большинства цветных и драгоценных металлов, а также ответственных деталей из черных металлов. Обеспечивает повышенную прочность соединения	Промывка мест пайки ацетоном
ЦСК	Хлористый цинк — 25...30 Соляная кислота — 0,6 Вода — 74,4...69,4	При пайке деталей и узлов из черных и цветных металлов	Тщательная промывка водой с помощью волосяной щетки

9.2. Флюсы для пайки твердыми припоями

Таблица 9.4

Флюсы и компоненты, входящие в него, %	Сплавляемые металлы и характеристики соединений	Очистка и промывка мест пайки
Бура прокаленная	При пайке изделий из меди, медных сплавов, платины, никеля и углеродистых сталей (медными и медноцинковыми припоями)	Во избежание коррозии остатки флюса должны удаляться промыванием горячей водой с помощью вельсоной щетки
Бура плавленая — 21 Борная кислота — 70 Кальций фтористый — 9	При пайке изделий из меди, бронзы, нержавеющей и углеродистой стали (медными припоями)	Остатки флюса должны удаляться промыванием ацетоном
Борный ангидрид — 35 Фтороборат калия — 23 Калий фтористый — 42	При пайке изделий из меди, бронзы, нержавеющей и углеродистой стали (серебряными припоями)	Остатки флюса должны удаляться промыванием ацетоном
Бура — 50 Борная кислота — 35 Калий фтористый — 15 Применяется в виде пасты на воде или спирте	При пайке изделий из меди, бронзы, нержавеющей и углеродистой стали (медными припоями). Лучшие результаты достигаются для припоя ПСр-45	Остатки флюса должны удаляться промыванием спиртом или ацетоном
Бура — 58 Борная кислота — 40 Кальций хлористый — 2 Натрий фтористый — 4...5 Лигий хлористый — 36...39 Калий хлористый — 51...46 Кадмий хлористый — 9...10	При пайке изделий из меди и латуни (серебряными и медно-цинковыми припоями) Для пайки легкоокисляющегося на воздухе алюминия и его сплавов (алюминиевыми припоями)	Остатки флюса должны удаляться промыванием ацетоном Во избежание коррозии остатки флюса должны удаляться промыванием ацетоном

Пайку проводников малых диаметров (0,03...0,05 мм), например, из золота, серебра, меди и т. п. и проволочных выводов бескорпусных навесных элементов к предварительно облуженным выводам корпуса или контактным площадкам пассивной части схем рекомендуется производить без дополнительного внесения в зону пайки флюса и припоя.

Лужение поверхностей, предназначенных для последующей пайки проводников малых диаметров (0,03...0,05 мм), рекомендуется производить припоями ПОСМ-0,5 или ПСрОС-58.

10. РЕЗИСТОРЫ

Резистор (от англ. *resistor* — сопротивляюсь) — один из самых распространенных радиоэлементов (рис. 10.1, 10.2). Резисторы используются в качестве нагрузочных и токоограничительных элементов, добавочных сопротивлений и шунтов, делителей напряжений и в качестве нагрузок. Обеспечивая режимы работы усилительных приборов, позволяют погасить излишек питающего напряжения.

10.1. Система условных обозначений

В соответствии с действующей в настоящее время системой обозначений резисторов (ОСТ 11.074.009-78) сокращенное условное обозначение вида компонента состоит из следующих элементов:

Первый элемент — буква или сочетание букв, обозначающих подкласс резисторов: Р — резисторы постоянные; РП — резисторы переменные; НР — наборы резисторов; ВР — варистор постоянный; ВРП — варистор переменный; ТР — терморезистор с отрицательным температурным коэффициентом сопротивления ТКС; ТРП — терморезистор с положительным ТКС.

Второй элемент — цифра, определяющая группу резисторов по материалу резистивного элемента: 1 — недроволоочные; 2 — проволочные или металлофольговые.

Третий элемент — цифра, обозначающая регистрационный номер разработки конкретного типа резистора. Между вторым и третьим элементом ставится дефис: Р1-4, РП1-46.

Для полного условного обозначения резистора к сокращенному обозначению добавляется вариант конструктивного исполнения (при необходимости), значения основных параметров и характеристик, климатического исполнения и обозна-

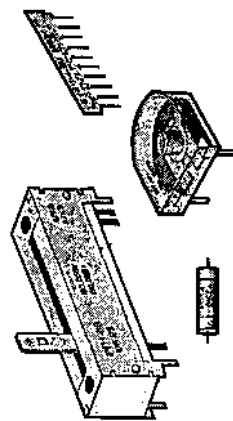


Рис. 10.1. Общий вид резисторов

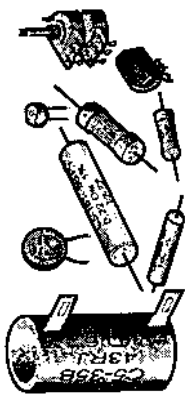


Рис. 10.2. Постоянные резисторы

тивление, допускаемое отклонение сопротивления и дату изготовления. До введения указанного выше стандарта по классификации до 1980 года (ГОСТ 3453-68) названия отечественных постоянных резисторов (раньше называли «сопротивления») начинались с буквы «С», переменных и подстроечных — с «СП» (затем следовал номер группы резистора в зависимости от токоисходящей части: 1 — непроволочные тонкослойные углеродистые и бороуглеродистые; 2 — непроволочные композиционные пленочные или металлоокисные; 3 — непроволочные композиционные пленочные; 4 — непроволочные тонкослойные металлизированные). Названия нелнейных сопротивлений (варисторов) начинались с букв «СН» (1 — карбидокремниевые), термозависимых сопротивлений (терморезисторов) — с букв «СТ» (1 — кобальто-марганцевые, 2 — медно-марганцевые, 3 — медно-кобальто-марганцевые, 4 — никель-кобальто-марганцевые), а светозависимых сопротивлений (фоторезисторов) — с букв «СФ» (1 — сернисто-свинцовые, 2 — сернисто-кадмиевые, 3 — селенисто-кадмиевые). Далее через тире следовал регистрационный номер (номер разработки).

10.2. Система сокращенных обозначений резисторов

Сопротивление резисторов измеряют в омах (Ом), килоомах (кОм), мегаомах (МОм) и т.д. Номинальное значение сопротивления определяет силу проходящего через него тока при заданной разности потенциалов на его выводах. В зависимости от размеров резисторов применяются сокращенные (кодированные) обозначения номинальных сопротивлений и допусков, которые состоят из четырех-пяти элементов, включающих две-три цифры и две буквы:

Первый элемент — цифры, указывающие величину сопротивления в омах. Согласно ГОСТ 2825-67 установлено шесть рядов номинальных сопротивлений: Е6, Е12, Е24, Е48, Е96, Е192 (цифра после буквы «Е» указывает число номинальных значений в данном ряде).

Например, по ряду Е6 номинальные сопротивления в каждой декаде должны соответствовать числам: 1, 1,5; 2, 2,2; 3, 3,3; 4, 4,7; 6, 8 или числам, полученным умножением или делением этих чисел на 10^n (n — целое положительное или отрицательное число).

Второй элемент — буква русского или латинского алфавита — обозначает множитель, составляющий сопротивление, и определяет положение запятой десятичного знака («R(E)» = 1; «K(K)» = 10^3 ; «M(M)» = 10^6 ; «S(S)» = 10^9 ; «T(T)» = 10^{12}). Если же номинальное сопротивление выражено целым числом с дробью, то единицу измерения ставят на месте запятой.

Третий элемент — буква, обозначающая величину допуска в процентах: E = $\pm 0,001$; L = $\pm 0,002$; R = $\pm 0,005$; P = $\pm 0,01$; U = $\pm 0,02$; V(Ж) = $\pm 0,1$; C(Y) = $\pm 0,25$; 0(D) = $\pm 0,5$; F(P) = ± 1 ; C(L) = ± 2 ; J(H) = ± 5 ; K(C) = ± 10 ; M(B) = ± 20 ; N(O) = ± 30 . Величина допуска может быть нанесена под номиналом сопротивления во второй строке.

10.3. Цветовое кодирование миниатюрных резисторов

На постоянных резисторах в соответствии с ГОСТ 175-72 и требованиями Публикации 62 МЭК (Международной электротехнической комиссии) маркировка наносится в виде цветных колец (табл. 10.1). Каждому цвету соответствует определенное цветовое значение.

Маркировочные знаки на резисторах сдвинуты к одному из выводов и располагаются слева направо. Если размеры резистора не позволяют разместить маркировку ближе к одному из выводов, ширина полосы первого знака делается примерно в два раза больше других.

Резисторы с малой величиной допуска (0,1...10 %) маркируются пятью цветовыми кольцами.

Первые три — численная величина сопротивления в омах, четвертое — множитель, пятое кольцо — допуск. Резисторы с величиной допуска $\pm 20\%$

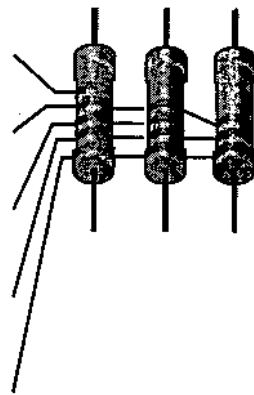


Таблица 10.1

Цвет знака	Номинальное сопротивление, Ом					Множитель	Допуск, %
	Первая полоса	Вторая полоса	Третья полоса	Четвертая полоса	Пятая полоса		
Серебристый	-	-	-	0,01	+10		
Золотистый	-	0	-	0,1	±5		
Черный	-	0	-	1	-		
Коричневый	1	1	1	10	+1		
Красный	2	2	2	100	+2		
Оранжевый	3	3	3	1 000	-		
Желтый	4	4	4	10 ⁴	-		
Зеленый	5	5	5	10 ⁵	+0,05		
Голубой	6	6	6	10 ⁶	+0,25		
Фиолетовый	7	7	7	10 ⁷	+0,1		
Серый	8	8	8	10 ⁸	-		
Белый	9	9	9	10 ⁹	-		

маркируются четырьмя цветовыми кольцами. Первые три — численная величина сопротивления в омах, четвертое кольцо — множитель.

Незначительный ноль в третьем разряде и величина допуска не маркируются. Поэтому такие резисторы маркируются тремя цветовыми кольцами. Первые два — численная величина сопротивления в омах, третье кольцо — множитель. Мощность резистора определяется ориентировочно по его размерам.

10.4. Рекомендации по применению резисторов

Резисторы, применяемые в колебательных контурах, усилителях высокой частоты, аттенуаторах, должны обладать только активным сопротивлением, т.е. не изменять свое сопротивление в рабочем диапазоне частот. Граничная частота, на которой может работать резистор, зависит от его номинального сопротивления и собственной емкости: $f_{гр} = 1/4\pi RC$.

Собственные емкости, например, непроволочных резисторов (ВС, МТ, ОМЛТ-С2-6, С2-13, С2-14, С2-23, С2-33) находятся в интервале 0,1...1,1 пФ. При работе в импульсном режиме средняя мощность не должна превышать номинальную, так как через резистор протекают периодические импульсы тока, мгновенные значения которых могут значительно превышать значения в непрерывном режиме.

11. КОНДЕНСАТОРЫ

Конденсаторы (от лат. *condensare* — уплотнять, сгущать) — это радиоэлементы с сосредоточенной электрической емкостью, образуемой двумя или большим числом электродов (обкладок), разделенных диэлектриком (специальной бумагой, керамикой, слюдой и т.д.). Емкость конденсатора зависит от размеров (площади) обкладок, расстояния между ними и свойств диэлектрика.

Одним из важных свойств конденсатора является то, что для переменного тока он представляет собой сопротивление, величина которого уменьшается с ростом частоты.

Чем больший заряд способен накопить диэлектрик, заключенный между пластинами при определенном напряжении, тем больше величина электрической емкости конденсатора.

Емкость конденсаторов измеряют в фарадах (Ф). Это очень большая величина, которую на практике не применяют. В радиотехнике применяют конденсаторы от нескольких долей пикофарада (пФ) до сотен миллифарад (мФ). 1 пФ = 10⁻¹² Ф; 1 мкФ = 10⁻⁶ Ф.

11.1. Условные обозначения конденсаторов для радиотехнических устройств

Сокращенное условное обозначение (в соответствии с ГОСТ 11076—69 и ОСТ 11.074.008—78) состоит из следующих элементов:

Первый элемент — буква или сочетание букв, определяющих тип конденсатора: К — постоянной емкости; КТ — подстроечный; КП — переменной емкости; КС — конденсаторные сборки (рис. 11.1).

Второй элемент — число, обозначающее используемый вид диэлектрика. Для конденсаторов постоянной емкости: 10 — керамические, на номинальное напряжение ниже 1600 В; 15 — керамические, на номинальное напряжение 1600 В и выше; 20 — кварцевые; 21 — стеклянные; 22 — стеклокерамические; 23 — стеклокерамические; 26 — тонкопленочные с неорганическим диэлектриком; 31 — слюдяные малой мощности; 32 — слюдяные большой мощности; 40 — бумажные и фольговые на номи-

нальное напряжение ниже 2 кВ; 41 — бумажные и фольговые на номинальное напряжение 2 кВ и выше; 42 — бумажные металлизированные; 50 — оксидные (электролитические) алюминидные; 51 — оксидные (электролитические) танталовые, ниобиевые; 52 — оксидные танталовые объемнопористые; 53 — оксидно-полупроводниковые; 58 — с двойным электрическим слоем (ионисторы); 60 — воздушные; 61 — вакуумные; 70 — полистирольные с фольговыми обкладками; 71 — полистирольные с металлизированными обкладками; 72 — фторопластовые; 73 — полиэтилен-терефталатные с металлизированными обкладками; 74 — полиэтилентерефталатные с фольговыми обкладками.

Для конденсаторов переменной емкости и подстроечных: 1 — вакуумные; 2 — воздушные; 3 — с газобразным диэлектриком; 4 — с твердым диэлектриком.

Для нелинейных конденсаторов: 1 — вариконды; 2 — термоконденсаторы.

Третий элемент — порядковый номер разработки конкретного типа, в состав которого может входить и буквенное обозначение: П — для работы в цепях постоянного тока; Ч — для работы в цепях переменного тока; У — для работы в цепях постоянного тока и в импульсных режимах; И — для работы в импульсных режимах.

Полное условное обозначение состоит из сокращенного обозначения и значения основных параметров и характеристик, необходимых для заказа и записи в конструкторской документации (К75-10-250В-0,1 мкФ ± 5 %-В-ОЖ0.484.865 ТУ).

В пользовании также встречаются конденсаторы старых типов, в основу классификации которых брались различные признаки: конструктивные разновидности, технологические особенности, области применения, эксплуатационные характеристики и т.д. (КД — конденсаторы дисковые; КМ — керамические монолитные; КЛС — керамические литые секционные; КСО — конденсаторы слюдяные спрессованные; СГМ —

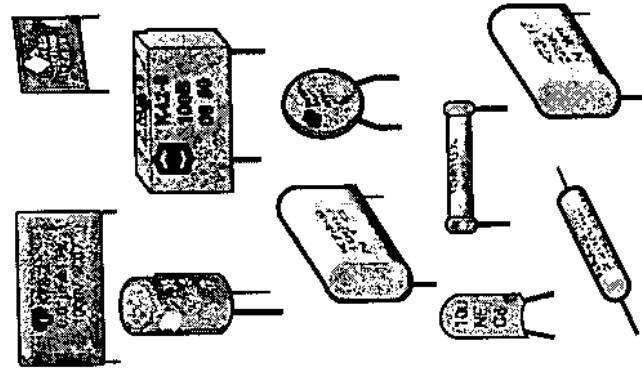


Рис. 11.1. Виды конденсаторов

Для нелинейных конденсаторов: 1 — вариконды; 2 — термоконденсаторы.

Третий элемент — порядковый номер разработки конкретного типа, в состав которого может входить и буквенное обозначение: П — для работы в цепях постоянного тока; Ч — для работы в цепях переменного тока; У — для работы в цепях постоянного тока и в импульсных режимах; И — для работы в импульсных режимах.

Полное условное обозначение состоит из сокращенного обозначения и значения основных параметров и характеристик, необходимых для заказа и записи в конструкторской документации (К75-10-250В-0,1 мкФ ± 5 %-В-ОЖ0.484.865 ТУ).

В пользовании также встречаются конденсаторы старых типов, в основу классификации которых брались различные признаки: конструктивные разновидности, технологические особенности, области применения, эксплуатационные характеристики и т.д. (КД — конденсаторы дисковые; КМ — керамические монолитные; КЛС — керамические литые секционные; КСО — конденсаторы слюдяные спрессованные; СГМ —

слюдяные герметизированные малогабаритные; КБГИ — конденсаторы бумажные герметизированные изолированные; МБГЧ — металлобумажные герметизированные частотные; КЭГ — конденсаторы электролитические герметизированные; ЭТО — электролитические танталовые объемно-пористые; КПК — конденсаторы подстроечные керамические).

11.2. Сокращенные обозначения, назначение и основные области применения конденсаторов

Таблица 11.1

Сокращенные обозначения	Тип конденсатора по виду диэлектрика	Назначение, основные области применения
1	2	3
<i>Конденсаторы постоянной емкости</i>		
K10	Керамические на номинальные напряжения ниже 1600 В	Для высокочастотных конденсаторов: термокомпенсация, емкостная связь, фиксированная настройка контуров на высокой частоте. Для низкочастотных конденсаторов: шунтирующие, блокирующие и фильтровые цепи, связь между каскадами на низкой частоте
K15	Керамические на номинальные напряжения 1600 В и выше	Емкостная связь, фиксированная настройка мощных высокочастотных контуров, импульсные устройства
K21	Стеклые	Блокировка, фиксированная настройка высокочастотных контуров, емкостная связь, шунтирующие цепи
K22	Стеклокерамические	
K23	Стеклоэмалевые	
K31	Слюдяные малой мощности	Блокировочные и шунтирующие, высокочастотные фильтровые цепи, емкостная связь, фиксированная настройка контуров
K32	Слюдяные большой мощности	
K40	Бумажные на номинальное напряжение ниже 1600 В с фольговыми обкладками	Блокировочные, буферные, шунтирующие, фильтровые цепи, емкостная связь
K41	Бумажные на номинальное напряжение 1600 В и выше с фольговыми обкладками	Блокировочные, буферные, шунтирующие, фильтровые цепи, емкостная связь
K42	Бумажные с металлизированными обкладками (металлобумажные)	Цепи развязок и фильтры; в качестве емкостей связи не применяются

1	2	3
<i>Конденсаторы постоянной емкости</i>		
K50	Электролитические алюминиевые	Шунтирующие и фильтровые цепи, накопление энергии в импульсных устройствах
K51	Электролитические танталовые фольговые	Применяются в тех же цепях, что и электролитические алюминиевые, в основном в транзисторной аппаратуре с повышенными требованиями к параметрам конденсаторов
K52	Электролитические танталовые объемно-пористые	
K53	Оксидно-полупроводниковые	
K60	Воздушные	Образцовые эталоны емкости, высоковольтные блокировочные, развязывающие, контурные конденсаторы
K61	Газообразные	
K70	Полиэтирольные с фольговыми обкладками	Точные временные цепи, интегрирующие устройства, настроенные контуры высокой добротности, образцовые
K71	Полиэтирольные с металлизированными обкладками	
K72	Фтороластовые	В тех же цепях, что и полиэтирольные при повышенных температурах и жестких требованиях к электрическим параметрам
K73	Полиэтилентерфталатные с металлизированными обкладками	В тех же цепях, что и бумажные конденсаторы при повышенных требованиях к электрическим параметрам
K74	Полиэтилентерфталатные с фольговыми обкладками	
K75	Комбинированные	В тех же цепях, что и бумажные конденсаторы при повышенных требованиях к надежности
K76	Лакопленочные	Частично могут заменить электролитические конденсаторы (особенно при повышенных значениях переменной составляющей). Применяются в тех же цепях, что и бумажные, металлобумажные и электролитические конденсаторы

1	2	3
<i>Конденсаторы постоянной емкости</i>		
K77	Поликарбонатные	В тех же цепях, что и конденсаторы К73, но при более высоких частотах
K78	Полипропиленовые	В телевизионной и бытовой аппаратуре
<i>Конденсаторы подстроечные</i>		
KТ1	Вакуумные	В специальной аппаратуре
KТ2	С воздушным диэлектриком	В радиоприемной аппаратуре
KТ3	С газообразным диэлектриком	В специальной аппаратуре
KТ4	С твердым диэлектриком	В радиоприемной и телевизионной аппаратуре
<i>Конденсаторы переменной емкости</i>		
KП1	Вакуумные	В специальной аппаратуре
KН2	С воздушным диэлектриком	В радиоприемной аппаратуре
KП3	С газообразным диэлектриком	В специальной аппаратуре
KП4	С твердым диэлектриком	В радиоприемной и телевизионной аппаратуре

11.3. Кодированное обозначение конденсаторов

Для маркировки малогабаритных конденсаторов используют кодированное обозначение. В зависимости от того, в какой цепи может использоваться конденсатор, к нему предъявляются разные требования. Основные параметры, которые характеризуют конденсаторы, следующие.

Номинальная емкость — емкость конденсатора, выбранная из числового ряда [28] значений (Е3, Е6, Е12 и Е24). Величину емкости указывают на корпусе конденсатора числом и буквой. При этом емкость от 0 до 100 пФ обозначают в пикофарадах, помещая букву «П» или «п» после числа, если оно целое, либо на месте запятой, если число дробное. Емкость от 100 пФ до 0,1 мкФ обозначают в нанофарадах «Н» или «н», а от 0,1 мкФ и выше — в микрофарадах «М» (М или μ).

Допускаемое отклонение — максимальное отклонение (разность значений) между измеренной и номинальной емкостями при оговоренных в НТД частоте и температуре (табл. 11.2).

Номинальное напряжение и ток — значения напряжения и тока, при которых конденсатор может работать в заданных условиях в течение срока службы, сохраняя свои параметры (табл. 11.3).

Таблица 11.2

Допуск, в %	Буквенное обозначение	Допуск, в %	Буквенное обозначение	Допуск, в %	Буквенное обозначение
$\pm 0,001$	E	$\pm 0,05$	X	$\pm 2,0$	G(I)
$\pm 0,002$	L	$\pm 0,1$	B(Ж)	$\pm 5,0$	J(И)
$\pm 0,005$	R	$\pm 0,2$	C(Y)	± 10	K(С)
$\pm 0,01$	P	$\pm 0,5$	D(D)	± 20	M(B)
$\pm 0,02$	U	$\pm 1,0$	F(P)	± 30	N(Ф)

Таблица 11.3

Напряжения, В	Буквенное обозначение	Напряжения, В	Буквенное обозначение	Напряжения, В	Буквенное обозначение	Напряжения, В	Буквенное обозначение
1,0	I	6,3	B	40	S	100	N
2,5	M	10	D	50	J	125	P
3,2	A	16	E	63	K	160	Q
4,0	C	20	F	80	L	315	X
						500	V

Температурный коэффициент емкости (ТКЕ) — характеризует относительное изменение емкости от номинального значения при изменении температуры окружающей среды. Знак ТКЕ может быть отрицательным (обозначается буквой «M»), положительным (Π), близким к нулю (MP). Буква «Н» в условном обозначении группы обозначает, что для этих конденсаторов ТКЕ не нормируется. Следующие за буквой «Н» цифры указывают на предельно допустимые изменения емкости в интервале рабочих температур.

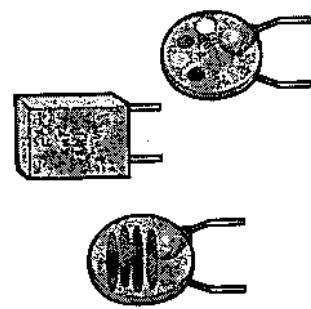


Рис. 11.2. Слюдяные конденсаторы

Таблица 11.4

Обозначение группы	Буквенный код	Цветовое обозначение			Номинальное значение ТКЕ
		Старое		Новое	
		покрытия корпуса	маркировочной точки		
Π210		синий	черный	без точки	+120
Π100 (Π120)	A	синий	без точки	красный + фиолетовый	+100
Π60	G	серый	красный	без точки	+60
Π33	N	серый	без точки	без точки	+33
ΠΠ0	C	голубой	черный	черный	0
M33	H	голубой	коричневый	коричневый	-33
M47	M	голубой	голубой	голубой + красный	-47
M75	L	голубой	красный	красный	-75
M150	P	красный	оранжевый	оранжевый	-150
M220	R	красный	желтый	желтый	-220
M330	S	красный	зеленый	зеленый	-330
M470	T	красный	синий	голубой	-470
M750 (M700)	U	красный	без точки	фиолетовый	-750 (M700)
M1500 (M1300)	V	зеленый	без точки	оранжевый + оранжевый	-1500...1300
M2200	K	зеленый	желтый	желтый + оранжевый	-2200
M3300	Y	зеленый	зеленый	без точки	-3300

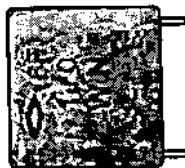
не стабильно. Температурную стабильность емкости (для сегнетокерамических конденсаторов с нелинейной зависимостью емкости от температуры) характеризуют относительным изменением емкости (табл. 11.5) в интервале рабочих температур от -60 до $+85$ °С.

Таблица 11.5

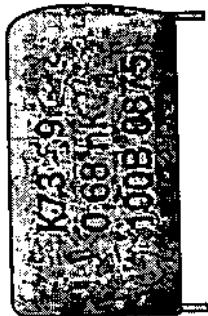
Обозначение группы	Буквенный код	Цветовая маркировка			Изменение емкости, %
		Старое обозначение		Новое обозначение	
		Цвет покрытия корпуса	Маркировочная точка		
H10	B	оранжевый	черный	оранжевый + черный	+10
H20	Z	оранжевый	красный	оранжевый + красный	+20
H30	D	оранжевый	зеленый	оранжевый + зеленый	+30
H50	X	оранжевый	синий	оранжевый + голубой	+50
H70	E	оранжевый	оранжевый	оранжевый + фиолет.	-70
H90	F	оранжевый	белый	оранжевый + белый	-90



Тип: К53-30
4,7 мкФ
M = 10 %
E = 16 В



Тип: К73-9
0,68 мкФ
10 %
 $U_{\text{раб}} = 100 \text{ В}$
08 — 1975 г.



Тип: КМ-6
F = H90
 $1 \mu\text{Ф} = 1 \text{ мкФ}$
W = 1988 г.
N = 11 (ноябрь)

Рис. 11.3 Керамические конденсаторы

Керамические НЧ, конденсаторы (группы «Н» по ТКЕ (рис. 11.3)) применяются в качестве шунтирующих, блокировочных, фильтровых, а также для связи между каскадами на низкой частоте. Для сохранения настройки колебательных контуров при работе в широком интервале температур необходимо использовать последовательное и параллельное соединение конденсаторов, у которых ТКЕ имеют разные знаки. Благодаря этому при изменении температуры частота настройки такого термомкомпенсированного контура останется практически неизменной. Как и любые проводники, конденсаторы обладают некоторой индуктивностью. Она тем больше, чем больше размеры обкладок конденсатора и внутренних соединительных проводников, чем длиннее и тоньше его выводы. На практике для обеспечения работы блокировочных конденсаторов, у которых обкладки выполнены в виде длинных лент из фольги, свернутых вместе с диэлектриком в рулон круглой или иной формы, в широком диапазоне частот параллельно бумажному (оксидному) подключают керамический или слюдяной конденсатор небольшой емкости.

11.4. Цветовой код отечественных танталовых (K53-30) конденсаторов

В связи с тем что сухие оксидные конденсаторы имеют большой производственный разброс допусков, они технологически выполняются по стандартному ряду Е6. Маркировка оксидно-полупроводниковых танталовых конденсаторов (каплевидной формы) производится цветовым кодом (рис. 11.4).



Рис. 11.4. Танталовые конденсаторы

Номинал емкости в пикофарадах рассчитывается как произведение двухзначного числа (определенного по цвету двух первых полос) на множитель (определенный по цвету третьей полосы) (табл. 11.6).

Таблица 11.6

Цвет маркировочного знака	Номинальная емкость			Четвертый элемент (ном. напр., В)
	Первый элемент (первая цифра)	Второй элемент (вторая цифра)	Третьий элемент (множитель)	
Серебряный			10^{-2}	2,5
Золотой			10^{-1}	1,5
Черный		0	1	4,0
Коричневый	1	1	10	6,3
Красный	2	2	10^2	10
Оранжевый	3	3	10^3	16
Желтый	4	4	10^4	40
Зеленый	5	5	10^5	25 (20)
Синий (голубой)	6	6	10^6	32 (30)
Фиолетовый	7	7	10^7	50
Серый	8	8	10^8	
Белый	9	9	10^9	63

Конденсаторы с величиной допуска $\pm 20\%$ маркируются тремя цветными полосами, начиная со стороны, противоположной выводам конденсатора.

11.5. Цветовой код керамических конденсаторов (K10, K26)

Отличительная цветовая кодировка применяется для маркировки конденсаторов, номинальное рабочее напряжение которых не превышает 63 В. Маркировку наносят в виде цветных точек или полос (табл. 11.7).

Таблица 11.7

Цвет маркировочной метки	Номинальная емкость, в пФ		Допускаемое отклонение емкости	Номинальное напряжение, В
	Первая и вторая цифры	Множитель		
Черный	10	1	+20	4
Коричневый	12	10	+1	6,3
Красный	15	100	+2	10
Оранжевый	18	1000	+0,25	16
Желтый	22	10 ⁴	+0,5	40
Зеленый	21	10 ⁵	±5	25 или 20
Голубой	33	10 ⁶	+1	32 или 30
Фиолетовый	29	10 ⁷	-20...+50	50
Серый	47	10 ⁸	-20...+80	
Белый	56	10 ⁸	+10	63
Золотистый	82	10 ⁻¹		1,5
Серебряный	68	10 ⁻²		2,5

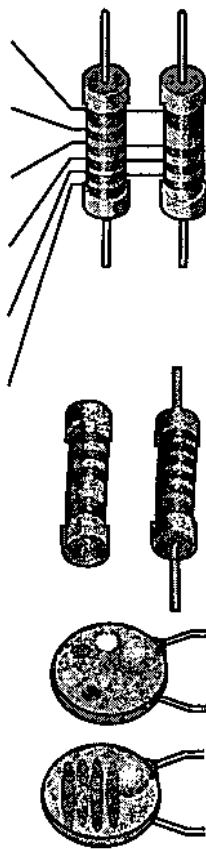
Маркировка наносится в виде цветных колец или точек. Каждому цвету соответствует определенное цифровое значение. Маркировочные знаки на конденсаторах сдвинуты к одному из выводов и располагаются слева направо. Ширина полосы, обозначающая величину ТКЕ, делается примерно в два раза больше других (табл. 11.8).

Таблица 11.8

Цвет маркировочного знака	Номинальная емкость, пФ						Множитель, допуск, %			ТКЕ
	Первая полоса	Вторая полоса	Третья полоса	Четвертая полоса	Пятая полоса	Шестая полоса				
1	2	3	4	5	6	7				
Серебряный							10 ⁻²	±10		
Золотой							10 ⁻¹	±5		
Черный		0	0	1						±250
Коричневый	1	1	1	10				±1		±100
Красный	2	2	2	10 ²				±2		±50
Оранжевый	3	3	3	10 ³						±15
Желтый	4	4	4	10 ⁴						±25
Зеленый	5	5	5	10 ⁵						±20
Синий (голубой)	6	6	6	10 ⁶						±10

Окончание табл. 11.8

1	2	3	4	5	6	7
Фиолетовый	7	7	7	10 ⁸		±5
Серый	8	8	8	10 ⁹		±1
Белый	9	9	9			
Нет цвета						±20



Конденсаторы с малой величиной допуска (0,1...10 %) маркируются шестью цветовыми кольцами. Первые три — численная величина емкости в пикофарадах, четвертое кольцо — множитель, пятое кольцо — допуск, шестое кольцо — ТКЕ. Конденсаторы с величиной допуска ±20 % маркируются четырьмя цветовыми кольцами. Первые два — численная величина емкости в пикофарадах (так как незначительный ноль в третьем разряде не маркируется). Третье кольцо — множитель, четвертое кольцо — ТКЕ. Величина допуска (пятое кольцо) не маркируется.

12. ПРИБОРЫ СТАБИЛИЗАЦИИ ЧАСТОТЫ

12.1. Система обозначений пьезоэлектрических резонаторов

Основой пьезоэлектрического резонатора является пьезоэлемент. Пьезоэлемент представляет собой механическую колебательную систему с распределенными параметрами. При совпадении частоты внешних электрического напряжения с частотой механических собственных колебаний пьезоэлемента возникает резонанс на частоте собственных колебаний, который слабо зависит от внешних условий.

Условное обозначение кварцевого резонатора включает в себя следующие элементы:

Первый элемент — буквы РК (резонатор кварцевый).

Второй элемент — двух-, трехзначное число, обозначающее регистрационный номер типа резонатора.

Третий элемент — число, обозначающее класс точности настройки (1-й класс = $\pm 0,5 \times 10^{-6}$, ..., 22-й класс = $\pm 5 000 \times 10^{-6}$).

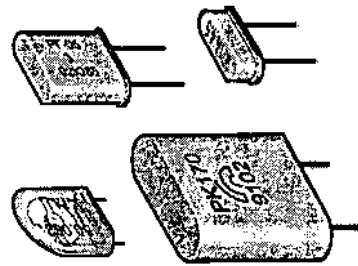
Четвертый элемент — буква, обозначающая интервал рабочих температур (Л = $0...+45$ °С; Е = $-60...+100$ °С).

Пятый элемент — буква, обозначающая класс максимального относительного изменения рабочей частоты в интервале рабочих температур ($A = \pm 0,1 \times 10^{-6}$, $E = \pm 1000 \times 10^{-6}$).

Шестой элемент — число, обозначающее частоту, и буква, обозначающая единицу измерения частоты (К — кГц, М — МГц).

Седьмой элемент — буква В, обозначающая всеклиматическое исполнение резонатора.

Между элементами 2 и 3, 5 и 6, 6 и 7 ставится дефис.



В обозначении кварцевых резонаторов зарубежными фирмами единства нет, однако прослеживается сходная классификация.

Например, обозначения кварцевых резонаторов фирмы «Nagva» следующие:

Первый элемент — буква Q, обозначающая кварц, С — керамический фильтр.

Второй элемент — буква, обозначающая вид колебаний прибора (В — изгибные колебания, L — продольные колебания, F — плоские колебания, D — поперечные колебания).

Третий элемент — буква, обозначающая тип подключения: S — штыревое (штекерное) подключение; L — подключение пайкой.

Четвертый элемент — цифра, обозначающая рабочую температуру или диапазон рабочих температур (1 = $-55...+90$ °С; 2 = $-20...+70$ °С; 3 = $0...+60$ °С; 4 = $+75 \pm 3$ °С; 5 = $+70 \pm 3$ °С; 6 = $+60 \pm 3$ °С; 7 = $+50 \pm 3$ °С; 8 = $+2...+25$ °С).

Пятый элемент — буква, обозначающая допуск на отклонение частоты ($A = \pm 200 \times 10^{-6}$; $B = \pm 100 \times 10^{-6}$; $C = \pm 75 \times 10^{-6}$; $D = \pm 50 \times 10^{-6}$; $E = \pm 30 \times 10^{-6}$; $F = \pm 20 \times 10^{-6}$; $G = \pm 10 \times 10^{-6}$).

Шестой элемент — цифра для обозначения емкости нагрузки при настройке на параллельный резонанс (3 = 30 пФ, 5 = 50 пФ, 10 = 100 пФ, 15 = 150 пФ, 20 = 200 пФ, 25 = 250 пФ, 30 = 300 пФ) и буквы для обозначения кварцев, предназначенных для настройки на последовательный резонанс (F — кварц, предназначенный для установки в качестве фильтра; S — стабилизирующий кварц).

Седьмой элемент — номер стандарта (TGL 11767 — кварц, совершенный плоские колебания, 200...400 кГц, в металлическом корпусе; TGL 11769 — кварц, совершенный поперечные колебания, 1 000...3 000 кГц, в металлическом корпусе; TGL 11770 — кварц, совершенный поперечные колебания, 8...20 МГц, в металлическом корпусе; TGL 11771 — кварц, совершенный поперечные колебания, 20...100 МГц, в металлическом корпусе).

Восьмой элемент — численное значение частоты резонанса.



12.2. Приборы селекции частоты

В основу отечественной классификации пьезоэлектрических фильтров положено девять элементов.

Первый элемент — буквы ФП (обозначающие «фильтр пьезоэлектрический»).

Второй элемент — цифра, обозначающая материал пьезоэлемента (1 — керамика, 2 — кварц, 3 — пьезокристаллы, отличные от кварца и керамики).

Третий элемент — буква, обозначающая функцию фильтра (П — полосовой, Р — режекторный, Д — дискриминаторный, Г — гребенчатый, О — одной боковой полосы).

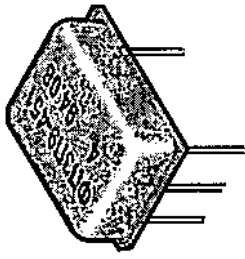
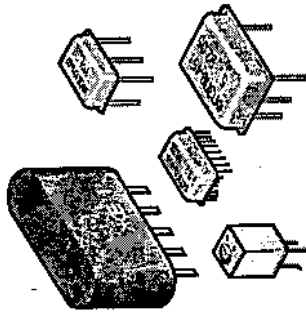
Четвертый элемент — цифра, обозначающая конструктивно-технологическое исполнение фильтра (1 — дискретные, 2 — гибридные однослойные, 3 — гибридные пьезомеханические, 4 — гибридные монослойные, 5 — гибридные прочие, 6 — интегральные однослойные, 7 — интегральные пьезомеханические, 8 — интегральные монослойные, 9 — интегральные на ПАВ, 10 — интегральные прочие).

Пятый элемент — двух-, трехзначное число, обозначающее регистрационный номер разработки.

Шестой элемент — число, обозначающее номинальную частоту, и буква, обозначающая единицу измерения частоты или шифр: 1 — низкочастотные (до 60 кГц), 2 — среднечастотные (60...400 кГц), 3 — среднечастотные (400...1200 кГц), 4 — высокочастотные (1,2...3 МГц), 5 — высокочастотные (3...5 МГц), 6 — высокочастотные (5...25 МГц), 7 — высокочастотные (25...35 МГц), 8 — высокочастотные (35...90 МГц), 9 — высокочастотные (свыше 90 МГц).

Седьмой элемент — число, соответствующее ширине полосы пропускания (задерживания) в герцах (килогерцах) или код (f/f): 1 — узкополосные (до 0,05%), 2 — узкополосные (0,05...0,2%), 3 — широкополосные (0,2...0,4%), 4 — широкополосные (0,4...0,8%), 5 — широкополосные (свыше 0,8%).

Восьмой элемент — буква, характеризующая условия эксплуатации (В — всеклиматические, Т — тропические, М — морские).



Девятый элемент — буква, указывающая на интервал рабочих температур (А = +1...+55 °С; В = -10...+60 °С; С = -40...+70 °С; Д = -40...+85 °С; Е = -60...+85 °С; Ж = -80...+100 °С).

Между элементами 4 и 5, 5 и 6, 6 и 7, 7 и 8 ставятся дефис.



Если места для нанесения полной классификации недостаточно, применяют сокращенную маркировку на приборах, состоящую из первых пяти букв: ФП — фильтр пьезоэлектрический; 3 — на основе пьезокристалла; П — полосовой; 9 — интегральный на ПАВ; 4 — класс точности.

12.2.1. Фильтры пьезокристаллические на ПАВ

Работа фильтров на ПАВ основана на явлении избирательного приёма и передачи бегущих вдоль поверхности и пьезоэлектрической подложки акустических волн. По сравнению с LC-фильтрами они имеют более плоскую верхнюю АЧХ, большие крутизну скатов АЧХ на границе полосы пропускания, стабильность и точность. Фильтры на ПАВ применяют вместо фильтров сосредоточенной селекции.

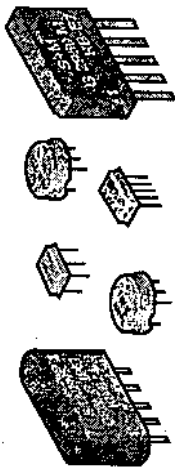
Широкополосные и среднеполосные фильтры используются для казальной или групповой селекции сигналов и частотно-избирательных элементов, представляемых по частоте и полосе (табл. 12.1).

Таблица 12.1

Тип фильтра	Средняя несущая частота, МГц	Полоса пропускания, МГц (по уровню)	Неравномерность затухания, дБ (не >)	Гарантированное затухание, дБ (не <)	Образец корпуса
1	2	3	4	5	6
ФПЗП7-464-1 вход (1) выход (5) (6)	38,0 38,0 31,5	0,75...1,1(3) — —	1,2±2 — —	34 34 17...26	
ФПЗП7-464-2 вход выход (5) выход (6)	39,8 38,9 33,4	0,85...1,1(3) 0,85...1,1(3) 0,75...0,95(3)	2 2 —	30...34 30 34	

Окончание табл. 12.1

1	2	3	4	5	6
ФПЗП7-464-3					
ВХОД	45,75	0,75...1,1(3)	2	—	
ВЫХОД (5)	45,75	—	—	25	
ВЫХОД (6)	41,25	—	—	17...25	
ФПЗП9-451	38,0...45,7 41,25 ± 1	3,5...5,5	1,2...2,5	10...40	
ФПЗП9-451-01	41,25	5,5	2	28...40	бескорпусной
ФПЗП9-458-1-1	37,4	5,5	2	28...40	бескорпусной
ФПЗП9-458-1-2	43,75	5,5	2	28...40	бескорпусной
ФПЗП9-458-2-1	37,4	5,5	2	28...40	
ФПЗП9-458-2-2	43,75	5,5	2	28...40	



Узкополосные фильтры используются для очищения спектра в селекторах гармоник, синтезаторов и блоках формирования опорных частот и т.п.

12.2.2. Цветовая маркировка керамических фильтров

Механическая прочность и малые габариты керамических фильтров послужили широкому применению в бытовой РЭА (табл. 12.2).

Таблица 12.2

Тип фильтра	Средняя $P_{\text{исс}}$, МГц	Полоса пропускания, дБ (по ур.)	Гарантир. затухание, дБ	РВХ (Rebix), Ом	Цвет (цифр. код) корпуса	Метка кодирования
1	2	3	4	5	6	7
ФПП6-1,1	10,7 + 0,1	480 (20)	12	330	70	красная
ФПП6-1,2	10,7 + 0,1	530 (20)	15	330	70	желтая
ФПП6-1,3	10,64 + 0,04	480 (20)	12	330	64	желтая
ФПП6-1,4	10,67 + 0,03	530 (20)	15	330	67	желтая
ФПП6-1,5	10,7 + 0,03	150 (20)	15	330	70	белая
ФПП8-62,01	5,5*	550 (20)	25	—	голубой	желтая
ФПП8-62,02	6,5*	600 (20)	25	—	голубой	желтая + белая

Окончание табл. 12.2

1	2	3	4	5	6	7
ФПП8-63,01	5,5	75(3)	20	—	бледно-зеленый	нет
ФПП8-63,02	6,5*	550 (20)	20	—	бледно-зеленый	красная
ФПП8-63,03	5,5	100 (3)	20	—	голубой	белая
ФПП8-63,04	6,5*	600 (20)	20	—	голубой	красная + белая

*Маркировка осуществляется двумя точками в верхнем левом углу (подосками в противоположных верхних углах) или полосой (точкой) в верхнем левом углу.



12.3. Высокочастотные катушки индуктивности, дроссели

Дроссели — реактивные сопротивления, величина которых зависит от индуктивности и частоты проходящего тока.

Дроссели используются в качестве заградительных устройств для развязки в цепях переменного тока, в цепях коррекции видеоусилителей и т.д. Катушки индуктивностей характеризуются следующими параметрами.

Номинальная индуктивность измеряется в генри. В бытовой радиоэлектронной аппаратуре применяют катушки с индуктивностью от долей микрогенри до сотен миллигенри ($1 \text{ мГн} = 10^{-3} \text{ Гн}$; $1 \text{ мкГн} = 10^{-6} \text{ Гн}$).

Допустимое отклонение индуктивности зависит от конструкции катушки, применяемого сердечника.

Температурный коэффициент индуктивности (ТКИ) характеризует относительное изменение значения индуктивности при изменении температуры окружающей среды.

Добротность характеризует отношение индуктивности сопротивлений на рабочей частоте к активному сопротивлению катушки (сопротивлению потерь, которое определяется параметрами обмоточного провода). Добротность катушки влияет на общую добротность контура.

Собственная емкость катушки складывается из межвитковых емкостей обмотки. Поскольку эта емкость является паразитной, при изготовлении стремятся сделать катушки и дроссели с минимальной собственной емкостью.

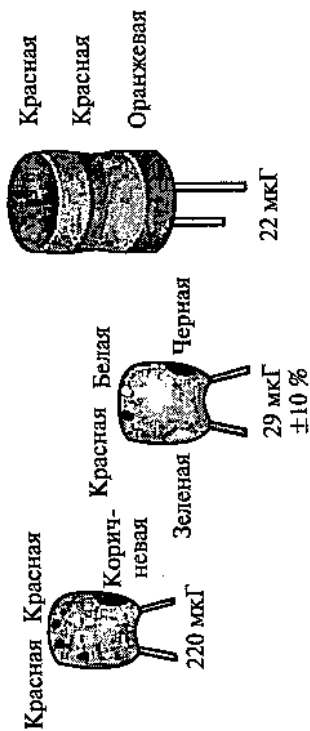
12.3.1. Маркировка в обозначениях индуктивностей

Ранее при маркировке обозначений особого значения к сокращенной кодировке не прибегали, так как изготавливаемые дроссели имели значительные размеры. С изменением технологии и уменьшением габаритов радиоэлектронных компонентов появилась необходимость в кодировании номинальных значений индуктивности. В настоящее время широко применяется цветовое кодирование (табл. 12.3).

Таблица 12.3

Цвет маркировочного знака	Номинальная индуктивность		
	Первый элемент (первая цифра)	Второй элемент (вторая цифра)	Третий элемент (множитель)
Черный	—	0	1
Коричневый	1	1	10
Красный	2	2	10 ²
Оранжевый	3	3	10 ³
Желтый	4	4	10 ⁴
Зеленый	5	5	10 ⁵
Синий (голубой)	6	6	10 ⁶
Фиолетовый	7	7	10 ⁷
Серый	8	8	10 ⁸
Белый	9	9	10 ⁹

Номинал индуктивности в микрогенри рассчитывается как произведение двухзначного числа (определенного по цвету двух первых полос или точек) на множитель (определенный по цвету третьей полосы или точки). Четвертый элемент — допустимое отклонение величины индуктивности: без маркировки — 20 %; серебряный — 10 %; золотой — 5 %.



Кроме того, имеет место маркировка численного значения величины индуктивности в микрогенри.

13.2. Цветовая отличительная маркировка излучающих светодиодов

Излучающий диод ИК-диапазона — полупроводниковый прибор, в котором осуществляется непосредственное преобразование электрической энергии в энергию инфракрасного излучения вследствие рекомбинации электронов и дырок. В табл. 13.1 приведена маркировка излучающих диодов ИК-диапазона.

Таблица 13.1

Тип светодиода	$P_{\text{вкл}}$, мВт	$P_{\text{нкл}}$, мВт	$I_{\text{пр}}$, мА	Длина волны излучения, мкм	$I_{\text{пр}}$, мА	$I_{\text{нкл}}$, мА	Кодовая маркировка
ЗЛ107А	6	30	100	0,9...1,2	100	0,8	1 полоска
ЗЛ107Б	6	30	100	0,9...1,2	100	0,8	2 полоски
АЛ402А	0,05	10	12	0,69...0,7	12	3,2 (А)	красная точка
АЛ402Б	0,025	5	12	0,69...0,7	12	3,2 (А)	зеленая точка
АЛ402В	0,015	3	12	0,69...0,7	12	3,2 (А)	синяя точка
АЛ107А	10	50	100	0,9...1,2	100	0,8	1 точка
АЛ107Б	10	50	100	0,9...1,2	100	0,8	2 точки

Светоизлучающий диод — полупроводниковый прибор с одним *n-p*- или *p-n*-переходом, в котором осуществляется непосредственное преобразование электрической энергии в энергию светового (инфракрасного) излучения вследствие рекомбинации электронов и дырок, предназначенный для использования в устройствах визуального представления информации.

Кодовая маркировка светоизлучающих диодов показана в табл. 13.2.

Таблица 13.2

Тип светодиода	Цвет свечения	Сила света, мкд	Длина волны, мкм	$U_{\text{пр}}$, В	Кодовая маркировка
1	2	3	4	5	6
АЛ112А(Г)	красный	1000/350	0,68	2	красная полоса
АЛ112Б(Д)	красный	600/150	0,68	2	зеленая полоса
АЛ112В	красный	250	0,68	2	синяя полоса
АЛ112Е(К)	красный	1000/1000	0,68	2	красная точка
АЛ112Ж(Л)	красный	600/600	0,68	2	зеленая точка
АЛ112И(М)	красный	250/250	0,68	2	синяя точка
АЛ301А	красный	25	—	2,8	красная точка
АЛ301Б	красный	100	—	2,8	две красные точки

13. ОПТОЭЛЕКТРОННЫЕ ПРИБОРЫ

13.1. Классификация индикаторных приборов

В 1982 г. была принята единая система условных обозначений для унификации различных видов отечественных индикаторов. Согласно этой системе, все индикаторы имеют следующую маркировку.

Первый элемент — буква И, обозначающая принадлежность к знакосинтезирующим индикаторам.

Второй элемент — буква, обозначающая вид индикатора: Н — вакуумные накаливаемые, Л — вакуумные люминесцентные, Ж — жидкокристаллические, П — полупроводниковые.

Третий элемент — буква, обозначающая вид отображаемой информации: Д — единичная, Ц — цифровая, В — буквенно-цифровая, Г — шкальная, М — мнемоническая, Г — графическая.

Четвертый элемент — число, указывающее на порядковый номер разработки.

Пятый элемент — буква, обозначающая классификацию по параметрам индикаторов (от А до Я, за исключением З, О, Ы, Б, Ъ, Ч, Ш, Ц).

Шестой элемент — число, указывающее на количественную характеристику информационного поля (кроме одноразрядных).

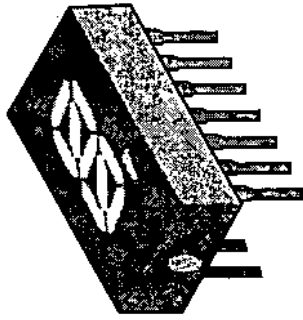
Седьмой элемент — буква, обозначающая цвет свечения, для одноцветных: К — красный, Л — зеленый, С — синий, Ж — желтый, Р — оранжевый, Г — голубой, М — для многоцветных индикаторов всех видов.

Восьмой элемент — цифры, определяющие модификацию конструктивного исполнения: 1 — с гибкими выводами без подложки, 2 — с гибкими выводами на кристаллодержателе, 3 — с жесткими выводами без подложки, 4 — с жесткими выводами на кристаллодержателе, 5 — с контактными площадками без кристаллодержателя и выводов, 6 — с контактными площадками на кристаллодержателе без выводов, 7 — с жесткими выводами без кристаллодержателя, нераздельные, на общей пластине, 8 — с контактными пластинами без кристаллодержателя и выводов, на общей пластине.

1	2	3	4	5	6
АЛ307А	красный	0,15	0,666	2	черная точка
АЛ307Б	красный	0,9	0,566	2	нет
АЛ307В	красный	0,4	0,566	2	черная точка
АЛ307Г	красный	1,5	0,566	2	зеленая точка
АЛ307Д	желтый	0,4	0,56...0,7	2	черная точка
АЛ307Е	желтый	1,5	0,56...0,7	2	две черные точки
АЛ307И	оранжевый	0,4	0,56...0,7	2	белая точка
АЛ307Л	оранжевый	0,4	0,56/0,56	2	две белые точки
АЛ310А	красный	0,61...1,2	0,67	2	красная точка
АЛ310Б	красный	0,25...0,6	0,67	2	синяя точка
АЛ314А	красный	0,25	0,69...0,71	2	1А
АЛ314Б	красный	0,5	0,69...0,71	2	1Б
АЛ314В	зеленый	0,25	0,55... ...0,56	2	1В
АЛ314Г	зеленый	0,5	0,55... ...0,56	2	1Г
АЛ314Д	желтый	0,25	0,68...0,7	2	1Д
АЛ314Е	желтый	0,5	0,68...0,7	2	1Е
АЛ316А	красный	0,8	0,67	2	красная точка
АЛ316Б	красный	0,25	0,67	2	синяя точка
АЛ336А	красный	6	0,69...0,71	2	красная точка
АЛ336Б	красный	20	0,69...0,71	2	две красные точки
АЛ336В	зеленый	4	0,55...0,56	2,8	зеленая точка
АЛ336Г	зеленый	15	0,55...0,56	2,8	две зеленые точки
АЛ336Д	желтый	4	0,68...0,7	2,8	желтая точка
АЛ336Е	желтый	10	0,68...0,7	2,8	две желтые точки
АЛ336Ж	желтый	15	0,68...0,7	2,8	три желтые точки
АЛ336И	зеленый	20	0,55...0,56	2,8	белая точка
АЛ336К	красный	40	0,69...0,71	2	черная точка
КИПД02А-1К	красный	0,4	0,69...0,71	1,8	черная точка
КИПД02Б-1К	красный	0,9	0,69...0,71	1,8	две черные точки
КИПД02В-1Л	зеленый	0,25	0,69...0,71	2,5	черная точка
КИПД02Г-1Л	зеленый	0,5	0,69...0,71	2,5	две черные точки
КИПД02Д-1Ж	желтый	0,25	0,69...0,71	2,5	черная точка
КИПД02Е-1Ж	желтый	0,65	0,69...0,71	2,5	две черные точки
КИПМ02А-1К	красный	0,4	0,69...0,71	2	красная точка
КИПМ03А-1К	красный	1,0	0,69...0,71	2	две красные точки
КИПМ03Б-1К	красный	0,4	0,69...0,71	2,8	зеленая точка
КИПМ03В-1Л	зеленый	1,0	0,69...0,71	2,8	две зеленые точки
КИПМ03Г-1Л	зеленый	2,0	0,69...0,71	2,8	три зеленые точки

13.3. Полупроводниковый знаковый индикатор

Знаковый индикатор — полупроводниковый прибор, состоящий из нескольких светоизлучающих диодов, предназначенный для использования в устройствах визуального представления информации в качестве индикатора знаков.



13.3.1. Отличительная маркировка знаковосинтезирующих индикаторов

Индикаторы имеют семь элементов (в виде сегментов) и десятичную точку. Различные комбинации элементов, обеспечиваемые внешней коммутацией, позволяют воспроизвести цифры от 0 до 9. Отличия в обозначениях типа индикаторных приборов показаны в табл. 13.3.

Таблица 13.3

Тип прибора	Яркость, кд/м ²	Цвет свечения	U _{пр} , В	I _{пр} , мА	Кодированное обозначение	Аналог (прототип)
АЛ305А	350	красный	4	22	две белые точки	1371R,
АЛ305Б	200	красный	4	22	белая точка	1351G,
АЛ305В	120	красный	4	22	две красные точки	1374R,
АЛ305Г	60	красный	6	22	красная точка	1354C,
АЛ305Д	120	зеленый	6	22	две синие точки	HA-1077r,
АЛ305Е	60	зеленый	6	22	синяя точка	MAN3900A
АЛ305Ж	350	красный	6	22	две черные точки	
АЛ305И	200	красный	6	22	черная точка	
АЛ305К	120	красный	6	22	черная и белая	
АЛ305Л	60	красный	6	22	без маркировки	

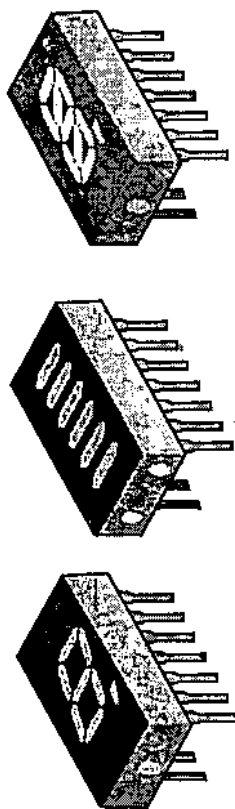
13.3.2. Отличительная маркировка матричных и шкальных индикаторов

В режиме статического управления отображают сложную информацию в виде цифр, знаков и символов (линейной шкалы, состоящей из нескольких сегментов) в аппаратуре индивидуального пользования (табл. 13.4).

Таблица 13.4

Тип прибора	Яркость, кд/м ² (сила св.)	Цвет свечения	U _{нр} В	I _{нр} мА	Кодированное обозначение	Аналог (прото-тип)	
АЛ306А	350	красный	2	11	две белые точки	170-4R	
АЛ306Б	200	красный	2	11	белая точка		
АЛ306В	350	красный	3	11	две черные точки		
АЛ306Г	200	красный	3	11	черная точка		
АЛ306Д	120	красный	3	11	две зеленые точки		
АЛ306Е	60	красный	3	11	зеленая точка		
АЛ306Ж	120	зеленый	3	11	две красные точки		
АЛ306И	60	зеленый	3	11	красная точка		
КИП02А-8Х8Л	85	зеленый	5	11	зеленая точка		SLA-2232
ИП02А-8Х8Л	85	зеленый	5	11	две зеленые точки		
АЛС317А*	0,16 мкд	красный	2	12	черная точка		
АЛС317Б*	0,35 мкд	красный	2	12	две черные точки		
АЛС317В**	0,08 мкд	зеленый	3	12	черная точка		
АЛС317Г**	0,16 мкд	зеленый	3	12	две черные точки		
ЗЛС317А*	0,16 мкд	красный	2	12	без точки		
ЗЛС317Б*	0,35 мкд	красный	2	12	синяя точка		
ЗЛС317В**	0,08 мкд	зеленый	3	12	без точки		
ЗЛС317Г**	0,16 мкд	зеленый	3	12	синяя точка		
ЗЛС317Д**	0,32 мкд	зеленый	3	12	две синие точки		

Примечание. Приборы, обозначенные знаком (*), имеют красный цвет корпуса, а знаком (**) — зеленый. Пример изображения знаковинтегрирующих индикаторов.



14. ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ДИОДЫ

Полупроводниковый диод — прибор с одним р-и переходом.

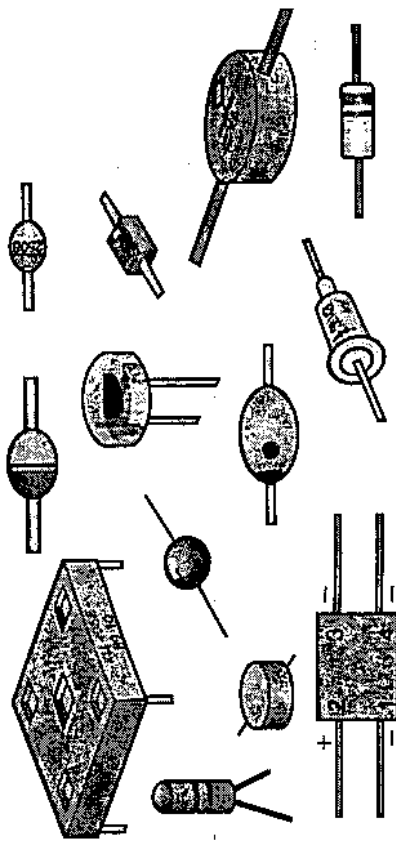
14.1. Система сокращенных обозначений диодов

В основу системы обозначений положен буквенно-цифровой код, установленный отраслевым стандартом ОСТ 11 336.919-81, который базируется на ряде классификационных признаков этих приборов.

Первый элемент обозначает исходный полупроводниковый материал, на основе которого изготовлен прибор: Г(1) — для германия или его соединений; К(2) — для кремния или его соединений; А(3) — для соединений галлия; И(4) — для соединений из индия.

Второй элемент — буква, определяющая подкласс (или группу) приборов: Д — диоды выпрямительные и импульсные; Ц — выпрямительные столбы и блоки; В — варикапы; И — туннельные диоды; А — сверхвысокочастотные диоды; С — стабилитроны; Г — генераторы шума; Д — излучающие оптоэлектронные приборы; О — оптопары; Н — диодные тиристоры; У — триодные тиристоры.

Третий элемент — цифра, определяющая основные функциональные возможности прибора (см. [1, 2]).



Четвертый элемент — число, обозначающее порядковый номер разработки технологического типа.

Пятый элемент — буква, условно определяющая разработку по параметрам приборов, изготовленных по единой технологии.

14.2. Цветовая маркировка импульсных и выпрямительных диодов

Выпрямительный — полупроводниковый диод, предназначенный для преобразования переменного тока в постоянный.

Импульсный — полупроводниковый диод, имеющий малую длительность переходных процессов включения и выключения при прохождении импульсного сигнала. Цветовая маркировка диодов представлена в табл. 14.1

Таблица 14.1

Тип диода	$I_{пр}$, А	$U_{обр}$, В	Цвет корпуса или метка	Цветовая маркировка	
				со стороны анода	со стороны катода
1	2	3	4	5	6
Д9Б	0,09	10		красное кольцо	
Д9В	0,01	30		оранжевое кольцо	
Д9Г	0,03	30		желтое кольцо	
Д9Д	0,03	30		белое кольцо	
Д9Е	0,05	50		голубос кольцо	
Д9Ж	0,01	100		зеленое кольцо	
Д9И	0,03	30		два желтых кольца	
Д9К	0,06	30		два бллых кольца	
Д9Л	0,03	100		два зеленых кольца	
Д9М	0,03	30		два голубых кольца	

Продолжение табл. 14.1

1	2	3	4	5	6
КД102А	0,1	250		зеленая точка	
2Д102А	0,1	250		желтая точка	
КД102Б	0,1	300		синяя точка	
2Д102Б	0,1	300		оранжевая точка	
КД103А	0,1	50	черный торец	синяя точка	
КД103Б	0,1	50	зеленый торец	желтая точка	
КД105А	0,3	200		белое (желтое) кольцо	
КД105Б	0,3	400	зеленая точка	белое (желтое) кольцо	
КД105В	0,3	600	красная точка	белое (желтое) кольцо	
КД105Г	0,3	800	белая или желтая точка	белое (желтое) кольцо	
КД208А	1,0	100	черная (зеленая, желтая) точка	белое (желтое) кольцо	
КД209А	0,7	400		черная (зеленая или желтая) точка	
КД209А	0,7	400		красная полоса на торце	
КД209Б	0,7	600	белая точка	черная (зеленая или желтая) точка	
КД209Б	0,7	600	белая точка	красная полоса на торце	
КД209В	0,5	800	черная точка	черная (зеленая или желтая) точка	
КД209В	0,5	800	черная точка	красная полоса на торце	
КД209Г	0,2	1000	зеленая точка	черная (зеленая или желтая) точка	
КД209Г			зеленая точка	красная полоса на торце	

Продолжение табл. 14.1

1	2	3	4	5	6
КД221А	0,7	100		голубая точка	
КД221Б	0,5	200	белая точка	голубая точка	
КД221В	0,3	400	черная точка	голубая точка	
КД221И	0,3	600	зеленая точка	голубая точка	
КД226А	2	100			оранжевое кольцо
КД226Б	2	200			красное кольцо
КД226В	2	400			зеленое кольцо
КД226Г	2	600			желтое кольцо
КД226Д	2	800			белос кольцо
КД226Е	2	600			голубое кольцо
КД243А	1	50			фиолетовое кольцо
КД243Б	1	100			оранжевое кольцо
КД243В	1	200			красное кольцо
КД243Г	1	400			зеленое кольцо
КД243Д	1	600			желтое кольцо
КД243Е	1	800			белое кольцо
КД243Ж	1	1000			голубос кольцо
КД247А	1	50			два фиолетовых кольца
КД247Б	1	100			два оранжевых кольца
КД247В	1	200			два красных кольца

Продолжение табл. 14.1

1	2	3	4	5	6
КД247Г	1	400			два зеленых кольца
КД247Д	1	600			два желтых кольца
КД247Е	1	800			два белых кольца
КД247Ж	1	1000			два голубых кольца
КД410А	0,05	1000		красная точка	
КД410Б	0,05	600		синяя точка	
КД509А	0,1	50		узкое синее кольцо	широкое синее кольцо
2Д509А	0,1	50			широкое синее кольцо
КД510А	0,2	50		два зеленых узких кольца	широкое зеленое кольцо
2Д510А	0,2	50		зеленая точка	широкое зеленое кольцо
КД521А	0,05	75		два синих узких кольца	широкое синее кольцо
КД521Б	0,05	50		два серых узких кольца	широкое серое кольцо
КД521В	0,05	30		два желтых узких кольца	широкое желтое кольцо
КД521Г	0,05	120		два белых узких кольца	широкое белое кольцо
КД522А	0,1	30		черное широкое кольцо	узкое кольцо
КД522Б	0,1	50		черное широкое кольцо	два черных узких кольца
2Д522Б	0,1	50		черное широкое кольцо	черная точка
КД906 (А-Г)	0,1	75... ...50... ...30	белая полоса у вывода		
2Д906А	0,2	75	белая полоса у вывода + красная точка		

1	2	3	4	5	6
2Д906Б	0,2	50	белая полоса у вывода + + красная точка		
2Д906В	0,2	30	белая полоса у вывода + + красные точки		
КДС111А	0,2	300	красная точка		
КДС111Б	0,2	300	зеленая точка		
КДС111В	0,2	300	желтая точка		черная точка
КЦ422А	0,5	50	точка отсутствует		черная точка
КЦ422Б	0,5	100	белая точка		черная точка
КЦ422В	0,5	200	черная точка		черная точка
КЦ422Г	0,5	400	зеленая точка		черная точка

14.3. Цветовое кодирование стабилитронов и стабилиторов

Стабилитрон — полупроводниковый диод, напряжение на котором в области электрического пробоя при обратном смещении слабо зависит от тока в заданном диапазоне. Предназначен для стабилизации напряжения (табл. 14.2).

Таблица 14.2

Тип диода	$U_{ст}, В$	$I_{ст}, мА$	Цветная метка у выводов	
			катода	анода
1	2	3	4	5
Д814А1	7...8,5	40		белое кольцо
Д814А1	7...8,5	40		черное широкое кольцо
Д814А2	7...8,5	26		черное кольцо
Д814Б1	8...9,5	36		синее кольцо
Д814Б1	8...9,5	36		черн. широкое + + черн. узкое кольцо
Д814В1	9...10,5	32		зеленое кольцо
Д814В1	9...10,5	32		черное узкое кольцо
Д814Г1	10...12	29		желтое кольцо

1	2	3	4	5
Д814Г1	10...12	29		три узких черных кольца
Д814Д1	11,5...14	24		серое кольцо
Д818А	9...10,8	33	белое кольцо + + черная метка	
Д818Б	7,2...9	33	желтое кольцо + + черная метка	
Д818В	7,65...10,35	33	голубое кольцо + + черная метка	
Д818Г	7,65...10,35	33	зеленое кольцо + + черная метка	
Д818Д	7,65...10,35	33	серое кольцо + + черная метка	
Д818Е	7,65...10,35	33	оранжевое кольцо + + черная метка	
КС107А	0,63...0,77	100	красное кольцо + + серая метка	
КС126А	2,5...2,9	135	красное широкое + + фиолетовое + + белое узкие кольца	
КС126Б	2,8...3,2	125	оранжевое широкое + + черное + белое узкие кольца	
КС126В	3,1...3,5	115	оранжевое широкое + + оранжевое + белое узкие кольца	
КС126Г	3,7...4,1	95	оранжевое широкое + + два белых узких кольца	
КС126Д	4,4...5,0	85	желтое широкое + + фиолетовое + белое узкие кольца	
КС126Е	5,2...6,0	70	зеленое широкое + + голубое + белое узкие кольца	
КС126Ж	5,8...6,6	64	голубое широкое + + красное + белое узкие кольца	

1	2	3	4	5
КС126И	6,4...7,2	58	голубое широкое + серое + белое узкие кольца	
КС126К	7,0...7,9	53	фиолетовое широкое + зеленое + белое узкие кольца	
КС126Л	7,7...8,7	47	серое широкое + красное + белое узкие кольца	
КС126М	8,5...9,6	43	белое широкое + коричневое + белое узкие кольца	
КС133А	2,97...3,63	81	голубая полоса	белая полоса
2С133А	2,97...3,63	81	голубая полоса	черная полоса
2С133Б	3,0...3,7	30		две белых полосы
2С133В	3,1...3,5	37,5	оранжевая полоса + желтая метка	желтая метка
2С133Г, КС133Г	3,0...3,6	37,5	оранжевая полоса + серая метка	желтая метка
КС139А	3,51...4,29	70	зеленая полоса	белая полоса
2С139А	3,51...4,29	70	зеленая полоса	черная полоса
2С139Б	3,5...4,3	26		две черных полосы
КС147А	4,23...5,17	58	серая (голубая) полоса	белая полоса
2С147А	4,23...5,17	58	серая (голубая) полоса	черная полоса
2С147Б	4,1...5,2	21		две желтых полосы
2С147В	4,5...4,9	26,5	зеленая полоса + желтая метка	желтая метка
2С147Г		26,5	зеленая полоса + серая метка	желтая метка
КС156А	5,04...6,16	55	оранжевая полоса	белая полоса
2С156А	5,04...6,16	55	оранжевая полоса	черная полоса
2С156Б	5,0...6,4	18		две зеленых полосы
2С156В	5,3...5,9	22,5	красная полоса + желтая метка	желтая метка
2С156Г	5,0...6,2	22,5	красная полоса + серая метка	желтая метка

1	2	3	4	5
КС168А	6,12...7,48	45	красная полоса	белая полоса
2С168А	6,12...7,48	45	красная полоса	черная полоса
2С168Б	6,0...7,5	15		две голубых полосы
КС175Ж	7,1...7,9	17		корпус серый + белая полоса
2С175Ж	7,1...7,9	20	голубая метка + белая полоса	
2С175Ц	7,1...7,9	17	белая метка + белая полоса	желтая полоса
КС182Ж	7,4...9,0	15		корпус серый + желтая полоса
2С182Ж	7,8...8,7	18	голубая метка + желтая полоса	
2С182Ц	7,8...8,6	15	белая метка + желтая полоса	желтая полоса
КС191Ж	8,6...9,6	14		корпус серый + голубая полоса
2С191Ж	8,6...9,6	16	голубая метка + голубая полоса	
2С191Ц	8,6...9,6	14	белая метка + голубая полоса	желтая полоса
КС210Ж	9,0...11,0	13		корпус серый + зеленая полоса
2С210Ж	9,5...10,5	15	голубая метка + зеленая полоса	
2С210Ц	9,5...10,5	12,5	белая метка + зеленая полоса	желтая полоса
КС211Ж	10,4...11,6	12		корпус серый + синяя полоса
2С211Ж	10,4...11,6	14	голубая метка + синяя полоса	
2С211Ц	10,4...11,6	11,2	белая метка + синяя полоса	желтая полоса
КС212Ж	10,8...13,2	11		корпус серый + оранжевая полоса
2С212Ж	11,4...12,6	13	голубая метка + оранжевая полоса	

1	2	3	4	5
2С212Ц	11,4...12,6	10,6	белая метка + оранжевая полоса	желтая полоса
КС213Ж	12,3...13,7	10		корпус серый + черная полоса
2С213Ж	12,3...13,7	12	голубая метка + черная полоса	
КС215Ж	13,5...16,5	8,3		корпус черный + белая полоса
2С215Ж	14,2...15,8	10	голубая метка + белая полоса	черная полоса
КС216Ж	15,2...16,8	7,3		корпус черный + желтая полоса
2С216Ж	15,2...17,0	9,4	голубая метка + желтая полоса	черная полоса
КС218Ж	16,2...19,8	6,9		корпус черный + красная полоса
2С218Ж	17,0...19,0	8,3	голубая метка + голубая полоса	черная полоса
КС220Ж	19,0...21,0	6,2		корпус черный + зеленая полоса
2С220Ж	19,0...21,0	7,5	голубая метка + зеленая полоса	черная полоса
КС222Ж	19,8...24,2	5,7		корпус черный + синяя полоса
2С222Ж	20,9...23,1	6,8	голубая метка + синяя полоса	черная полоса
КС224Ж	22,8...25,2	5,2		корпус черный + голубая полоса
2С224Ж	22,8...25,2	6,3	голубая метка + оранжевая полоса	черная полоса
КС406А	7,7...8,7	15	серая полоса	белая полоса
КС406Б	9,4...10,6	12,5	белая полоса	оранжевая полоса
КС407А	3,1...3,5	100	красная полоса	голубая полоса
КС407Б	3,7...4,1	88	красная полоса	оранжевая полоса
КС407В	4,4...5,0	68	красная полоса	желтая полоса
КС407Г	4,8...5,4	59	красная полоса	зеленая полоса
КС407Д	6,4...7,2	42	красная полоса	серая полоса

1	2	3	4	5
КС508А	11,4...12,7	10,5	оранжевая полоса	зеленая полоса
КС508Б	13,8...15,6	8,5	желтая полоса	белая полоса
КС508В	15,3...17,1	7,8	красная полоса	зеленая полоса
КС508Г	16,8...19,1	7,0	голубая полоса	белая полоса
КС508Д	22,8...25,6	5,2	зеленая полоса	белая полоса
КС510А	9,0...11,0	79	оранжевая полоса	зеленая полоса
КС512А	10,8...13,2	67	желтая полоса	зеленая полоса

14.4. Цветной код варикапов

Варикап — полупроводниковый диод, действие которого основано на использовании зависимости емкости $p-n$ -перехода от обратного напряжения, предназначен для применения в качестве элемента с электрической управляемой емкостью (табл. 14.3).

Таблица 14.3

Тип прибора	$C_{ном}$, пФ	Добротность	$I_{пос}$, мкА	$U_{обр}$, В	$K_{пер}$	Цвет маркировочной точки (линии)
1	2	3	4	5	6	7
КВ102 (А...Д)	14...40	40 (100)	1	45 (80)		
2В102 (А-Ж)	20...37	40...100	1	45 (80)		оранжевая
КВ104 (А-Е)	90...192	100...150	5	45 (80)		оранжевая
2В104 (А-Е)	90...192	100...150	5	45 (80)		белая
КВ109А	2,3...2,8	300	0,5	25	4...5,5	
КВ109Б	2...2,3	300	0,5	25	4,5...6,5	красная
КВ109В	8...16	160	0,5	25	4...6	зеленая
КВ109Г	8...17	160	0,5	25	4	нет
КВС111А	29,7...36,3	200	1	30	2,1	
КВ111Б	29,7...36,3	150	1	30	2,1	оранжевая
2В113А	54,4...81,6	300	10	150	4,4	
КВ113А	54,4...81,6	300	10	150	4,4	желтая
2В113Б	54,4...81,6	300	10	115	11,5	оранжевая
КВ113Б	54,4...81,6	300	10	115	11,5	зеленая
КВ121А	4,3...6	200	0,5	30	7,6	синяя
КВ121Б	4,3...6	150	0,5	30	7,6	желтая
КВ122А	2,3...2,8	450	0,2	30	4...5,5	оранжевая
КВ122Б	2,0...2,3	450	0,2	30	4,5...6,5	фиолетовая
КВ122В	1,9...3,1	300	0,2	30	4...6	коричневая

1	2	3	4	5	6	7
2В124А	27				3	зеленая точка у анода
2В124Б	10				3	зеленая точка у катода
2В124В	8				3	белая точка у анода
КВ127А	230...280	140	0,5	32	20	белая
КВ127Б	230...260	140	0,5	32	20	красная
КВ127В	260...320	140	0,5	32	20	желтая
КВ127Г	230...320	140	0,5	32	20	зеленая

14.5. Рекомендации по замене диодов

Прежде всего необходимо заметить, что для успешной замены элементов конструкции нужно хорошо представлять принцип ее работы, уметь оценивать предельные характеристики (токи, напряжения и т.д.), которые определяют режимы работы различных узлов. В общем случае дать рекомендации по замене диодов практически невозможно. Здесь подойдет, пожалуй, лишь общее утверждение, что замена заведомо не ухудшит параметров устройства, если заменяющий элемент имеет лучшие, чем оригинал, характеристики по целому комплексу данных: по предельно допустимым токам и напряжениям, по предельно допустимой рассеиваемой мощности, по частотным и шумовым свойствам и т.д. При замене диодов в большинстве случаев бывает достаточно оценить воздействующее на диод обратное напряжение (постоянное и/или импульсное), протекающий через него прямой ток (постоянный и/или импульсный), допустимый обратный ток (обратное сопротивление диода) и, наконец, максимальные частоты воздействующих на диод сигналов. Диоды, шунтирующие обмотки реле, предназначены для защиты транзисторов от пробоя из-за ЭДС самоиндукции, возникающей при обесточивании реле. Они должны иметь максимально допустимое обратное напряжение не менее 25 В (напряжение источника питания этой части конструкции), частотные свойства не являются существенными. Такой параметр диода, как обратный ток, существует лишь в тех случаях, когда диод должен надежно развязывать элементы устройства в закрытом состоянии.

Примером может служить пиковый вольтметр (в последнее время все чаще используется в индикаторах уровня записи магнитофонов) — обратное сопротивление диода может существенно влиять на постоянную времени цепи разрядки. Прямое падение напряжения на диоде важно, в основном, когда он используется как элемент стабилизации низкого напряжения (0,5...2 В). Как известно, для кремниевых диодов оно лежит обычно в пределах 0,5...1,0 В, у германиевых диодов на германидоли вольт. В данном случае заменить кремниевые диоды на германиевые (удовлетворяющие по всем остальным параметрам), разумеется, нельзя.

15. ТРАНЗИСТОРЫ

Биполярный транзистор — полупроводниковый прибор с двумя взаимодействующими переходами, усилительные свойства которого обусловлены явлениями инжекции и экстракции неосновных носителей зарядов. Работа биполярного транзистора зависит от носителей обеих полярностей.

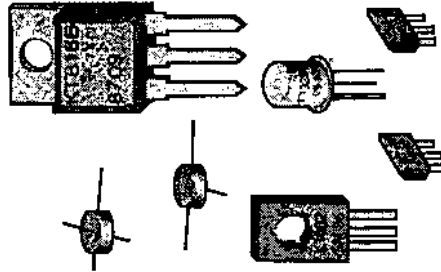
Полевой транзистор — полупроводниковый прибор, усилительные свойства которого обусловлены потоком основных носителей, протекающим через проводящий канал и управляемым электрическим полем. Действие полевого транзистора обусловлено носителями заряда одной полярности. Основой полевого транзистора является созданный в полупроводнике и снабженный двумя выводами (исток и сток) канал с электропроводностью n или p -типа. Сопротивлением канала управляет третий электрод (затвор), соединенный с его средней частью p - n -переходом.

15.1. Классификация и система обозначений

В основу системы обозначений современных типов транзисторов положен буквенно-цифровой код, установленный отраслевым стандартом ОСТ11 336.919-81. Он базируется на ряде классификационных признаков.

Первый элемент обозначает исходный материал, на основе которого изготовлен транзистор: Г(1) — для германия или его соединений; К(2) — для кремния или его соединений; А(3) — для соединений галлия (арсенида галлия, используемого для создания полевых транзисторов); И(4) — для соединений индия.

Второй элемент — буква, определяющая подкласс (группу) транзисторов: Т — для биполярных; П — для полевых транзисторов.



Третий элемент — цифра, определяющая основные функциональные возможности:

для транзисторов малой мощности ($P_{\text{max}} = 0,3 \text{ Вт}$):

максимальная граничная частота не более 3 МГц;

максимальная граничная частота от 3 до 30 МГц;

максимальная граничная частота более 30 МГц;

для транзисторов средней мощности ($P_{\text{max}} = 7,5 \text{ Вт}$):

максимальная граничная частота не более 3 МГц;

максимальная граничная частота от 3 до 30 МГц;

максимальная граничная частота более 30 МГц;

для транзисторов большой мощности (P_{max} более 1,5 Вт):

максимальная граничная частота не более 3 МГц;

максимальная граничная частота от 3 до 30 МГц;

максимальная граничная частота более 30 МГц.

Четвертый элемент — число, обозначающее порядковый номер работки.

Пятый элемент — буква, условно определяющая классификацию по параметрам транзистора, изготовленного по единой технологии.

Шестой элемент (дополнительный) — цифра от 1 до 9 для обозначения модернизаций транзистора, приводящих к изменению его конструкции или электрических параметров; буква С — для обозначения наборов в общем корпусе однотипных транзисторов; цифра, написанная через дефис, — для бескорпусных транзисторов:

с гибкими выводами без подложки;

гибкими выводами на подложке;

жесткими выводами без подложки;

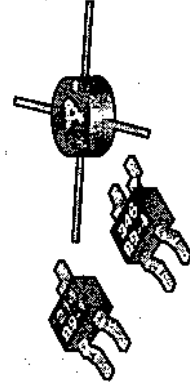
жесткими выводами на подложке;

контактными площадками без

подложки и без выводов;

контактными площадками на под-

ложке, но без выводов.



15.2. Цветовая и кодовая маркировка отечественных транзисторов

При маркировке транзисторов, изготовленных в корпусах КТ-2 (ТО-126), КТ-26(ТО-92), применяются кодовую (символьную) или цветовую (нанесенную точками различных цветов) маркировку. Из-за отсутствия единого стандарта в странах СНГ можно встретить транзисторы одного типа и группы, которые маркируются по-разному, или на разные транзисторы (ИМС) наносит одинаковую символику (код). Отличается подобная маркировка дополнительной окраской торцевой поверхности, или конструктивным исполнением (поколевкой), или длиной последовательно расположенных выводов. Полная и сокращенная маркировка маломощных и транзисторов средней мощности выполняется с помощью цветных точек (двух или четырех) или с помощью мнемоники в виде геометрических фигур (символов). При полной маркировке на корпус транзистора наносится ТИП, ГРУППА, ДАТА ВЫПУСКА (табл. 15.1—15.3).

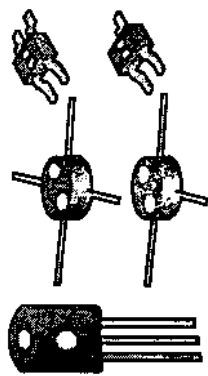


Таблица 15.1

Обозначение типа транзистора		Обозначение группы транзистора	
Полное наименование	Цветовая маркировка	Буквенный код	Цветовой код
КТ645	серебристая	К	серая
КТ503	белая	И	светло-голубая
КТ502	светло-желтая	Ж	темно-коричневая
КТ368	одна (две) точка	Е	белая
КТ342	синяя	Д	синяя
КТ339	голубая	Г	голубая
КТ3126		М	оранжевая
КТ3117	светлая точка	Л	серебристая
КТ209	серая	В	темно-зеленая
КТ208	оранжевая	Б	желтая
КТ203	темно-красная	А	темно-красная

При сокращенной маркировке дату выпуска опускают, указывая ее только на вкладыше упаковки.

Цветовая двухточечная маркировка отечественных транзисторов в пластмассовом корпусе:



КТ203А — две темно-зеленые точки; КТ371А — две синие точки; КТ208М — две оранжевые точки; КТ372Б, КТ382А — две черные точки; КТ209К — две серые точки; КТ382Б — две красные точки; КТ3112Д — две синие точки...

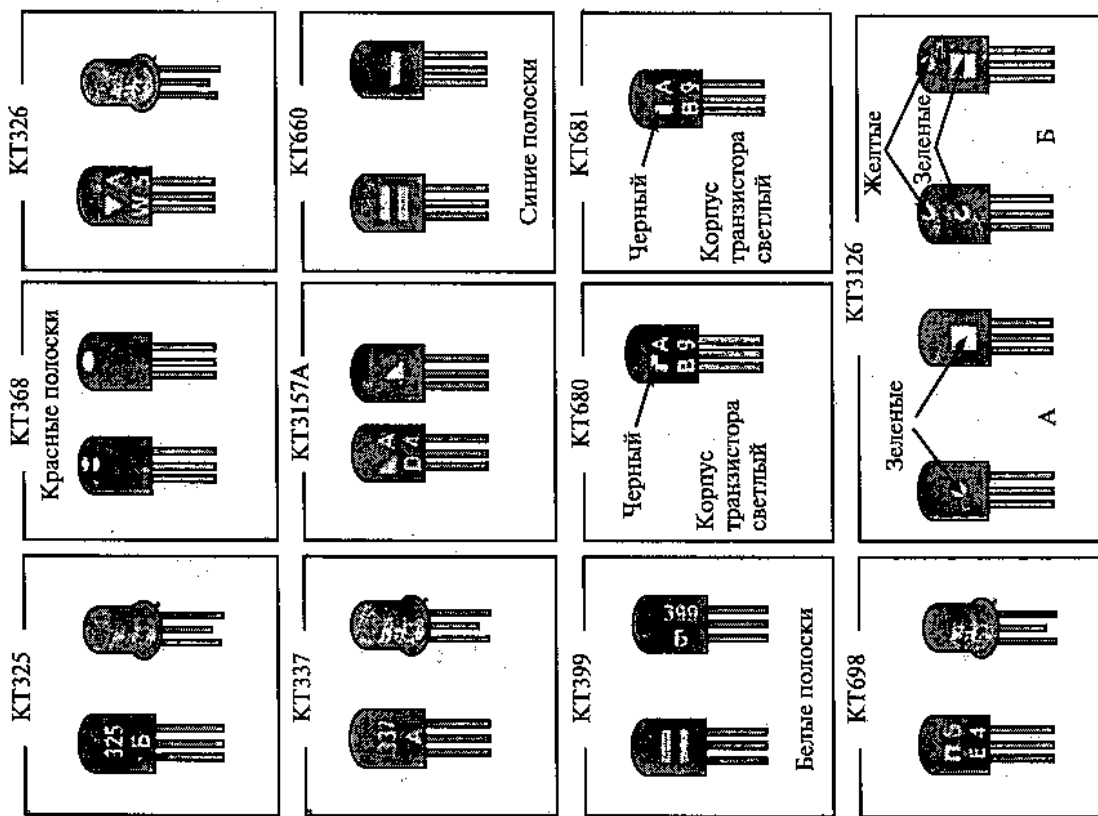
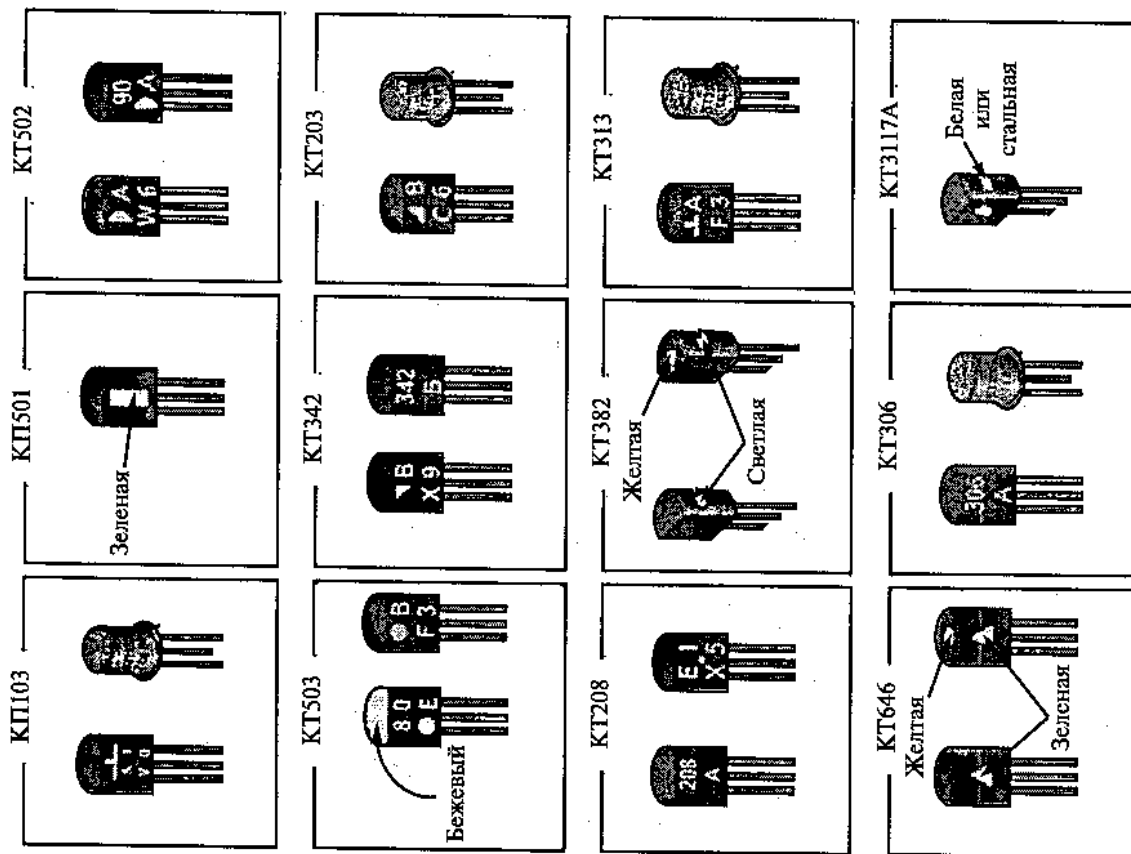
Таблица 15.2

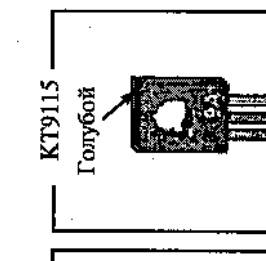
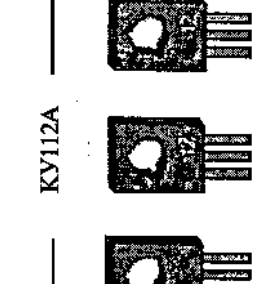
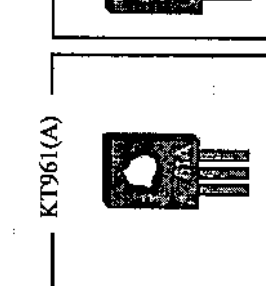
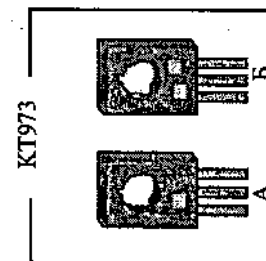
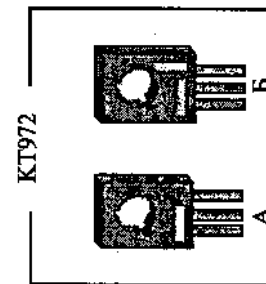
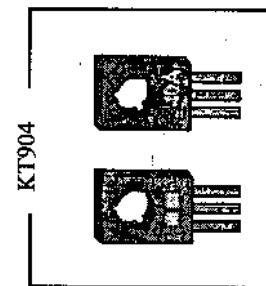
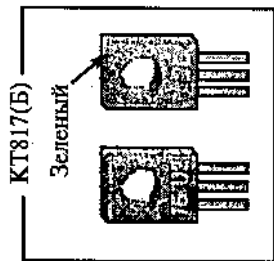
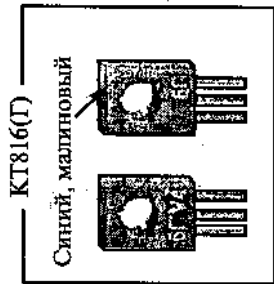
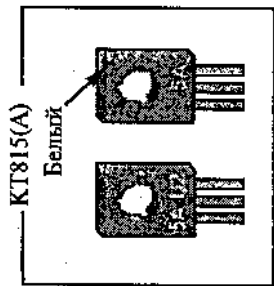
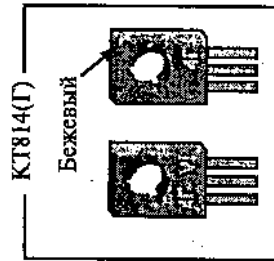
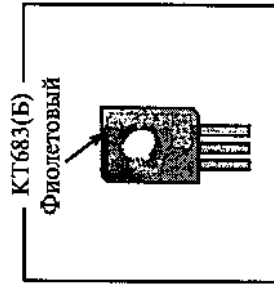
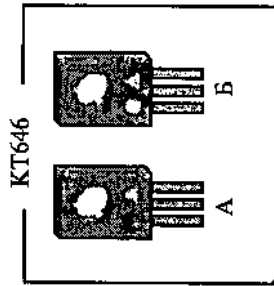
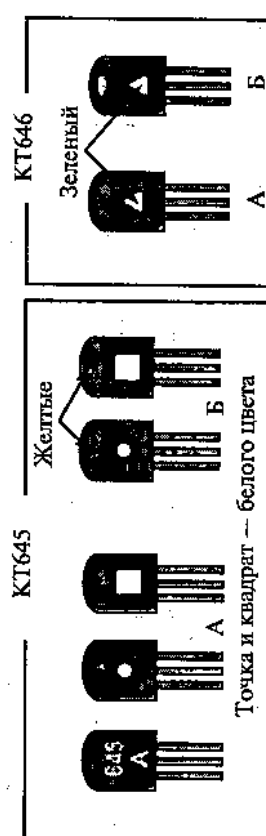
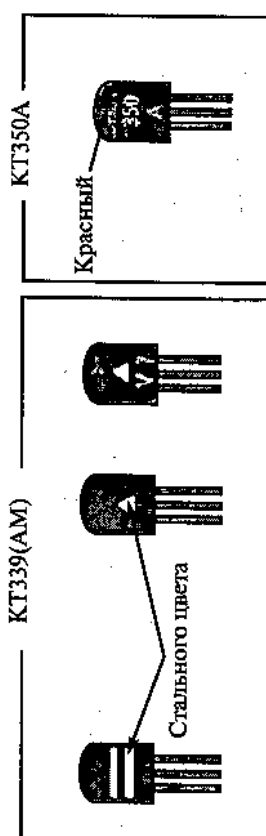
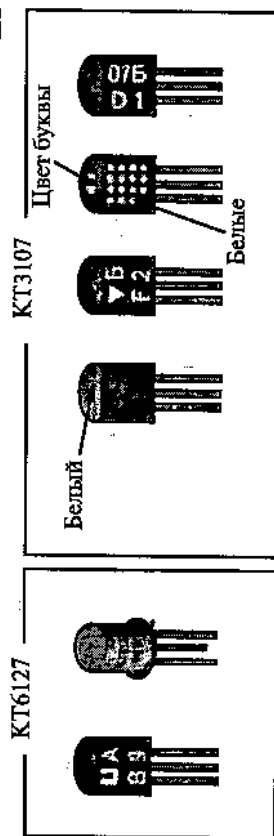
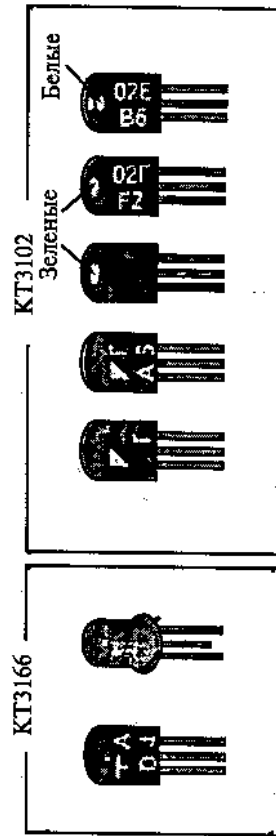
Группа транзистора		Год выпуска	
Обозначение	Цветовая маркировка	Обозначение	Цветовая маркировка
А	розовая	1977	бежевая
Б	желтая	1978	салатовая
В	синяя	1979	оранжевая
Г	бежевая	1980	электрик
Д	оранжевая	1981	бирюзовая
Е	электрик	1982	белая
Ж	салатовая	1983	красная
И	зеленая	1984	коричневая
К	красная	1985	зеленая
Л	серая	1986	голубая

Таблица 15.3

Тип транзистора		Месяц выпуска	
Обозначение	Маркировка	Обозначение	Маркировка
КТ326	коричневая	январь	бежевая
КТ337	красная	февраль	синяя
КТ345	бежевая	март	зеленая
КТ349	синяя	апрель	красная
КТ350	серая	май	салатовая
КТ351	желтая	июнь	серая
КТ352	зеленая	июль	коричневая
КТ363	розовая	август	оранжевая
КТ645	белая	сентябрь	электрик
КТ3107	голубая	октябрь	белая
		ноябрь	желтая
		декабрь	голубая

Ниже представлена маркировка транзисторов и тиристоров в корпусе КТ = 27(ТО-126).





Маркировка СВЧ-транзисторов, применяемых в селекторах каналов и антенных усилителях, приведена в табл. 15.4.

Таблица 15.4

Тип транзистора	Область применения	Цветовая маркировка	$F_{гр}$ ГГц	$K_{ш}$ дБ	$U_{сб}$ В	$U_{сб}$ В
1	2	3	4	5	6	6
ЗП604А-2	лин. усилитель	красная точка				
ЗП604Б-2	лин. усилитель	синяя точка				
ЗП604В-2	лин. усилитель	черная точка				
ЗП604Г-2	лин. усилитель	белая точка				
КТ3109А	лин. усилитель	розовая + белая точка	0,8	6	20	20
КТ3109Б	лин. усилитель	желтая + белая точка	0,8	7	20	20
КТ3109В	лин. усилитель	синяя + белая точка	0,6	8	20	20
1Т3110А-2	лин. усилитель	зеленая точка	2,5	7,5	10	10
2Т3115А-2	лин. усилитель	красная точка	7	4,5	10	10
2Т3115Б-2	лин. усилитель	желтая точка	7	4,6	10	10
КТ3115А-2	лин. усилитель	красная полоса*	7	4,5	10	10
КТ3115Б-2	лин. усилитель	желтая полоса*	7	4,6	10	10
КТ3115В-2	лин. усилитель	синяя полоса*	7	6	10	10
2Т3120А	лин. усилитель	белая точка	1,8	2,2	15	15
КТ3120А	лин. усилитель	две белые точки	1,8	2,2	15	15
2Т3124А-2	лин. усилитель	красная точка*	7,5	4,3	10	10
2Т3124Б-2	лин. усилитель	желтая точка*	7,5	4,5	10	10
2Т3124В-2	лин. усилитель	черная точка*	7,5	3,3	10	10
2Т3132А-2	лин. усилитель	синяя точка*	6,5	2,3	10	10
2Т3132Б-2	лин. усилитель	красная точка*	6,5	4,3	10	10
2Т3132В-2	лин. усилитель	желтая точка*	6,5	4,5	10	10
2Т3132Г-2	лин. усилитель	черная точка*	6,5	3,3	10	10
КТ323А-2	лин. усилитель	кодовый знак + черная точка	0,4	4	20	20
КТ323Б-2	лин. усилитель	кодовый знак + синяя точка	0,4	4	20	20
ЗП324А-2	лин. усилитель	красная точка	12	3,3	4	4
ЗП324Б-2	лин. усилитель	синяя точка	12	4,9	4	4
ЗП325А-2	лин. усилитель	черная полоса	8	2	2,5	2,5

Продолжение табл. 15.4

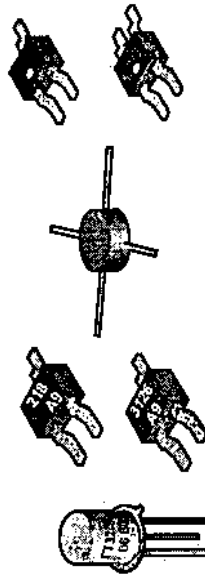
1	2	3	4	5	6
КТ325А-2	лин. усилитель	черная полоса + черная точка	8	2	2,5
ЗП326А-2	лин. усилитель	без маркировки	17,4	4,5	2,5
ЗП326Б-2	лин. усилитель	черная точка	17,4	5,5	2,5
КТ326АМ	лин. усилитель	две желтые точки	17,4	4,5	2,5
КТ326БМ	лин. усилитель	желтая точка	17,4	5,5	2,5
КТ327АМ	лин. усилитель	белая точка	0,8	4,5	18
КТ327БМ	лин. усилитель	две белых точки	0,8	3	18
КТ328А-2	лин. усилитель	черная точка	8	4,5	6
КТ329А	лин. усилитель	цветная точка	0,2	—	50
КТ329Б	лин. усилитель	две цветные точки	0,2	—	50
ЗП330А-2	лин. усилитель	без маркировки	17,4	6	3
ЗП330Б-2	лин. усилитель	белая точка	17,4	4,5	3
ЗП330В-2	лин. усилитель	черная точка	17,4	3,5	3
ЗП343А-2	лин. усилитель	две черные точки	12	2	3,5
ЗП344А-2	лин. усилитель	черная точка	4	1	4,5
2Т371А	лин. усилитель	синяя точка	3,6	4	10
КТ371А	лин. усилитель	две синие точки	3	5	10
КТ371АМ	лин. усилитель	две синие полосы	3	5	10
2Т372А	лин. усилитель	зеленая точка	4,35	2,9	15
2Т372Б	лин. усилитель	черная точка	4,8	3,5	15
2Т372В	лин. усилитель	белая точка	5,4	3,8	15
КТ372А	лин. усилитель	две зеленые точки	4,35	2,9	15
КТ372Б	лин. усилитель	две черные точки	4,8	3,5	15
КТ372В	лин. усилитель	две белые точки	5,4	3,8	15
2Т382А	лин. усилитель	черная точка	1,8	3	15
2Т382Б	лин. усилитель	красная точка	2,25	4,5	15
КТ382А	лин. усилитель	две черные точки	1,8	3	15
КТ382Б	лин. усилитель	две красные точки	2,25	4,5	15
1Т387А-2	лин. усилитель	черная точка	3	2,5	10
1Т387Б-2	лин. усилитель	белая точка	4	3	10
2Т391А-2	лин. усилитель	черная точка	6	3,5	15
2Т391Б-2	лин. усилитель	белая точка	4	5,2	15

1	2	3	4	5	6
КТ391А-2	лин. усилитель	две черные точки	6	3,5	15
КТ391Б-2	лин. усилитель	две белые точки	4	5,2	15
КТ391В-2	лин. усилитель	две синие точки	3	6	15
2Т671А-2	м-шум. усилитель	символ «Г» (черным цветом)	2...8,5	2	13
2Т682А-2	м-шум. усилитель	символ «V» (и синяя точка*)	4,4...5,7	2,5	10
2Т682Б-2	м-шум. усилитель	символ «V» (и черная точка*)	4,4...5,7	3	10
2Т691А	м-шум. усилитель	символ «+» (черным цветом)	3	2	40
КТ9145А9	кл. каскад	символ «6А»	0,07	—	500
КТ9144А9	кл. каскад	символ «5А»	0,04	—	500
2Т9137А	лин. усилитель	символ «Р»	4...5,5	3,5	22
2Т687АС-2	лин. усилитель	черная точка	0,3	—	70
2Т687БС-2	лин. усилитель	белая точка	0,3	—	60
КП327А	селект. канал	белая точка	0,8	3,9	14
КП327Б	селект. канал	две белые точки	0,2	2,8	14
КП327В	селект. канал	красная точка	0,8	4,5	14
КП327Г	селект. канал	две красные точки	0,2	3,0	14
КП346А-9	селект. канал	белая точка	0,8	3,5	14
КП346Б-9	селект. канал	желтая точка	0,8	4,5	14
КП346В-9	селект. канал	без маркировки	0,2	1,9	14
ЗП606А-2	УВЧ, преобр.	черная точка	12	4	8
ЗП606Б-2	УВЧ, преобр.	две черные точки	12	6	8
ЗП606В-2	УВЧ, преобр.	три черные точки	12	5	8
ЗП608А-2	УВЧ, преобр.	желтая точка	26	5	7
ЗП608Б-2	УВЧ, преобр.	две желтые точки	26	6	7
ЗП608В-2	УВЧ, преобр.	зеленая точка	26	7	7
ЗП927А-2	УВЧ, преобр.	красная точка	17	3,5	7
ЗП927Б-2	УВЧ, преобр.	белая точка	17	5,5	7
ЗП927В-2	УВЧ, преобр.	черная точка	17	5,3	7
ЗП927Г-2	УВЧ, преобр.	красная + белая точки	17	3,3	7

1	2	3	4	5	6
ЗП927Д-2	УВЧ, преобр.	красная + черная точки	26	3,5	7
2П312А	лин. усилитель	желтая точка	0,4	2	25
2П312Б	лин. усилитель	синяя точка	0,4	3	25
КП312А	лин. усилитель	две желтые точки	0,4	2	25
КП312Б	лин. усилитель	две синие точки	0,4	3	25
КП320А-2	лин. усилитель	красная точка	8	4	4
КП320Б-2	лин. усилитель	зеленая точка	8	5	4
КТ396А9	усилитель УВЧ	зеленая точка	0,3	—	15
КТ3106А9	усилитель УВЧ	синяя точка	0,12	—	15
2Т655А9	усилитель УВЧ	символ «2А»	0,2	—	120
2Т655Б9	усилитель УВЧ	символ «2Б2»	0,2	—	120
2Т664А-9	усилитель УВЧ	символ «21А»	0,14	—	120
2Т664Б-9	усилитель УВЧ	символ «1Б»	0,14	—	120

Примечание. Тип транзистора указывается на упаковочной таре. Маркировка наносится у базового вывода транзистора.

*Маркировка наносится между базовым и эмиттерным выводами транзистора.



Маркировка даты изготовления наносится на корпусе транзистора буквенно-цифровым кодом в соответствии с приведенными ниже табл. 15.5 и табл. 15.6.

Таблица 15.5

Месяц выпуска	Код	Месяц выпуска	Код	Месяц выпуска	Код
январь	1	май	5	сентябрь	9
февраль	2	июнь	6	октябрь	0
март	3	июль	7	ноябрь	N
апрель	4	август	8	декабрь	D

Таблица 15.6

Год выпуска	Код	Год выпуска	Код	Год выпуска	Код
1977	L	1983	R	1989	X
1978	M	1984	S	1990	A
1979	N	1985	T	1991	B
1980	O	1986	U	1992	C
1981	P	1987	V	1993	D
1982	Q	1988	W	1994	E
				2000	M

15.3. Рекомендации по подбору и замене транзисторов

Подбор заменяющих транзисторов более сложен из-за большого числа параметров, по которым он производится. Но схема анализа возможных вариантов остается прежней. Начинают с оценки действующих в узлах устройства токов и напряжений. Максимально допустимое напряжение «коллектор—эмиттер» транзистора должно быть больше, чем максимальное (с учетом переменной составляющей) напряжение, действующее на этом участке. В узлах, где имеется значительная переменная составляющая, ее необходимо учитывать при выборе транзистора. Примером могут служить предоконечные и двухтактные каскады усилителей звуковой частоты. Постоянное напряжение, приложенное между коллекторами и эмиттерами транзисторов в этих каскадах, составляет половину напряжения источника питания (при однополярном питании). Однако здесь действует переменное напряжение с амплитудой, близкой к половине напряжения источника. Таким образом, реально напряжение «коллектор—эмиттер» в данном случае изменяется практически от нуля до полного напряжения источника питания. Естественно, что транзисторы в оконечном и предоконечном каскаде должны иметь соответствующее максимально допустимое напряжение «коллектор—эмиттер». Оценив возможность замены из имеющихся транзисторов по данному параметру, следует аналогичным образом проверить, подходит ли он по максимально допустимому току коллектора и по мощности, рассеиваемой на коллекторе. Во многих случаях критичным может оказаться выбор транзистора по статическому коэффициенту передачи тока. Однако при больших потребляемых токах или низкоомных нагрузках (в частности, в усилителях звуковой частоты) значение статического коэффициента передачи тока транзистора может быть уже критичным. В любом случае при замене следует оценить, обеспечат ли предшествующие каскады необходимый ток в нагрузке (по постоянной и/или переменной составляющим) при минимально допустимом значении этого коэффициента. И, наконец, необходимо проверить, подходит ли заменяющий транзистор по частотным характеристикам.

16. ИНТЕГРАЛЬНЫЕ СТАБИЛИЗАТОРЫ

Обозначение стабилизатора наносит на корпус МС типа 402.16-7 (4116.4-3; 4116.8-2; 201.14-1; 2102.14-1) полным наименованием. Однако в последнее время заводы-изготовители ставят сокращенное обозначение (номер серии МС опускают). На металлокерамические (пластмассовые) корпуса наносят кодовую маркировку, состоящую из буквы К и двух цифр для серии К142 или двух цифр для серии 142. Все последние знаки несут служебную информацию. Коды маркировки представлены в табл. 16.1.

Таблица 16.1

Тип микросхемы	$U_{ст}$, В	$I_{ст}$, А	Кодовое обозначение
1	2	3	4
K142ЕН1А КР142ЕН1А	3...12 ± 0,3	0,15	K06
K142ЕН1Б КР142ЕН1Б	3...12 ± 0,1	0,15	K07
K142ЕН1В КР142ЕН1В	3...12 ± 0,5	0,15	K27
K142ЕН1Г КР142ЕН1Г	3...12 ± 0,5	0,15	K28
K142ЕН2А КР142ЕН2А	3...12 ± 0,3	0,15	K08
K142ЕН2Б КР142ЕН2Б	3...12 ± 0,1	0,15	K09
K142ЕН2В КР142ЕН2В	3...12 ± 0,5	0,15	K29
K142ЕН2Г КР142ЕН2Г	3...12 ± 0,5	0,15	K30
142ЕН3	3...30 ± 0,05	1 ± 0,25	10
K142ЕН3А К142ЕН3Б	3...30 ± 0,05 3...30 ± 0,05	1 ± 0,25 0,75 ± 0,33	K10 K31

Продолжение табл. 16.1

1	2	3	4
142EH4	1,2...15 ± 0,1	0,3 ± 0,1	11
K142EH4A	1,2...15 ± 0,1	0,3 ± 0,1	K11
K142EH4B	3...15 ± 0,1	0,3 ± 0,27	K32
142EH5A	4,9...5,1	1,5 ± 1	12
K142EH5A	4,9...5,1	1,5 ± 1	K12
KP142EH5A	5,88...6,12	1,5 ± 1	K32
142EH5B	4,9...5,15	1,0 ± 1	14
K142EH5B	4,9...5,15	1,0 ± 1	K14
KP142EH5B	8,8...6,12	1,0 ± 1	K36
142EH5Г	8,8...6,12	1,0 ± 1	15
K142EH5Г	8,8...6,12	1,0 ± 1	K15
KP142EH5Г	4,9...5,1	1,5 ± 1	K12
142EH6A*	14,985...15,015	0,2 ± 0,08	16
K142EH6A*	14,95...15,05	0,2 ± 0,08	K16
KP142EH6A*	14,975...15,025	0,2 ± 0,3	17
142EH6B*	14,925...15,075	0,2 ± 0,3	42
K142EH6B*	14,7...15,3	0,2 ± 0,2	43
KP142EH6B*	14,7...15,3	0,2 ± 0,2	K17
142EH6Г*	14,5...15,5	0,2 ± 0,3	K33
K142EH6Г*	14,5...15,5	0,2 ± 0,3	K34
KP142EH6Г*	14,0...16,0	0,2 ± 0,2	K48
142EH6Д*	14,0...16,0	0,2 ± 0,2	K49
K142EH6Д*	14,0...16,0	0,2 ± 0,2	K48
KP142EH6Д*	14,0...16,0	0,2 ± 0,2	K49

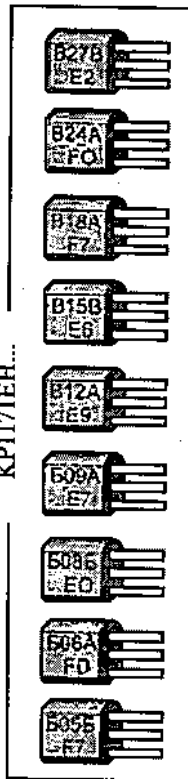
Продолжение табл. 16.1

1	2	3	4
142EH8A	8,73...9,27	1,5 ± 0,67	18
K142EH8A	11,64...12,36	1,5 ± 0,67	K18
KP142EH8A	14,55...15,45	1,5 ± 0,67	20
142EH8B	8,73...9,27	1,5 ± 0,67	K19
K142EH8B	11,64...12,36	1,5 ± 0,67	K19
KP142EH8B	14,55...15,45	1,5 ± 0,67	K20
142EH8Г	8,64...9,36	1,0 ± 0,67	K35
K142EH8Г	8,64...9,36	1,0 ± 0,67	K35
KP142EH8Г	11,52...12,48	1,0 ± 0,67	K36
142EH8Д	14,40...15,60	1,0 ± 0,67	K37
K142EH8Д	14,40...15,60	1,0 ± 0,67	K37
KP142EH8Д	19,6...20,45	1,5 ± 0,67	21
142EH9A	23,52...24,49	1,5 ± 0,67	22
K142EH9A	23,52...24,49	1,5 ± 0,67	K21
KP142EH9A	26,46...27,59	1,5 ± 0,67	23
142EH9B	19,6...20,45	1,5 ± 0,67	K22
K142EH9B	19,6...20,45	1,5 ± 0,67	K22
KP142EH9B	23,52...24,49	1,5 ± 0,67	K23
142EH9Г	26,46...27,59	1,5 ± 0,67	K23
K142EH9Г	26,46...27,59	1,5 ± 0,67	K23
KP142EH9Г	19,4...20,6	1,0 ± 0,67	K38
142EH9Д	23,28...24,73	1,0 ± 0,67	K39
K142EH9Д	23,28...24,73	1,0 ± 0,67	K39
KP142EH9Д	26,19...27,82	1,0 ± 0,67	K40
142EH10	3...30	1,0 ± 0,2	24
K142EH10	3...30	1,0 ± 0,2	K24
KP142EH10	3...30	1,0 ± 0,1	K24
142EH11	1,2...37	1,5 ± 0,5	25
K142EH11	1,2...37	1,5 ± 0,5	K25
KP142EH11	1,2...37	1,5 ± 1,0	K25
142EH12	1,2...37	1,5 ± 1,0	47
K142EH12	1,2...37	1,5 ± 1,0	47

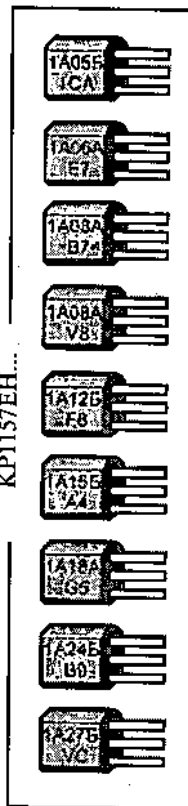
1	2	3	4
K142EH12			
KP42EH12	1,2...37	1,5±2,0	K47
K14EП1A	—	—	K24
K142EП1B	—	—	K25

Примечание. Знаком (*) обозначены двухполярные интегральные стабилизаторы.

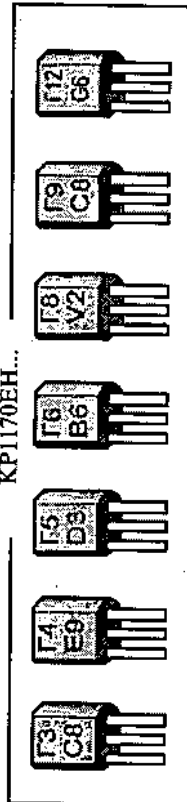
KP1171EH...



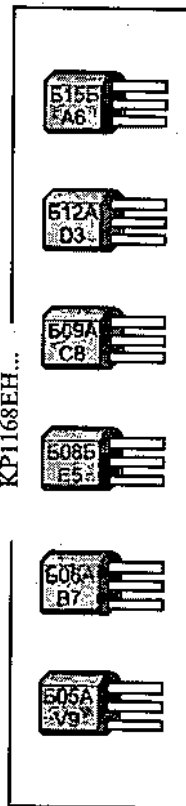
KP1157EH...



KP1170EH...



KP1168EH...



17. НЕКОТОРЫЕ ОТЕЧЕСТВЕННЫЕ МИКРОСХЕМЫ И ИХ ЗАРУБЕЖНЫЕ АНАЛОГИ

Современный прогресс в развитии микросхемной техники породил громадный поток разнообразных микросхем, а информационный обмен и интеграция в технических устройствах создали широчайшие возможности для их взаимозамены. В табл. 17.1 приводится в основном перечень микросхем, наиболее часто применяемых в железнодорожной аппаратуре.

Таблица 17.1

Тип микросхемы	Функциональное назначение	Аналог (прототип)
1	2	3
KP123УН1А	Усилитель звуковой частоты	ТAA960
K140УД5А(Б)	Операционные усилители общего назначения	СА3030
K140УД6А(Б)	Операционные усилители общего назначения с выхода при КЗ в нагрузке	HA2605, MC1456С
KP140УД608	То же	MC1456
K140УД7А(Б)	Операционные усилители общего назначения с внутренней частотной коррекцией и защитой выхода при КЗ в нагрузке	A741, MC1741, MP5502, PC741, PM741, PC741, CA741, SFC2741
KP140УД708	То же	TA7504
KP140УД9	Универсальный операционный усилитель с защитой от превышений напряжений по входу и защитой выхода при КЗ в нагрузке	A709
KP140УД10	Быстродействующий ОУ, имеющий повышенную скорость нарастания выходного напряжения и малое время установления	LM118
KP140УД11	Быстродействующий ОУ, имеющий повышенную скорость нарастания выходного напряжения и малое время установления	LM318
KP140УД1101	Быстродействующий ОУ, имеющий повышенную скорость нарастания выходного напряжения и малое время установления	A318, PC159A, NJM318

1	2	3
К140УД12, КР140УД1208	ОУ с регулируемым током потребления, внутренней частотной коррекцией и защитой выходного каскада от КЗ в нагрузке	A776, HA2720, MC1776
К140УД14Б, КР140УД14Б, КР140УД14086	Прецизионный ОУ с малыми входными токами и малой потребляемой мощностью	LM308N, MP0P308, SFC2308, A308, 156A
К140УД17А, К140УД17Б	Прецизионный ОУ с малым напряжением смещения и высоким коэффициентом усиления напряжения	OP-07E
К140УД170А, КР140УД17А, КР140УД17АБ	Прецизионный ОУ с малым напряжением смещения и высоким коэффициентом усиления напряжения	ADOP07, HAOP07 ЦРС354
К140УД18, 140УД18	Универсальный ОУ с малыми входными токами и внутренней частотной коррекцией	LF355, MP355, TDB0155
К140УД20А, К140УД20Б, КР140УД20	Сдвоенные операционные усилители с внутренней частотной коррекцией	ЦА747С, MC1747, и РС251, LM747, OP04, RC747
К140УД22, К140УД2201	ОУ с малыми входными токами, высокой частотой единичного усиления, внутренней частотной коррекцией и высокой скоростью нарастания выходного напряжения	LF356, MP356, TDB0156, PC356C
К140УД22	Широкополосный ОУ (+12 В)	LF356H
140УД23	Быстродействующий ОУ с малыми входными токами	LF157H
К153УД2, К153УД6	Низкочастотный операционный усилитель	LM301, LM101, LM201
К157УД2	Сдвоенный низкочастотный ОУ	LM301
К157ХП4	БИС системы шумоподавления	LM1894
К171УВ1А,Б	Широкополосный регулируемый усилитель	SL610
К171УВ2	Широкополосный видеоусилитель	MA733
К171УР1	Усилитель промежуточной частоты с электронной регулировкой усиления	SL501
К174АФ1А	Селектор синхронизмпульсов, генератор строчной развертки и формирователь КСИ	TBA920, TAA700
К174АФ4	RGB-матрица и регулятор цветовой насыщенности	TBA530

1	2	3
К174АФ5	RGB-матрица цветových сигналов с фиксацией уровня «черного» и баланса «белого»	TBA2530
К174ГЛ1	Многофункциональная БИС кадровой развертки	TDA1170, UL1265
К174ГЛ1А	Многофункциональная БИС кадровой развертки	TDA1270
К174ГЛ2	Многофункциональная БИС кадровой развертки	TEA1120, TEA1020
КР174СФ1	Набор функциональных блоков для построения ИВП	TEA1020
К174КП1	Аналоговый мультиселектор на четыре двухканальных входа и один выход в каждом канале	TDA1029
К174КН1	Аналоговый коммутатор	SAS560
К174КН2	Аналоговый коммутатор	SAS570
К174ПС4	Двойной балансный смеситель	S042P
К174УК1	Схема регулятора яркости, контрастности, насыщенности и формирователь «зеленого» цветоразностного сигнала	TCA660, MSA660
К174УН4А, К174УН4Б	Усилитель мощности низкочастотный (1,5 Вт)	TAA300
К174УН7	Усилитель мощности низкочастотный (4,5 Вт)	TBA805(S), A205K
К174УН9А, К174УН9Б	УЗЧ с защитой от короткого замыкания и перегрева (5 Вт; 0,04...20 кГц)	TCA940, TBA810, A210, UL1481
К174УН10А, Б	Двухканальный электронный регулятор тембра	TCA740А, A274
К174УН11	Усилитель мощности НЧ (15 Вт)	TDA2020
К174УН12	Двухканальный электронный регулятор громкости и баланса	TCA730А, A273
К174УН13	Усилитель записи с АРУ и предварительный усилитель воспроизведения	TDA1002А
К174УН14	Усилитель мощности 34 (4,5 Вт)	TDA2003
К174УН15	Двухканальный УЗЧ с защитой от короткого замыкания и перегрева (2 × 9 Вт; 0,03...20 кГц)	TDA2004
КФ174УН17	Двухканальный усилитель низкой частоты с выходом на стереотелефоны	TA7688

Продолжение табл. 17.1

1	2	3
K174УН18	Двухканальный усилитель мощности (2 Вт) для переносной аппаратуры	AN7145M
K174УН19	Усилитель мощности НЧ (15 Вт)	TDA2030
K174УП1	Усилитель яркостного сигнала и устройство электронной регулировки размаха выходного сигнала, привязки и регулировки уровня «черного»	TBA970, A270
K174УП2	Логарифмический видеоусилитель	TL441CN
K174УР1	УПЧ ЧМ, ЧМ-демодулятор, предварительный УНЧ	TBA120S
K174УР2А(Б)	УПЧ канала изображения, 180 мкВ, 50 дБ	TDA440
K174УР3	ЧМ-тракт радиоприемника, предварительный УЗЧ	TBA120
K174УР4	УПЧЗ, усилитель-ограничитель, ЧМ-демодулятор, предварительный УНЧ, регулятор выходного сигнала	TBA120U, UL1244
K174УР5	УПЧ канала изображения, видеомодулятор, устройство обработки видеосигнала, АРУ и АПЧ	TDA2541, A241
K174УР6	Усилитель промежуточной частоты звука с низкой промежуточной частотой	TBA120T
K174УР7	Экономичный тракт обработки ЧМ-сигнала с низкой промежуточной частотой	TCA770
K174УР8	Усилитель 2-й промежуточной частоты в квазипараллельном канале звука телевизора	TDA2545
K174УР10	Усилитель промежуточной частоты изображения и звука	TDA1236, SL 430
K174УР11	Многофункциональная БИС усиления УПЧЗ, регулировок громкости и тембра по НЧ и ВЧ, коммутация сигналов звукового сопровождения в режимах «запись/воспроизв.» видеоманитфона	TDA1236
K174УР12	Усилитель промежуточной частоты изображения	TDA4420, TDA2549
K174ХА1	Демодулятор цветowych сигналов SECAM	TBA510, 1/2 TCA660
K174ХА2	Многофункциональная микросхема приемного тракта АМ приемников	TCA440, A244

Окончание табл. 17.1

1	2	3
K174ХАЗА, K174ХАЗБ	Компандерный шумоподавитель DOLBY-B	NE545B, NE646, LM1111
K174ХА4	Интегральная микросхема фазовой автоподстройки частоты	NE561
K174ХА5	Интегральная микросхема для ЧМ-тракта радиовещания	TDA1047
K174ХА6	Интегральная микросхема для усиления, ограничения и детектирования ЧМ-сигнала	TDA1047
K174ХА26	Многофункциональная БИС приемного устройства ЧМ-сигналов	MC3359
K174ХА34	РПУ для приема ЧМ и предварительного УНЧ	TDA7021, TDA7010
K175УВ4	ВЧ-усилитель-преобразователь	CA3005, CA3028
KP521CA4	Быстродействующий компаратор	NE527N
K521CA6	Сдвоенный компаратор	MA1319
K526ПС1	Двойной балансный смеситель	MC1596
K526УР1	Усилитель-ограничитель с частотным детектором	TBA120
K528УП1	Генератор	TAA960

18. ТРАНСФОРМАТОРЫ

18.1. Основные термины и определения (ГОСТ 20938—75, ГОСТ 16110—82)

Трансформатор — статическое электромагнитное устройство, имеющее две или более индуктивно связанные обмотки и предназначенные для преобразования посредством электромагнитной индукции одной или нескольких систем переменного тока в одну или несколько других систем переменного тока.

Силовой трансформатор — трансформатор, преобразующий электрическую энергию в электрических сетях и установках, предназначенных для приема и использования электрической энергии. К силовым трансформаторам относятся трансформаторы трехфазные и многофазные мощностью 6,3 кВА и более.

Трансформаторы малой мощности — трансформатор с выходной мощностью 4 кВА и ниже для однофазных, 5 кВА и ниже для трехфазных.

Коэффициент трансформации трансформатора малой мощности — отношение числа витков вторичной обмотки к числу витков первичной обмотки (или отношение напряжений на зажимах двух обмоток в режиме холостого хода).

Трансформаторы питания электронной аппаратуры — трансформаторы малой мощности, предназначенные для преобразования напряжения питания электрических сетей в напряжения, необходимые для питания электронной аппаратуры.

Сигнальный трансформатор — трансформатор малой мощности, предназначенный для передачи, преобразования, запоминания электрических сигналов.

Согласующий сигнальный трансформатор — сигнальный трансформатор, предназначенный для согласования разных полных сопротивлений электрических цепей при преобразовании и передаче электрических сигналов.

Импульсный сигнальный трансформатор — сигнальный трансформатор, предназначенный для передачи, формирования и запоминания импульсных сигналов.

Входной и выходной согласующие трансформаторы — согласующие сигнальные трансформаторы для согласования полного внутреннего сопротивления источника сигнала с полным сопротивлением нагрузки на входе и выходе электронного устройства.

Выходная мощность трансформатора малой мощности — сумма мощностей для всех вторичных обмоток.

18.2. Классификация и типы трансформаторов

Все трансформаторы можно разделить на две большие группы: трансформаторы электронитания и трансформаторы сигнальные.

Трансформаторы питания выпускаются для электрических сетей 50, 400 и 1000 Гц для питания электрических схем на транзисторах и электронных лампах.

Трансформаторы питания полупроводников ТПП выпускаются под сетевое напряжение 127 и 220 В с частотой 50 и 400 Гц, с сердечником броневой и стержневой конструкции, с напылением, с заливкой в форму или эмалевым покрытием. Обозначение ТПП 2-1-127/220-50 — трансформатор типа ТПП 2-1 на напряжение 127 и 220 В с частотой сети 50 Гц, с эмалевым покрытием (без обозначения); ТПП 290-127/220-50Н — трансформатор типа ТПП-290, на напряжение 127 и 220 В с частотой сети 50 Гц с напылением; ТПП 316-127/220-50Г — то же, но с заливкой в форму (Г); ТПП 33-40-400 — трансформатор типа ТПП 33 на напряжение 40 В с частотой сети 400 Гц; ТПП 287-115-400 — трансформатор типа ТПП 287 на напряжение сети 115 В и с частотой сети 400 Гц; ТПП 338-220-400 — трансформатор типа ТПП 338 на напряжение сети 220 В с частотой 400 Гц.

Трансформаторы питания однофазные с уменьшенным расходом меди на частоту 50 Гц типа ТА, ТН, ТАН — трансформаторы с напряжением сети питания 127 и 220 В, частотой 50 Гц — унифицированные для питания анодных, накальных цепей в радиоэлектронной аппаратуре (например, для питания электронных трубок в осциллографах, кинескопов в телевизорах и т.д.) на мощность до 0,5 кВА. Обозначение: ТА-155-127/220-50М — трансформатор анодный типа ТА/155 с уменьшенным расходом меди на напряжение сети 127 и 220 В с частотой сети 50 Гц, всеклиматического исполнения (М); ТН27-127/220-50М — трансформатор

накальный типа ТН27 с уменьшенным расходом меди для накальных цепей электронных ламп на напряжение сети 127 и 220 В с частотой 50 Гц, всеклиматического исполнения; ТАН49-127/220-50М — трансформатор анодно-накальный типа ТАН49 на напряжение сети 127 и 220 В, с частотой 50 Гц, всеклиматического исполнения.

Трансформаторы питания телевизионных приемников работают в составе блоков или модулей питания, обеспечивая необходимым напряжением электрические цепи накала электровакуумных приборов, кинескопа и стабилизаторов устройств электропитания, а также выпрямители. Обозначаются: ТС-250-2 — трансформатор силовой с номинальной мощностью 250 В·А, второй конструктивной разработки; ТСА-70-1 — трансформатор силовой типа А номинальной мощностью 70 В·А, первой конструктивной разработки.

Трансформаторы питания импульсные используются в составе блоков питания. В импульсных сетевых блоках питания переменное напряжение сети преобразуется в сравнительно высокое напряжение постоянного тока с помощью бестрансформаторного выпрямителя с соответствующим фильтром. Напряжение с выхода фильтра поступает на вход импульсного стабилизатора напряжения, который понижает напряжение с 220 В до 100...150 В и стабилизирует его. От стабилизатора питается инвертор, выходное напряжение которого имеет форму прямоугольного импульса с повышенной частотой до 40 кГц. Выпрямитель с фильтром преобразуют это напряжение в напряжение постоянного тока. Переменное напряжение получают непосредственно от инвертора. Высокочастотный импульсный трансформатор инвертора устраняет гальваническую связь между выходом блока питания и сети питания. Обозначаются: ТТИ-5 — трансформатор питания импульсный, пятой разработки.

Трансформаторы согласующие образуют большую гамму трансформаторов различного назначения, как правило, работающих в звуковом диапазоне частот 100...10 000 Гц с равномерной частотной характеристикой до ± 2 дБ на краях диапазона), с коэффициентом нелинейных искажений не более 5, с малой асимметрией частей обмоток (не более 3%).

Трансформаторы согласующие типа ТОТ (трансформаторы оконечные транзисторные) предназначены для работы в усилителях звуковой частоты (УЗЧ), в схемах с печатным монтажом и устанавливаются пайкой. Обозначаются: ТОТ170 — трансформатор типа ТОТ серии 170.

Трансформаторы согласующие типа ТОЛ (трансформаторы оконечные ламповые) — предназначены для работы в УЗЧ совместно с ламповыми

и полупроводниковыми приборами, рассчитаны на выходную мощность 0,1...6 В·А. Обозначаются: ТОЛ55.

Трансформаторы согласующие типа ТВЛ (трансформаторы входные ламповые) предназначены для работы в устройствах низкочастотных трактов с ламповыми и полупроводниковыми приборами в аппаратуре с печатным монтажом, устанавливаются пайкой в схему. Обозначаются: ТВЛ3.

Трансформаторы согласующие типа ТВТ (трансформаторы входные транзисторные) предназначены для работы в устройствах УЗЧ в каскадах, собранных на транзисторах на печатных платах, устанавливаются пайкой в схему платы. Обозначаются: ТВТ10.

Трансформаторы согласующие типа ТМ (трансформаторы маломощные) предназначены для согласования сопротивлений в межкаскадных соединениях ламповых и транзисторных схем, выполненных на печатных платах, устанавливаются пайкой в схему. Обозначаются: ТМ2-1, ТМ10-31.

Трансформаторы согласующие типа Т предназначены для согласования цепей УЗЧ в ламповом и транзисторном исполнении. Трансформаторы мощностью 0,56В·А используются в печатном монтаже, мощностью 25 В·А — в объемном монтаже. Обозначаются: Т2-39 — трансформатор с выходной мощностью в 2 В·А серии 39; Т6-11 — трансформатор с выходной мощностью в 6 В·А серии 11; Т-25-4 — трансформатор с выходной мощностью в 25 В·А серии 4.

Трансформаторы согласующие типа ТНЧЗ — (трансформаторы низкочастотные, звуковые) — предназначены для согласования сопротивлений источника сигнала с входным сопротивлением каскадов УЗЧ, трансформаторы малогабаритные (с массой не более 6,5 г), устанавливаются пайкой на печатной плате. Обозначаются: ТНЧЗ-4.

Трансформаторы сигнальные выходные типа ТВЗ предназначены для согласования высокоомного выходного каскада УЗЧ с низкоомной звуковой катушкой громкоговорителя. Трансформаторы изготавливаются в диапазоне мощностей 0,01...25 В·А. Выходные трансформаторы относятся к неупрощенным, поэтому имеют множество вариантов конструкций исполнения и находятся в прямой зависимости от конструкции РЭА, применяются, как правило, в бытовой аппаратуре.

Трансформаторы импульсные в соответствии с установленной классификацией определяются как сигнальные трансформаторы, предназначенные для выполнения одной или нескольких функций в импульсных устройствах РЭА: для передачи, формирования, преобразо-

вания и запоминания импульсных сигналов. Импульсные трансформаторы изготавливаются на напряжении от 3 до 220 В, с коэффициентом трансформации от 0,01 до 1, с допустимым произведением длительности импульса на входное импульсное напряжение от 0,006 до 12 500 мсВ при условии 10 % спада вершины импульса. Промышленность выпускает следующие основные типы импульсных трансформаторов: ММТИ, ММТИа, ТИ, ТИМ, БТИ, ТИИ.

Трансформаторы импульсные типа ММТИ, ММТИа — импульсные трансформаторы в микромодульном исполнении, выпускаются нескольких видов.

Трансформаторы ММТИ2-ММТИ-13, ММТИ2а-ММТИ-13а с ферритовыми магнитопроводами с током намагничивания от 55 до 200 мА, с амплитудой входного импульса 18 В, с длительностью фронта импульса от 0,1 до 0,24 мс; длительностью входного импульса от 0,4 до 5 мс и частотой повторения 5...10 кГц.

Трансформаторы ММТИ20 — ММТИ166 с магнитопроводами из пермалоевых сплавов с амплитудой входного импульса 10...15 В, длительною входного импульса от 0,1 до 10 мс, частотой повторения от 20 до 2000 кГц.

Трансформаторы ММТИ20а, ММТИ166а с магнитопроводами из железоникелевых сплавов с амплитудой входного импульса 10...15 В, длительною 0,6 и частотой повторения 10...500 кГц, длительною фрон-та от 0,04 до 0,3 мс.

Трансформаторы ММТИ201, ММТИ248 на ферритовых тороидальных магнитопроводах с амплитудой входного импульса 6 В, длительно-стью 20...100 НС, затягивания фронта от 4 до 25 НС, с временем восста-новления от 120 до 600 НС.

Трансформаторы ММТИ301 и ММТИ364 с амплитудой входного импульса 1,5 В и длительною от 20 до 100 мс при частоте повторения от 3 до 10 кГц, длительною фронта 1 мс.

Трансформаторы импульсные типа ТИМ — трансформаторы импуль-сные миниатюрные с частотой импульса 0,3...100 кГц и амплитудой им-пульса до 20 В, длительною входного импульса 0,02...100 мс, дли-тельною фронта импульса 0,04...2 мкс. Масса трансформаторов от 0,2 до 8 г.

Трансформаторы импульсные типа ТЧ — трансформаторы импульсные с рабочим напряжением до 50 В, длительною импульса 0,5...2000 мкс,

скважностью не менее 2; длительною фронта не превышает 2 мкс, масса от 2 до 75 г.

Трансформаторы выходные строчной развертки типа ТВС в составе строчных разверток телевизионных приемников предназначены для согласования выходных каскадов строчной развертки со строчными отклоняющими катушками. Строчные трансформаторы вырабатыва-ют импульсы высокого напряжения для питания кинескопов. Услов-ное обозначение трансформатора состоит из сокращенного обозначе-ния ТВС — трансформатор выходной строчный, цифр 70, 90 или 110 — значения углов отклонения луча кинескопа, буквы Л или П — лампо-вая или полупроводниковая схема выходного каскада, буква Ц — для телевизоров цветного изображения, затем порядковый номер разработ-ки трансформатора, например ТВС-70П2, ТВС-110Л1, ТВС-110П3, ТВС-90ПЦ4.

19. ФИЛЬТРЫ

Электрическим фильтром называется устройство, которое пропускает токи в определенной полосе частот с небольшим затуханием (полоса пропускания, полоса прозрачности), а токи с частотами, лежащими вне этой полосы, пропускает с большим затуханием или условно не пропускает (полоса непропускания, непрозрачности, полоса затухания). Частота, лежащая на границе полос пропускания и затухания, называется частотой среза (обозначается f_c). В зависимости от полосы пропускания электрические фильтры разделяют на следующие типы:

- 1) фильтры нижних частот, пропускающие токи с частотами от нуля до определенной частоты;
- 2) фильтры верхних частот, пропускающие токи, начиная с определенной частоты f_c до бесконечности;
- 3) полосовые фильтры, пропускающие токи в полосе частот от f_1 до f_2 ;
- 4) заграждающие фильтры, не пропускающие токи в полосе частот от f_1 до f_2 .

Избирательность электрических фильтров определяется характеристикой затухания, представляющей зависимость затухания от частоты. Затухание электрических фильтров в децибелах (дБ) определяется по формуле

$$b = 20 \lg \frac{U_{\text{вх}}}{U_{\text{вых}}},$$

где $U_{\text{вх}}$ — напряжение на входе фильтра;
 $U_{\text{вых}}$ — напряжение на его выходе.

Кроме затухания на практике для оценки избирательности фильтров пользуются также характеристикой пропускания, являющейся зависимостью коэффициента передачи $K = U_{\text{вых}}/U_{\text{вх}}$ от частоты. Следовательно, $b = 20 \lg(1/K)$.

Избирательность является одной из важнейших электрических характеристик фильтров. Она тем лучше, чем больше крутизна скачков характеристик затухания, больше затухание в полосе пропускания, меньше и равномернее в полосе прозрачности фильтра.

Знание частотной зависимости волнового сопротивления фильтра имеет также большое практическое значение. При несогласованности (неравенстве) волнового (фильтрового) и нагрузочного сопротивления возникают отражения, в результате чего ухудшается характеристика затухания. Кроме того, необходимо знать частотную зависимость входного сопротивления фильтра, которая определяется волновым и нагрузочным сопротивлениями. Обычно стремятся к тому, чтобы характеристическое сопротивление в полосе пропускания обладало наибольшим постоянством. В этом случае при нагрузке фильтра на активное сопротивление входное сопротивление также будет наиболее постоянным.

Разработано большое количество разнообразных фильтров, обладающих такими характеристиками, как амплитуда, фаза, полоса пропускания и полоса затухания. Простейшие фильтры реализуются частотно-зависимыми элементами: индуктивностями и конденсаторами. На рис. 19.1—19.6 представлены графики частотных характеристик (a) простейших фильтров, разные схемы реализации ($b, в, г$).

В зависимости от структуры (схемы) и принципа действия фильтры могут быть цепочечные и мостовые. Цепочечные фильтры (рис. 19.7)

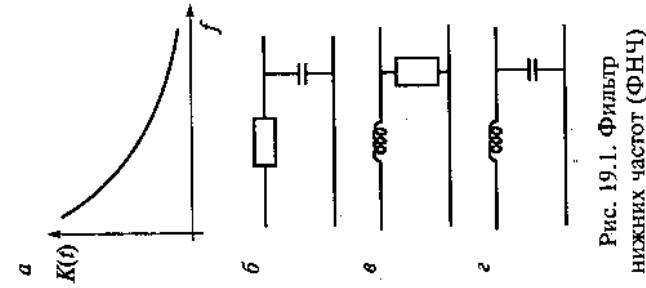


Рис. 19.1. Фильтр нижних частот (ФНЧ)

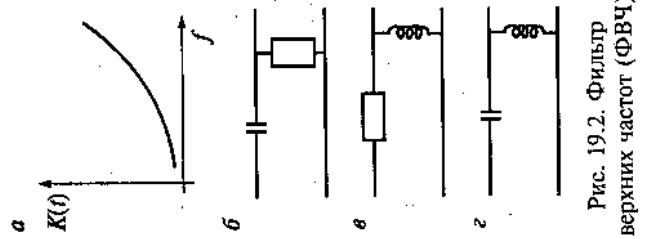


Рис. 19.2. Фильтр верхних частот (ФВЧ)

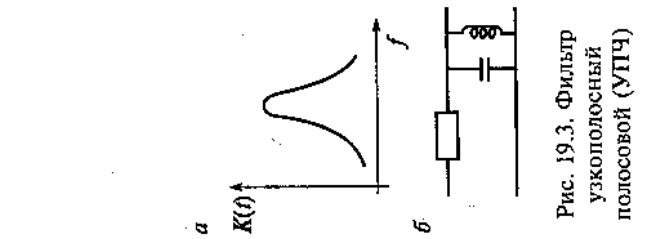


Рис. 19.3. Фильтр узкополосный полосовой (УПЧ)

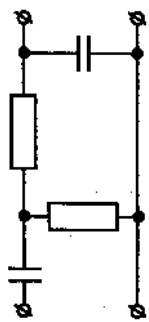


Рис. 19.4. Фильтр широкополосный (ШПФ)

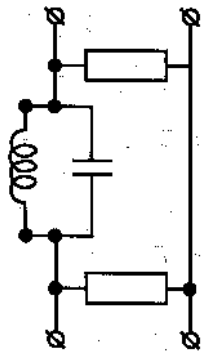


Рис. 19.6. Фильтр задерживающий (фильтр-пробка)

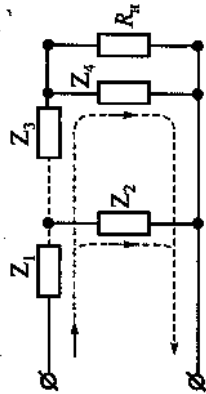


Рис. 19.7. Цепочечный фильтр

лаблению входного сигнала на различных частотах при прохождении этого сигнала через данный четырехполосник.

В мостовой схеме (рис. 19.8) элементы цепи пропускают потенциалы на зажимах нагрузочного сопротивления φ_D и φ_F значительно отличаются друг от друга. При этом напряжение на выходе фильтрующего четырехполосника оказывается большим, что соответствует малому ослаблению входного напряжения. По мере приближе-

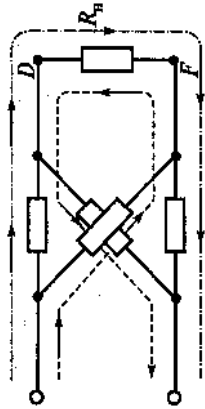


Рис. 19.8. Мостовой фильтр

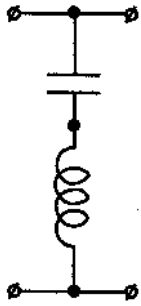


Рис. 19.5. Фильтр режекторный (вырезающий)

образуются на базе Г-, Т-, П-образных четырехполосников, содержащих реактивные сопротивления.

Параметры элементов цепочечных фильтров выбирают такими, при которых в одном диапазоне частот, называемом полосой пропускания, проводимость сопротивления Z_4 пренебрежимо мала по сравнению с проводимостью сопротивления нагрузки, а в другом, называемом полосой задерживания, — велика. Так как токи в параллельных ветвях распределяются пропорционально проводимости этих ветвей, то коэффициент передачи такого четырехполосника оказывается частотно-зависимым, что и приводит к неодинаковому ос-

ла к полюсе задерживания значения потенциалов на зажимах нагрузочного сопротивления сближаются, что приводит к уменьшению выходного напряжения и соответственно увеличению ослабления сигнала, подведенного ко входу фильтра.

Расчет фильтра состоит в том, чтобы определить значения элементов, входящих в фильтр, при которых обеспечиваются указанные соотношения.

В настоящее время в технике связи широко используются пассивные фильтры RC, LC, а также активные ARC-фильтры, схемы которых построены на базе операционных усилителей.

К числу высокооборотных фильтров, успешно применяемых в устройствах связи, относятся кварцевые, магнитострикционные, механические и на ПАВ (поверхностные акустические волны).

В последнее время стали применяться интегральные (монокристаллические) ПЧ-фильтры с переключающимися конденсаторами. Они состоят из конденсаторов, аналоговых ключей и усилителей. К интегральным относятся и цифровые фильтры (ЦФ), построенные с использованием счетно-решающих схем.

Расчет фильтров можно выполнить при помощи двух принципиально различных методов: по характеристическим и рабочим параметрам.

Расчет по первой методике более прост и нагляден, и он широко используется при расчетах фильтров для многих существующих ныне устройств железнодорожной автоматики, телемеханики и связи. В некоторых случаях указанная методика применяется и теперь. Эта методика исходит из того, что сопротивление генератора и нагрузки, между которыми включен фильтр, на всех частотах равны характеристическому сопротивлению фильтра, что на практике осуществить невозможно.

Методика расчета фильтра по рабочим параметрам учитывает реальные условия по нагрузке фильтра со стороны входа и выхода, позволяет их синтезировать и поэтому в последнее время находит весьма широкое применение.

19.1. Расчет пассивных LC-фильтров

К фильтрам этого класса относятся фильтры, состоящие из индуктивных и емкостных элементов.

Каждый из фильтров вне зависимости от способа его расчета характеризуется параметром, называемым порядком фильтра, — числом ре-

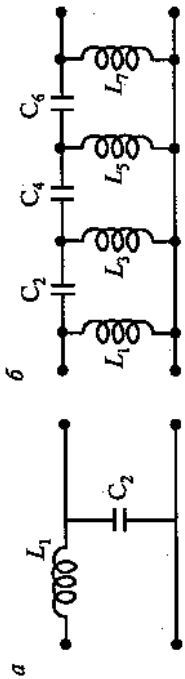


Рис. 19.9. Однозвенные (а) и многозвенные (б) LC-фильтры

активных элементов, из которых составлен фильтр. Например, фильтр, показанный на рис. 19.9, а, — второго порядка, на рис. 19.9, б — седьмого порядка и т.д. Напомним, что процессы, происходящие в цепи n -го порядка, описываются дифференциальными или операторными уравнениями этого же порядка. Так, для расчета цепи, изображенной на рис. 19.9, а, необходимо решить уравнение второй степени, а для расчета цепи, изображенной на рис. 19.9, б, — уравнение седьмой степени и т.д. Решать уравнения высоких степеней можно только с помощью ЭВМ.

При расчетах фильтров пользуются так называемыми нормированными величинами [10]. Нормированными (или приведенными) называются безразмерные величины, представляющие собой отношение данной величины к одномерной, имеющей характерное значение. В фильтрах нормированной частотой называется отношение данной частоты ω (или f) к частоте среза ω_c (или f_c). Нормированные величины будем отмечать знаком « $\hat{\omega}$ ».

Например, нормированная частота $\hat{\omega} = \frac{\omega}{\omega_c}$ или $\hat{\omega} = \frac{f}{f_c}$, нормированное сопротивление $\hat{Z} = \frac{Z}{Z_c}$ и т.д.

Широкое практическое применение получили фильтры с характеристиками Баттерворта, Чебышева и Золотарева.

Фильтр нижних частот Баттерворта обладает той особенностью, что при нулевой частоте его рабочее ослабление равно нулю, а по мере увеличения частоты ослабление монотонно увеличивается, достигая значения 3 дБ на частоте среза. Эту характеристику часто называют максимальной плоской. В полосе же задерживания ослабление фильтра монотонно возрастает и тем резче, чем больше реактивных элементов он содержит (рис. 19.10).

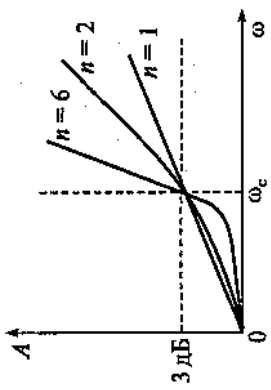


Рис. 19.10. Фильтр Баттерворта

В фильтрах с характеристикой Чебышева ослабление в полосе пропускания изменяется волнообразно с амплитудой до 3 дБ. Такая характеристика называется равномерно колебательной.

Число максимальных и минимальных значений в этой полосе равно числу реактивных элементов — порядку фильтра (рис. 19.11).

В полосе задерживания ослабление у фильтров Чебышева, так же, как и у фильтров Баттерворта, монотонно возрастает, но, в отличие от последних, характеристика его ослабления имеет большую крутизну. Следует отметить, что, изменяя параметры фильтра, можно уменьшить колебательный характер кривой ослабления фильтра в полосе пропускания, но при этом будет уменьшаться и крутизна кривой в полосе задерживания. При полном устранении колебаний в полосе фильтра характеристика ослабления Чебышева превращается в характеристику Баттерворта.

Характеристика фильтра Золотарева в полосе пропускания, как и у фильтра Чебышева, волнообразна. В полосе же задерживания она изменяется не монотонно, как у первых двух фильтров, а имеет резкие всплески (рис. 19.12).

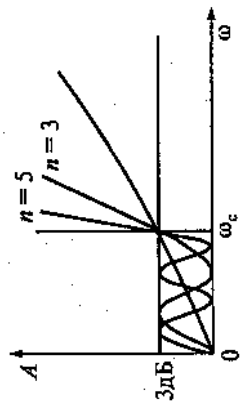


Рис. 19.11. Фильтр Чебышева

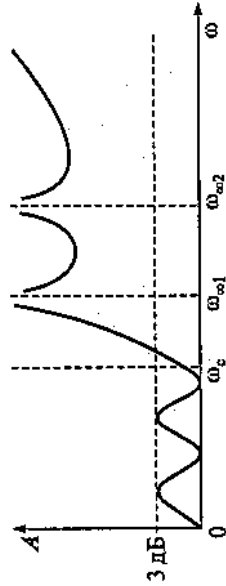


Рис. 19.12. Фильтр Золотарева

Исходными данными для расчета фильтров являются:

- вид фильтра по расположению полос пропускания (ФНЧ, ФВЧ и т. д.);
- полоса пропускания (предельные частоты);
- максимально допустимая величина ослабления фильтра в полосе пропускания и характер изменения ослабления в этой полосе;
- полоса задерживания;
- минимально допустимое ослабление в полосе задерживания;
- сопротивление генератора и нагрузки.

Фильтр нижних частот. Методика расчета ФНЧ лежит в основе расчетов фильтров других видов, поэтому рассмотрим пример расчета этого фильтра. Примем при расчете: частота среза $f_c = 8$ кГц; ослабление на этой частоте $\Delta A = 3$ дБ; ослабление в полосе задерживания на частоте $f_s = 10$ кГц не менее $A_s = 5$ дБ; сопротивление генератора и нагрузки $R = 600$ Ом.

Вначале следует выбрать амплитудно-частотную характеристику фильтра. В полосе пропускания примем максимально плоскую характеристику фильтра — характеристику Баттерворта. После этого может быть определен порядок фильтра — число реактивных элементов. Он зависит от величины ослабления фильтра A_s при заданной частоте f_s в полосе задерживания и от частоты среза f_c .

Для расчета порядка фильтра и используется приближенное выражение

$$n \geq \frac{A_s}{20 \lg f} \hat{f} \quad \text{где } \hat{f} = \frac{f_s}{f_c}$$

тогда

$$n \geq \frac{9}{20 \lg \frac{10}{8}} = 4,64.$$

Берем $n = 5$.

Расчет показывает, что для получения заданной крутизны характеристики в полосе задерживания фильтр должен содержать пять реактивных элементов. Составим схему фильтра. При этом числе элементов возможны две схемы (рис. 19.13, а или 19.13, б). Выбираем рис. 19.13, а, так как число индуктивных элементов в ней меньше, чем в схеме 19.13, б.

Далее находим нормированные индуктивности и емкости элементов, входящих в фильтр. Для каждого из пяти элементов схемы (рис. 19.13, а)

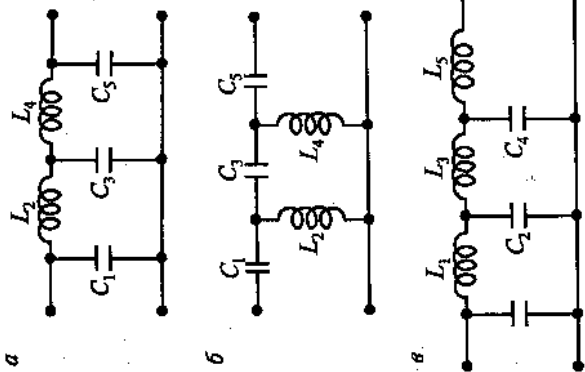


Рис. 19.13. Схемы фильтра Баттерворта

они приводятся в табл. 19.1. Для нашей схемы $C_1 = 0,618$; $L_2 = 1,618$; $C_3 = 2,0$; $L_4 = 1,618$ и $C_5 = 0,618$.

Выписанные из табл. 19.1 числа соответствуют значениям, которые имел бы фильтр при двухсторонней нагрузке сопротивлением 1 Ом и предельной частоте f_c , равной 1/с (т.е. рад/с).

Поскольку для нашего фильтра $R \neq 1$ Ом, а $\omega_c \neq 1/с$, находим действительные значения его элементов. Для того чтобы это сделать, необходимо рассчитать постоянные преобразования (денормирование). Постоянные преобразования K_L и K_C показывают, во сколько раз значения индуктивностей и емкостей отличаются от их табличных (нормированных) значений.

Расчет значений K_L и K_C основан на свойствах линейности цепи. Свойства цепи не изменятся, если в одно и то же число раз изменить сопротивления всех элементов цепи.

Таблица 19.1

Порядок фильтра n	Номера элементов фильтра и									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	2,000									
2	1,414	1,414								
3	1,000	2,000	1,000							
4	0,765	1,848	1,848	0,765						
5	0,618	1,618	2,000	1,618	0,618					
6	0,519	1,414	1,932	1,932	1,414	0,518				
7	0,445	1,247	1,802	2,000	1,802	1,247	0,445			
8	0,390	1,111	1,663	1,962	1,962	1,111	0,390			
9	0,347	1,000	1,532	1,879	2,000	1,879	1,532	1,000	0,347	
10	0,313	0,907	1,414	1,782	1,975	1,975	1,414	1,782	1,414	0,313

Если сопротивление генератора и нагрузки увеличить в K раз, то в такое же число раз необходимо увеличить сопротивление катушек индуктивностей и конденсаторов. Для этого индуктивности схемы увеличивают в R раз и уменьшают в ω_c раз, а емкости уменьшают в $R_{0\text{с}}$ раз. Отсюда постоянные преобразования определяются соотношениями:

$$K_L = \frac{R}{\omega_c} = \frac{R}{2\pi f_c}; \quad K_C = \frac{R}{\omega_c R} = \frac{R}{2\pi f_c R}$$

При $f_c = 8 \text{ кГц}$ и $R = 600 \text{ Ом}$ получаем

$$K_L = \frac{600}{2 \cdot 3,14 \cdot 8 \cdot 10^3} = 11,94 \cdot 10^{-3} \text{ Гн} = 11,94 \text{ мГн};$$

$$K_C = \frac{1}{2 \cdot 3,14 \cdot 8 \cdot 10^3 \cdot 6 \cdot 10^2} = 33,17 \cdot 10^{-9} \text{ Ф} = 33,17 \text{ нФ}.$$

Находим действительные параметры элементов схемы:

$$C_1 = C_3 = C_1 K_C = C_3 K_C = 0,618 \cdot 33,17 = 20,5 \text{ нФ}.$$

Контрольный пример. При $n = 5$ (т.е. $2n = 10$) должны оказаться ослабления, приведенные в табл. 19.2.

Таблица 19.2

$f, \text{кГц}$	0	4	6	8	10	12	16	20	24	32
f	0	0,5	0,75	1,0	1,25	1,5	2,0	2,5	3,0	4,0
$A, \text{дБ}$	0	0,0042	0,0238	3,01	10,13	17,68	30,1	39,79	47,71	60,2

Фильтр верхних частот. В схеме этого фильтра индуктивности и емкости меняются местами (см. рис. 19.13, б). При расчете этого фильтра придерживаются той же последовательности, что и при расчете ФНЧ. Покажем это на примере, приняв в качестве исходных данных: частота среза $f_c = 6 \text{ кГц}$, ослабление в полосе пропускания $\Delta A = 3 \text{ дБ}$, ослабление в полосе задерживания на частоте $f_s = 4 \text{ кГц}$ должно составлять $A_s = 15 \text{ дБ}$, сопротивление нагрузки $R_H = 300 \text{ Ом}$.

Порядок фильтра n определяем из приближенного выражения

$$n \geq \frac{A_s}{20 \lg \hat{f}}, \text{ здесь } \hat{f} = \frac{f_c}{f_s}.$$

$$\text{Находим } n \geq \frac{15}{20 \lg \frac{6}{4}} = 4,26.$$

Принимаем $n = 5$ и схему с минимальным числом индуктивных элементов (см. рис. 19.13, в). По табл. 19.1 находим нормированные значения элементов фильтра $C_1 = C_3 = 0,618$, $L_2 = L_4 = 1,618$, $C_3 = 2,0$. Определяем постоянные преобразования. Для индуктивных элементов

$$K_L = \frac{R}{2f_c} = \frac{300}{6,28 \cdot 6 \cdot 10^3} = 7,96 \cdot 10^{-3} \text{ Гн} = 7,96 \text{ мГн};$$

для емкостных элементов

$$K_C = \frac{1}{2\pi f_c R} = \frac{1}{6,28 \cdot 6 \cdot 10^3 \cdot 3 \cdot 10^2} = 88,46 \cdot 10^{-9} \text{ Ф} = 88,46 \text{ нФ}.$$

Рассчитываем действительные значения элементов:

$$C_1 = C_3 = \frac{K_C}{C_1} = \frac{88,46}{0,618} = 143,14 \text{ нФ};$$

$$C_3 = \frac{K_C}{C_3} = \frac{88,46}{2} = 44,23 \text{ нФ};$$

$$L_2 = L_4 = \frac{K_L}{L_2} = \frac{7,96}{1,618} = 4,92 \text{ мГн}.$$

Теперь определяем значения ослабления A фильтра по формуле

$$A = 10 \lg(1 + \hat{f}^{2n}).$$

RC-фильтры

Тип фильтра	Схема	Характеристика затухания	Расчетные формы
Фильтры нижних частот			$f_c = \frac{160}{RC}$ $C = \frac{160}{f_c R}$
Фильтры верхних частот			при $R_1 = R_2 = R$ $C = \frac{160}{f_c R}$ $f_c = \frac{160}{RC}$
			$f_c = \frac{160}{RC}$ $C = \frac{160}{f_c R}$
			при $C_1 = C_2 = C$ $f_c = \frac{160}{RC}$ $R = \frac{160}{f_c C}$
Полосовой фильтр			$f_c = \frac{160}{RC}$ $C_1 = C_2 = C$ $R_1 = R_2 = R$
Заграждающий фильтр			$f_0 = \frac{160}{RC}$ $R_1 = R_2 = R$ $R_3 = \frac{R}{2}, \alpha = 1-2$ $C_1 = C_2 = C; C_3 = \frac{2C}{\alpha}$

Примечание: R — в Ом; C — в мкФ; f — в кГц.

Результаты расчетов сводим в табл. 19.3.

Таблица 19.3

f, кГц	20	16	12	10	8	6	4	2	1
f	0,3	0,375	0,5	0,6	0,75	1,0	1,5	3	6
A, дБ	0,000025	0,000238	0,0042	0,026	0,238	3,01	17,68	47,71	77,81

19.2. RC-фильтры

RC-фильтрами называются фильтры, состоящие только из активных сопротивлений и конденсаторов (табл. 19.4). Их преимуществами являются малые размеры, простота изготовления и наладки, нечувствительность к магнитным полям. Схемы, характеристики затухания, а также расчетные формулы приведены в табл. 19.4. При расчете RC-фильтров по заданному значению f_c или f_0 необходимо дополнительно задать величину R или C.

Чаще всего RC-фильтры используются в активном режиме с использованием операционных усилителей. Рассмотрим схему включения операционного усилителя (см. также гл. 9) в инвертируемом режиме (рис. 19.14, а), эквивалентная схема приведена на рис. 19.14, б. Ток на входе такой схемы близок к нулю, следовательно, она обладает высоким входным сопротивлением.

Коэффициент передачи схемы опеределается соотношением:

$$K = 1 + \frac{R_2}{R_1}$$

Полоса пропускания схемы определяется исключительно частотными свойствами ОУ.

Закоротив сопротивление R_2 и обрыв цепь сопротивления R_1 , получим

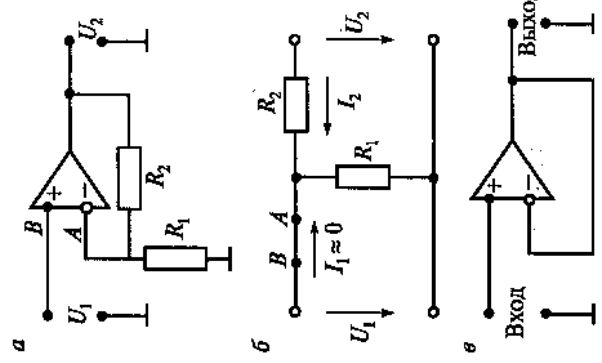


Рис. 19.14. Операционный усилитель

схему, показанную на рис. 19.14, в. В этом случае схема будет характеризоваться следующими свойствами: коэффициент ее передачи равен 1, фазовая постоянная равна нулю, входное сопротивление велико, а выходное мало, т.е. четырехполюсник, показанный на рис. 19.14, в, является повторителем с большим входным сопротивлением. При его включении между генератором и нагрузкой для генератора создаются условия, близкие к режиму холостого хода.

Повторитель удобно использовать, как отмечалось выше, для осуществления «развязки» цепей, т.е. исключения влияния одной цепи на другую.

Звено цепи первого порядка содержит один реактивный элемент, например емкость. Схема звена первого порядка фильтра нижних частот показана на рис. 19.15, а. Полосу частот, в которой ослабление не превышает 3 дБ, примем за полосу пропускания звена. Определим крутизну характеристики ослабления его при изменении частоты на октаву (т.е. в два раза) относительно частоты среза. Для этого используем соотношение

$$A = 10 \lg(1 + \tilde{f}^{2n}).$$

Приняв для октавы $\tilde{f} = 2$ или $f = 2f_c$, находим

$$A = 10 \lg(1 + 2^2) = 7 \text{ дБ}.$$

Такое приращение ослабления звена обычно недостаточно, поэтому фильтр необходимо составлять из нескольких звеньев. Для возможности каскадного включения к одному звену следующего за ним другого звена нужно использовать развязывающую цепь — повторитель. В итоге образуется звено первого порядка активного фильтра, схема которого показана на рис. 19.16.

Соотношения для комплексной передаточной функции такого звена будут иметь вид:

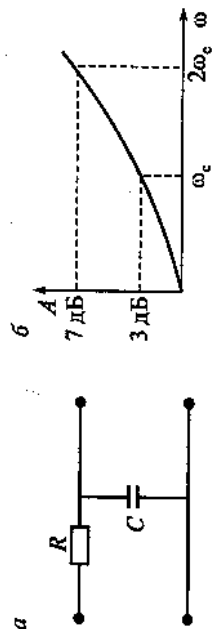


Рис. 19.15. Звено первого порядка

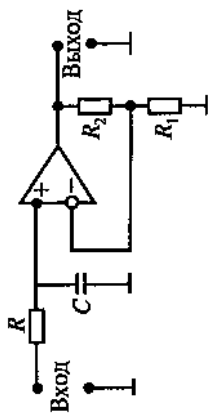


Рис. 19.16. Звено первого порядка активного фильтра

$$\text{при } R_1 = \infty, R_2 = 0$$

$$H(j\omega) = \frac{1}{1 + j\omega RC}.$$

При $R_1 < \infty, R_2 > \infty$

$$H(j\omega) = \frac{R_1}{1 + \frac{R_2}{j\omega RC}}.$$

Звено второго порядка активного фильтра можно образовать с помощью цепи RC, содержащей операционный усилитель, два реактивных элемента (конденсаторы) и несколько резисторов (рис. 19.17, а).

Ослабление такого звена определяется по формуле

$$A = 10 \lg(1 + \tilde{f}^4).$$

Очевидно, на частоте среза ($\tilde{f} = 1$) величина A составляет, как и для звена первого порядка, 3 дБ.

При увеличении частоты на октаву относительно частоты среза (при $\tilde{f} = 2$) ослабление звена составит

$$A = 10 \lg(1 + 2^4) = 12,3 \text{ дБ},$$

т.е. на 5,3 дБ больше, чем для звена первого порядка. Из сравнения характеристик ослабления звеньев первого и второго порядков (рис. 19.17, а) видно, что звено второго порядка обладает меньшим ослаблением в полосе пропускания и большим в полосе задерживания. Для увеличения

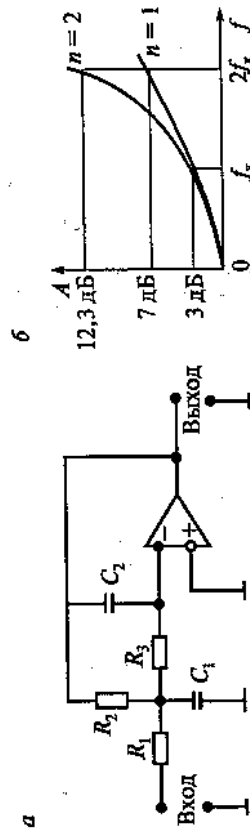


Рис. 19.17. Звено второго порядка

ослабления в полосе задерживания необходимо использовать фильтры более высоких порядков. Такие фильтры образуют путем каскадного соединения нескольких звеньев первого и второго порядков.

19.3. Пьезоэлектрические фильтры

Пьезоэлектрический эффект, определяемый как возбуждение механических колебаний под воздействием переменного электрического поля (и наоборот), присущ некоторым природным материалам, таким, как кварц, турмалин, сегнетова соль и другим веществам. В силу высокой стабильности параметров природных материалов они обладают высокой добротностью, достигающей сотен тысяч. В технике используются пластины, вырезанные из кристалла кварца под определенным углом, так называемые АТ-срезы. Температурная стабильность такой пластины равна одной миллионной части на один градус Цельсия. Тонкая пластина кварца имеет напыленные с двух сторон металлические контакты (рис. 19.18). Напряжение, приложенное к ним, образует между электродами электрическое поле, возбуждающее механические колебания в резонансной области частот. Значение резонанса определяется геометрическими размерами кварцевой пластины (см. п. 12.3). Эквивалентная схема кварцевого резонатора приведена на рис. 19.19, а, частотная зависимость его сопротивления — на рис. 19.19, б.

Эквивалентная электрическая схема пьезорезонатора состоит из последовательной колебательной цепи L_1C_1 с сопротивлением потерь R , зашунтированной статической емкостью C_0 электродов держателя и емкостью монтажа. Из эквивалентной схемы следует, что в ней возможны два резонанса: последовательный L_1C_1 и параллельный $L_1(C_1 + C_0)$. Для обеспечения стабильности резонанса нужно использовать последовательный резонанс, определяемый только параметрами кварцевой пластины. Для расширения полосы пропускания к резонатору подключаются индуктивности. Фильтры с высокой прямоугольностью и расширенной полосой пропускания создают из параллельного соединения нескольких кварцевых резонаторов, настроенных на близкие частоты. Дальнейшее развитие таких фильтров привело к созданию монолитных пьезоэлектрических фильтров, состо-

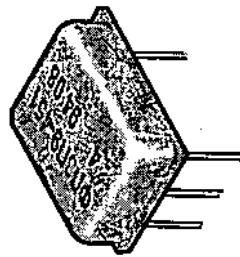


Рис. 19.18. Кварцевый резонатор

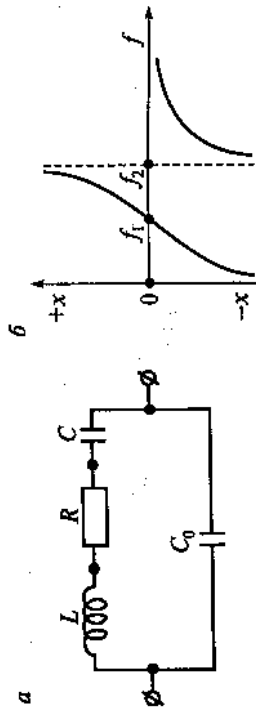


Рис. 19.19. Эквивалентная схема пьезорезонатора и частотная зависимость его сопротивления

ящих из решетчатых электродов, попарно осажденных на поверхности кварцевой основы-подложки; пары электродов — это резонаторы, участки между ними — элементы связи. Монолитные фильтры более надежны, миниатюрнее по объему и массе, обладают высокой добротностью и хорошо поддаются формированию прямоугольной амплитудно-частотной характеристики.

19.4. Электромеханические фильтры

Электромеханические фильтры состоят из электромеханического преобразователя, который преобразует электрические колебания в механические. Эти колебания через механическую резонансную систему, состоящую из механических резонаторов и соединяющих их связей, передаются второму электромеханическому преобразователю, в котором они преобразуются из механических колебаний в электрические. В качестве электромеханического преобразователя используются электромагнитные, магнитоиндукционные, пьезоэлектрические и электроакустические преобразователи.

Механические резонаторы представляют собой отрезок неоднородной линии, в которой распространяются механические колебания. Конструктивно механический резонатор выполнен в виде петлочки металлических стержней, пластин, дисков, язычков. Добротность механических резонаторов зависит от материала. Например, для резонаторов из стали она составляет 2000...3000, из алюминия и его сплавов — 5000...10 000, из магния — до 100 000. Поэтому, применяя механические резонаторы, можно получить фильтры с большой избирательностью, приближающейся к избирательности кварцевых фильтров. Электромеханические фильтры

изготавливаются многоэлементными для расширения полосы пропускания, применяются в диапазонах частот от звуковых до 10 мГц.

19.5. Фильтры на поверхностных акустических волнах (ПАВ)

Фильтры на ПАВ имеют, как минимум, два размещенных на пьезоэлектрической основе встречно-штыревых элемента. Принцип действия основан на пространственно-временной обработке электроакустического сигнала, создаваемого поверхностно-временной электроакустической волной. Один штырь благодаря пьезоэффекту преобразует входной сигнал в акустические волны, второй — наоборот, ПАВ в выходной сигнал. Достоинства ПАВ-фильтра:

- микроминиатюрные размеры благодаря малой скорости акустической волны (менее $5 \cdot 10^3$ м/с вместо $3 \cdot 10^8$ м/с электромагнитной волны) и соответственно малой ее длине $l = c/f$ (менее 1 мм) на частотах от единиц мегагерц до единиц гигагерц;
- простое формирование передаточной функции благодаря взаимодействию акустической волны с планарными структурами на поверхности звукопровода ПАВ-фильтра;
- высокая добротность ($Q = 10^3 \dots 10^5$);
- большой диапазон изменения относительной полосы ($0,3 > \frac{\Delta 2f}{f_0} > 0,05$);
- высокая стабильность параметров.

20. АКУСТИКА И ЭЛЕКТРОАКУСТИКА

20.1. Физические основы акустики

Под звуковыми колебаниями (акустикой) в физике понимают колебания малой упругой среды, которые, воздействуя на орган слуха человека, способны вызывать в его сознании ощущение звука. Частота колебаний, различаемых человеком, находится в пределах 16 Гц ... 16 кГц (20 Гц ... 20 кГц). Колебания более высоких частот называют ультразвуком, колебания более низких частот называют инфразвуком. Ультразвук человек не слышит (его улавливают летучие мыши, дельфины), а инфразвук воспринимается как толчки.

Звуковые колебания распространяются во все стороны от источника звука в виде звуковых (акустических) волн. Пространство, занятое звуковой волной, называется звуковым полем.

Скорость распространения звуковой волны, или скорость звука c , зависит от среды. Для воздуха при $t = 20^\circ \text{C}$ и нормальном атмосферном давлении скорость звука $c = 344$ м/с. В жидкости и твердых телах скорость звука значительно больше, чем в воздухе.

Расстояние, которое проходит волна в течение одного периода колебания (T), называется длиной волны (λ):

$$\lambda = cT = \frac{c}{f},$$

где T и f — соответственно период и частота колебаний.

Распространение звуковых волн сопровождается изменением давления в окружающей упругой среде. За единицу изменения звукового давления в системе СИ принимается паскаль (Па), равный силе 1 Н, действующей на площадь 1 м^2 ($\text{Н}/\text{м}^2$). При разговоре средней громкости значение звукового давления на расстоянии 1 м от рта говорящего равно 0,1 Па, а на расстоянии 10 см — 1 Па.

Интенсивность звука I — количество энергии, проносимой за 1 с через поверхность площадью 1 м^2 , расположенную перпендикулярно звуковой волне, измеряется в Вт/м^2 .

Интенсивность звука связана со звуковым давлением:

$$I = \nu P = \frac{P^2}{\rho c}$$

где P — звуковое давление;

c — скорость звука;

ρ — плотность воздушной среды.

$$c \rho = 400, \text{ тогда } I = \frac{P^2}{400} \text{ или } P = 20\sqrt{I}.$$

Следующей характеристикой звука служит тон. Тон — это звук определенных частот. Ухо человека более чувствительно на средних частотах и менее — на верхних и нижних. Частота звуковых колебаний воспринимается ухом как высота тона звука. Чем больше частота колебаний, тем выше тон. Основной мерой; определяющей степень изменения частоты, является октава (изменение частоты в 2 раза) и декада (изменение частоты в 10 раз).

Музыкальные звуки отличаются от шумов наличием тока определенной высоты. Звуковые колебания речи, музыкальных источников имеют сложную форму и состоят из набора гармонии спектра. Основным тоном принято называть низшую частоту спектра сигнала. Наличие в звуковом колебании основного тона и высших гармоник (до 40) придает звуку определенную окраску, называемую тембром. По тембру можно различать музыкальные инструменты и голоса людей. При разговоре частота основного тона для мужских голосов составляет в среднем 150 Гц, а для женских — 250 Гц.

Динамический диапазон человеческого слуха очень широк. В области наибольшей чувствительности уха (1...2 кГц) энергия самого интенсивного звука, на пороге болевого ощущения, примерно 10^{12} раз превышает энергию самого слабого, еще различимого звука. Операции с такими большими величинами неудобны, поэтому в акустике изменения звука описывают в децибелах. Для начала отсчета выбирают порог слышимости, соответствующий интенсивности звука $I_0 = 10^{-12} \text{ Вт/м}^2$ (при этом звуковое давление будет $2 \cdot 10^{-5} \text{ Па}$).

$$A_I[\text{дБ}] = 10 \lg \frac{I}{I_0}; \quad A_p = 20 \lg \frac{P}{P_0}.$$

В табл. 20.1 приведены примерные уровни звука с указанием интенсивности и давления.

Таблица 20.1

Уровень, дБ	Интенсивность звука, Вт/м^2	Звуковое давление, Па	Субъективная оценка на средних f
0	10^{-12}	2×10^{-5}	Порог слышимости
10	10^{-11}	$6,32 \times 10^{-5}$	Шелот
30	10^{-9}	$6,32 \times 10^{-4}$	Едва слышимый звук
50	10^{-7}	$6,32 \times 10^{-3}$	Тиканье часов
70	10^{-5}	$6,32 \times 10^{-2}$	Тихий разговор
90	10^{-3}	$6,32 \times 10^{-1}$	Речь средней громкости
110	10^{-1}	6,32	Крик
120	1	20	Очень громкий звук
130	10	63,2	Ощущение боли

Для речи при хорошей, качественной передаче необходим динамический диапазон ~ 40 дБ, для удовлетворительной передачи достаточно 30 дБ. Разборчивость речи в связи определяется артикуляцией — количественная оценка по правильной приему отдельных букв и фраз. Существуют специальные таблицы. Хорошая артикуляция при слабой разборчивости не ниже 85 %.

В системах служебной связи и оповещения основным критерием качества связи является уровень шумов. В тех случаях, когда этот уровень велик, ограничиваются повышением уровня сигнала над уровнем шумов примерно на 10 дБ для экономии мощности установки. В остальных случаях уровень сигнала должен превышать уровень шума на 15...20 дБ. Уровень шумов на ж.-д. станции приведен в табл. 20.2.

Таблица 20.2

Железнодорожная станция	Уровень шума, дБ
На платформе в отсутствие поезда (пассажиры ожидают)	30...40
На платформе (поезд прибывает или отправляется)	60...80
Поезд останавливается (пассажиры входят)	50...60
Шум в горловине станции	80
Шум в средней части станционных парков	76

Встречающиеся на практике шумы разнообразны и отличаются по абсолютным значениям уровней и спектральному составу. Чаще всего спектр спадает к верхним частотам примерно в 6 дБ на октаву.

20.2. Электроакустические преобразователи (ЭП)

Важнейшим элементом телефона являются разговорные приборы, преобразующие звуковые колебания в электрические, и наоборот. В телефонии такими преобразователями являются микрофон *ВМ* и телефон *ВФ*, или громкоговоритель.

Электроакустические преобразователи классифицируются по принципу преобразования энергии, обратимости действия и использованию источников энергии.

По обратимости действия ЭП можно разделить на обратимые и необратимые. Обратимые преобразователи могут преобразовывать звуковую энергию в электрическую, и наоборот. Необратимые преобразуют только один вид энергии в другой.

По использованию источников энергии ЭП делят на активные и пассивные. Активные ЭП под воздействием звуковых колебаний создают ЭДС, т.е. электрический сигнал. Пассивные ЭП только изменяют параметр электрической цепи с протекающим током (в основном это сопротивление цепи).

По принципу преобразования энергии наиболее широко применяются электромагнитные преобразователи, электродинамические, пьезоэлектрические, электростатические и электроконтактные — угольные микрофоны.

Электромагнитный преобразователь содержит постоянный магнит с полюсными наконечниками, электромагнит и мембрану (*М*) из ферромагнитного материала. Преобразователь, обратимый и активный, может использоваться в качестве микрофона и телефона. Чувствительность в качестве телефона — 15 В/Па, в качестве микрофона — 0,1 В/Па. Большой недостаток — неравномерность частотной характеристики и большой коэффициент нелинейных искажений. Применяется в основном как телефон (наиболее распространен в телефонии).

Электродинамический преобразователь имеет постоянный магнит и легкую подвижную катушку *К*, соединенную с мембраной *М*.

При колебании мембраны в обмотке катушки *К* возникает ЭДС. Преобразователь (обратимый и активный) используется как высокока-

чественный микрофон со средней чувствительностью $S_M = 0,004$ В/Па (требуется предварительное усиление). Используется также как качественный телефон и громкоговоритель со средней чувствительностью $S_T = 0,6$ В/Па (в носимых рациях используется как обратимый).

Электростатические преобразователи (или конденсаторные) содержат воздушный конденсатор из неподвижной пластины и тонкой легкой подвижной пластины — мембраны *М*. Под воздействием звуковых колебаний мембрана колеблется, изменяется расстояние между пластинами конденсатора, изменяется его емкость и заряд на обкладках. Вследствие этого через R_A протекает переменный ток, который создает на R_A переменное напряжение, соответствующее звуковому давлению. Преобразователь пассивный и требует внешнего источника энергии (батарей), обратимый находит применение только в качестве микрофона, так как в телефонном решении имеет весьма низкую чувствительность. Конденсаторные микрофоны имеют среднюю чувствительность $S_M = 2 \cdot 10^{-3}$ В/Па и почти равномерную частотную характеристику, что позволяет использовать их в акустических измерениях и высококачественных преобразователях звука. Разновидностью конденсаторных микрофонов являются электретный микрофон, в котором электрод (электрет) из полимера предварительно поляризуется и имеет потенциал, изменяющийся при его колебании. Преобразователь активный, развивает ЭДС. Однако с течением времени заряд электрета уменьшается и его снова надо зарядить.

Пьезоэлектрический преобразователь основан на использовании пьезоэффекта кристаллов кварца, турмалина, сегнетовой соли, пьезокерамики. При колебании мембраны деформируется кристаллический элемент, вследствие чего на его гранях возникают электрические заряды. Преобразователь активный и обратимый. Чувствительность в качестве микрофона $S_M = 0,025$ В/Па, в качестве телефона — $S_T = 20$ В/Па. Недостаток — большая чувствительность к температуре и влажности.

Электромагнитные преобразователи основаны на изменении сопротивления электрического контакта *К* в процессе преобразования энергии. Преобразователи пассивные и необратимые, работают в качестве микрофонов. В основном это угольные микрофоны, в которых под давлением мембраны изменяется плотность угольного порошка и его электрическое сопротивление. Вследствие этого в цепи катушки R_A протекает ток, изменяющийся в соответствии со звуковым давлением. Имеет высокую чувствительность $S_M = 0,7$ В/Па, что сделало его распространяемым преимущественно в телефонных аппаратах. Однако они имеют

большую неравномерность частотной характеристики и высокий коэффициент нелинейных искажений, поэтому не применяются в студиях связи совещаний и оповестительной связи, у поездных диспетчеров и др., где используются в основном электродинамические микрофоны. Основные технические характеристики микрофонов представлены в табл. 20.3.

Таблица 20.3

Параметры	MD-78A	MD-85A	MD-186	MD-380A	МК-12
Диапазон частот, Гц	50...15 000	50...16 000	30...18 000	60...14 000	50...15 000
Чувствительность, мВ/Па	2	2,2	4	2	6
Средний перепад чувствительности для углов 0...180°	= 12 дБ	= 12 дБ	= 16 дБ	= 12 дБ	= 9 дБ
Модуль полного электрического сопротивления, Ом	220	200	200	200	600

20.3. Громкоговорители железнодорожных систем

Громкоговорители для открытых пространств и в условиях повышенного шума для озвучивания парков, вокзальных платформ приведены в табл. 20.4.

Таблица 20.4

Параметры	10ГР-5, ГР-1Л	РК-10, ГР-4	10ГР-38	12ГР-49Л	50ГР-2
Номинальная мощность, Вт	10	10	10	12	50
Диапазон эффективных частот, Гц	200...4000	400...6000	315...6300	315...6300	80...10 000
Неравномерность АЧХ, дБ	15	15	12	12	15

Для озвучивания закрытых помещений, залов ожидания, для повышения качества звуковоспроизведения, получения острого характеристик направленности, увеличения мощности излучения применяют групповые излучатели, состоящие из однородных головок громкоговорителей. К ним относят звуковые колонки, радиальные громкоговорители, звуковые люстры. Звуковые колонки содержат от 3 до 8 диффузорных

головок, установленных по вертикали (в колонну), в одну или несколько горизонтальных цепочек (с одной цепочкой — 8КЗ-1 — или с двумя — 10КЗ-1, 25КЗ-1). Вдали от колонки в продольной (вертикальной) плоскости, проходящей через ось головок, звуковое давление от каждой из головок будет суммироваться с учетом разности хода каждой из них. В поперечной (горизонтальной) плоскости характеристика направленности определяется характеристикой одной головки. Частотные характеристики звуковых колонок более равномерны, чем характеристики отдельных колонок. Нивелировка характеристик обусловлена сложением несовпадающих характеристик отдельных головок, снижая неравномерности в полосе частот, которая расширяется и обычно составляет 80...10 000 Гц.

21. УСИЛИТЕЛИ

Классификация усилителей проводится по нескольким признакам: тип усилительного элемента, полосу пропускания (усиления) и абсолютное значение граничных частот; характер входных сигналов, функциональное назначение.

В зависимости от примененных технических средств и усилительного элемента усилители могут быть: электрические, магнитные, электромашиные, гидравлические, пневматические и т.д.

Электрические усилители обычно представляют собой усилитель напряжения (мощности) сигнала, реализованный на полупроводниковых усилительных элементах или, в отдельных случаях, на электровакуумных и газовых приборах. По полосе пропускания электрические (электронные) усилители подразделяют на аperiodические и селективные (избирательные). Аperiodические усилители, в свою очередь, подразделяют на усилители постоянного тока (УПТ), усилители звуковой (низкой) частоты (УЗЧ), аperiodические широкополосные видеоусилители (ВУ). Селективные усилители различают по усиливаемой полосе частот. Это могут быть узкополосные (для которых полоса пропускания Δf значительно меньше средней частоты усиления f_0 , т.е. $\Delta f < f_0$) усилители радиочастоты (УРЧ), усилители промежуточной частоты (УПЧ), селективные широкополосные (для которых $\Delta f > f_0$) — усилители импульсных сигналов (УИС).

21.1. Параметры и характеристики усилителей

Это количественная оценка энергетического эффекта усиления и меры искажений усиливаемого сигнала.

Коэффициент усиления по напряжению — отношение напряжений сигнала на выходе усилителя по отношению к его входу:

$$K = \frac{U_{\text{вых}}}{U_{\text{вх}}}; K_{\text{дб}} = 20 \lg K = 20 \lg \frac{U_{\text{вых}}}{U_{\text{вх}}}; K_p = \frac{P_{\text{вых}}}{P_{\text{вх}}};$$

$$K_{\text{рдб}} = 10 \lg K_p = 10 \lg \frac{P_{\text{вых}}}{P_{\text{вх}}}.$$

Для усилителей мощности: $K_p = P_{\text{вых}} / P_{\text{вх}}$. Коэффициент полезного действия позволяет оценивать его экономичность, равен отношению полезной мощности к мощности, потребляемой от источника энергии ($\eta = P_{\text{вых}} / P_0 \cdot 100\%$).

Входное сопротивление усилителя — сопротивление переменному току, которое представляет входная цепь усилителя источника сигнала, зависит от частоты сигнала.

Выходное сопротивление сигнала — значение сопротивления на выходе оконечного каскада усиления важно для согласования с последующим устройством.

Диапазон усиливаемых частот (или полоса пропускания) — область частот, в которых коэффициент усиления изменяется не более установленной норматива.

Динамический диапазон амплитуд — отношение (в дБ) амплитуд наиболее сильного и наиболее слабого сигналов. Уровень наиболее слабого сигнала ограничивается в усилителе его собственными шумами или уровнем помех. Величина максимального представляемого напряжения ограничена искажениями, возникающими в усилителе из-за нелинейности усилительного элемента (транзистора). Динамический диапазон речи в радиосвязи считается удовлетворительным в 30...40 дБ, для качественной передачи (в радиовещании) необходим динамический диапазон в 60...70 дБ.

В усилителях звуковой (низкой) частоты различают нелинейные и частотные искажения сигнала. Нелинейные искажения появляются вследствие нелинейности в характеристике транзистора при значительном уровне входных сигналов, приводя к появлению гармоник входного сигнала, оцениваются коэффициентом нелинейных искажений как отношение среднеквадратичной суммы гармонических составляющих к уровню первой гармоники.

$$K_r = \frac{\sqrt{U_2^2 + U_3^2 + \dots}}{U_1^2}.$$

Практически имеют значения только вторая и третья гармоники. Обычно коэффициент нелинейных искажений выражают в процентах.

В радиотелефонной связи допускают K_r до 10...15%, в качественных системах УЗЧ K_r должен составлять доли процентов.

Частотные искажения определяются частотной характеристикой усилителя и оцениваются изменением уровня сигнала на краях полосы пропускания по сравнению с усилением на средней частоте; как отношение усиления в середине полосы (K_0) к усилению на краях (K_H , K_B) в области нижних и верхних частот полосы пропускания:

$$M_H = \frac{K_0}{K_H}; \quad M_B = \frac{K_0}{K_B}.$$

Фазовые искажения обусловлены фазово-частотной характеристиккой усилителя. Для усилителя УЗЧ они несущественны, но с ростом полосы пропускания (особенно в телевидении) они приобретают важное значение. Также фазовые явления проявляются в узкополосных усилителях из-за фазовых характеристик избирательных элементов.

21.2. Аперидические усилители

Аперидические усилители постоянного тока характеризуются частотной характеристикой, начинающейся от нуля частот, т.е. постоянното тока. В таких усилителях связи между усилительными элементами осуществляются непосредственно, без переходных конденсаторов, поэтому режимы всех усилительных элементов жестко связаны друг с другом. Недостатком таких усилителей является их сильная зависимость режима от внешних воздействий, и в первую очередь от температуры. Эта зависимость приводит к «дрейфу» нуля как изменению выходного тока от температуры и случайных воздействий. Дрейф нуля существенно уменьшает динамический диапазон усилителя. Количественная оценка «дрейфа» производится по его уровню, приведенному по входу усилителя. Применение мер температурной стабилизации и компенсации, а также применение парафазного усиления позволило создать УПТ в микросхемном исполнении. Это усилители 140, 155, 157, 544 серий, типа УТ, УД и др.

Аперидические усилители широкополосные (видеоусилители) предназначены в первую очередь для усиления видеосигнала изображения в телевизионных системах. Полоса пропускания таких усилителей простирается от 50 Гц до 7 МГц. В усилителях принимаются меры к расширению полосы пропускания в верхней части частотной характеристики

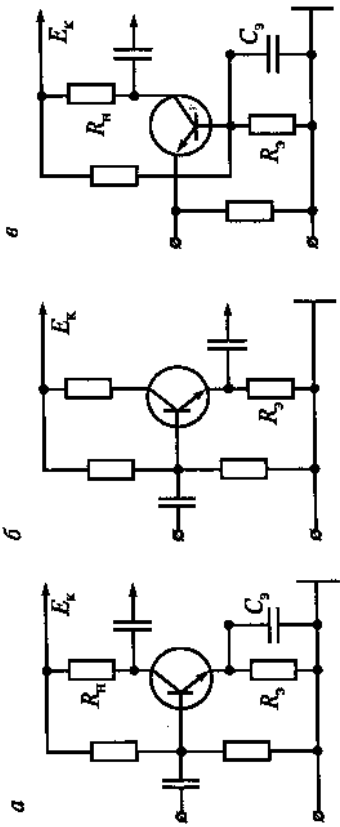


Рис. 21.1. Схемы включения транзистора в усилительном каскаде

ки в основном за счет применения частотно-зависимой нагрузки, увеличивающейся с ростом частоты для компенсации уменьшения коэффициента усиления усилительного элемента с ростом рабочей частоты сигнала.

Электронные усилители напряжения реализуются схемой (с использованием в качестве усилительного элемента транзистора). Существуют три схемы включения транзистора в усилительном каскаде: с общим эмиттером, с общим коллектором и схема с общей базой (рис. 21.1, а, б, в соответственно).

В табл. 21.1 K_p , K_r , K_p — коэффициенты усиления по току, напряжению, по мощности соответственно, $R_{вх}$, $R_{вых}$ — входные и выходные сопротивления усилительного каскада.

Таблица 21.1

Обозначения	Схема	
	с общим эмиттером	с общим коллектором с общей базой
K_i	β	1
K_u	$R_{н}/r_s$	1
K_p	$\beta R_{н}/r_s$	β
$R_{вх}$	βr_s	$\beta R_{н}$
$R_{вых}$	$R_{н}$	r_s

21.3. Особенности схем усиления

Схема с ОЭ: входной ток — это ток базы; входное напряжение — напряжение «эмиттер—база», выходной ток — ток коллектора, выходное напряжение — произведение $i_k R_H$.

Схема с ОК (эмиттерный повторитель): входной ток — ток базы, входное напряжение — напряжение «база—коллектор» (равен сумме выходного напряжения и напряжения «эмиттер—база»); выходной ток — ток эмиттера, выходное напряжение — произведение $i_B R_{\Sigma} = i_K R_{\Sigma}$.

Схема с ОБ: входной ток — это ток эмиттера; входное напряжение — напряжение «эмиттер—база», выходной ток — ток коллектора; выходное напряжение — произведение $i_K R_{\Sigma}$.

Чаще всего для целей усиления используется схема с общим эмиттером. Схема имеет усиление 10...100, частотная характеристика определяется в области верхних частот инерционными свойствами транзистора и паразитными элементами цепи, в области нижних частот — переходными реактивными элементами-конденсаторами. На сопротивление R_{Σ} выделяется напряжение отрицательной обратной связи по току эмиттера; эта обратная связь обеспечивает термостабильность каскада по постоянному току, но снижает усиление по сигналу. Для устранения этого явления параллельно эмиттерному сопротивлению ставят конденсатор, закорачивающий сопротивление, как на переменном составляющей (по сигналу), что убирает отрицательную обратную связь по усилваемому напряжению. В усилителе возможны три основных режима работы (класс А, класс В, класс С), определяемых выбором рабочей точки на статической характеристике транзистора (рис. 21.2). В режиме класса А рабочая точка находится на середине минутного участка характеристики, что обеспечивает минимальные нелинейные искажения при условии, что сигнал не выйдет по размаху за пределы линейного участка. Режимы классов В и С нелинейные, применяются в симметричных двухтактных каскадах, отличаются большой экономичностью (КПД).

Режим В соответствует выбору рабочей точки на нижнем загибе статической характеристики транзистора; усиление транзисторного каскада производится для сигналов одной полярности (для синусоидального сигнала ограничивается усиление только одной полярностью сигнала относительно среднего значения). Используется режим В в двухтактных схемах, в которых каждое плечо каскада усиливает сигнал своей полярности.

Режим С является дальнейшим развитием режима В и используется в основном в импульсных усилителях.

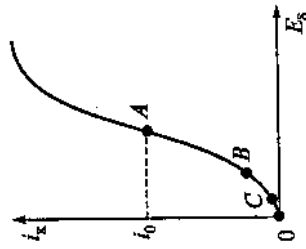


Рис. 21.2. Основные режимы работы усилителя

В радиосредствах железнодорожной радиосвязи нашли широкое применение в качестве усилителей звуковой частоты операционные интегральные усилители (ОУ) (рис. 21.3). Своё название они получили потому, что с их помощью можно реализовать функциональные преобразования (операции) вида дифференцирования, интегрирования, логарифмирования и т.д. Собственный коэффициент усиления интегрального усилителя ОУ, который представляет микро-схему широкополосного усилителя постоянного тока, достигает несколько тысяч, вследствие этого и примененной схемы создаются условия, при которых передаточная функция усилителя определяется только внешними прямой и обратной цепями.

$$R(w) = -\frac{Z_2(w)}{Z_1(w)} \quad \text{или} \quad K_{\text{ус}} = -\frac{R_2}{R_1}$$

Операционный усилитель (ОУ) имеет два входа: прямой (неинвертирующий) и второй вход (-) инвертирующий (для образования отрицательной обратной связи в усилителе). Так, в радиостанции РС-6 суммирующий усилитель в выходном канале звуковой частоты собран на ОУ типа К157УД1 (ДЗ в блоке БИС) (рис. 21.4).

В радиостанции РС-46 и РС-23 усиление и вывод речевых сигналов с внутренних магистралей на телефон МТГ осуществляется с помощью микросхем (Д18:А1 и Д21:А1 блока АПУ) типа КР140УД708 (рис. 21.5). В радиостанции РВ1.1.М (рис. 21.6) оконечный усилитель мощности выполнен на микросхеме (D12 блока приемника) типа ЭКР1436УН1.

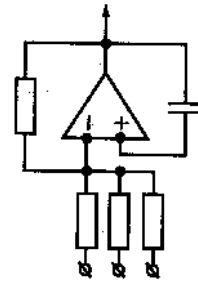


Рис. 21.4. Усилитель в радиостанции РС-6

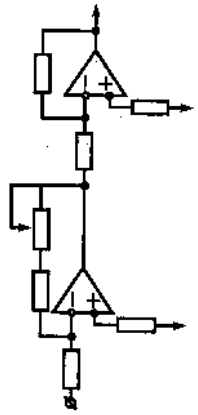


Рис. 21.5. Усилитель в радиостанции РС-46М

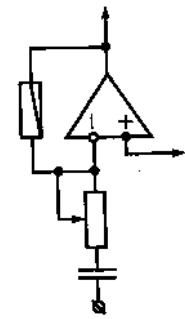


Рис. 21.6. Усилитель в радиостанции RB-1.1M

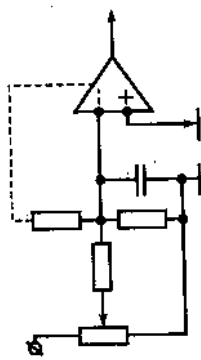


Рис. 21.7. Оконечный усилитель «Motorola» типа GR300-390

В радиостанциях «Motorola» типа GR300 выходной каскад усилителя звуковой частоты собран на микросхеме (U409) типа TDA7052 (рис. 21.7). В УПП-2 усилитель низкой (звуковой) частоты приемника состоит из двух каскадов активных фильтров (ФНЧ и ФВЧ), ограничивающих звуковой диапазон в 0,3...3,4 кГц, и оконечного усилителя, собранных на микросхемах Д10.1, Д10.2, Д11.1 типа КР544УД6В (рис. 21.8).

Операционные усилители повсеместно используются в качестве микрофонных усилителей, промежуточных усилителей и при малой выходной мощности в качестве оконечных усилителей звуковой частоты.

Оконечные усилители звуковой частоты реализуются в резистивных транзисторных каскадах или операционных усилителях (при малой мощности) или в двухтактной безтрансформаторной схеме, построенной чаще всего на двух однотактных каскадах с транзисторами разной проводимости. Так выполнен оконечный каскад радиостанции РН-12Б, схема представлена на рис. 21.9.

Аналогичная двухтактная схема на разнополярных транзисторах применена в оконечном каскаде радиостанции RB-1 (рис. 21.10).

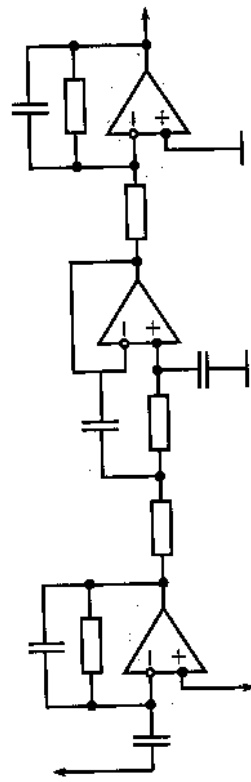


Рис. 21.8. Усилитель низкой частоты УПП-2МВ

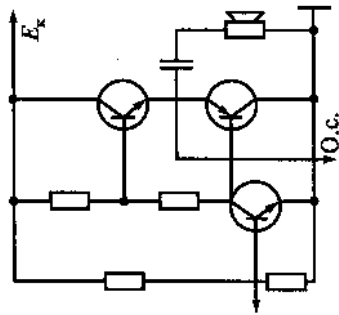


Рис. 21.9. Оконечный каскад радиостанции РН-12Б

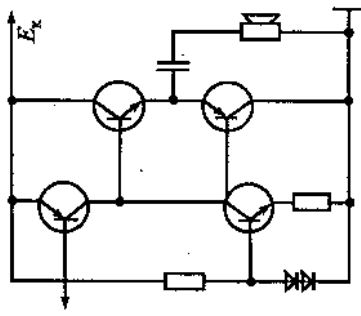
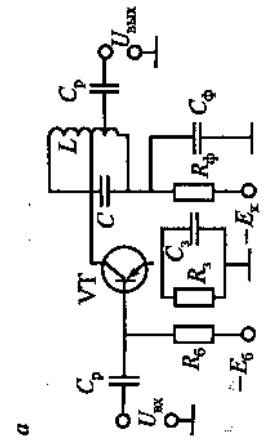


Рис. 21.10. Оконечный каскад радиостанции RB-1

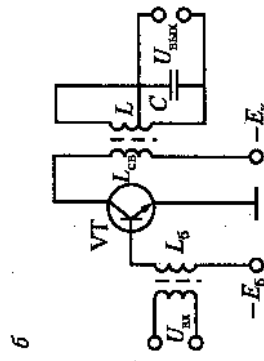
21.4. Селективные усилители

Усилители радиочастот (УРЧ) работают во входных устройствах приемников на частотах 2, 150; 330; 460 МГц; относятся к узкополосным усилителям. Частотную характеристику формируют избирательные цепи — контуры и фильтры. В основном используется схема усилителя с общим эмиттером, на высоких частотах возможно применение схемы с общей базой или составной схемы из двух транзисторов, по разной схеме (СОЭ, СОБ). Типовые схемы включения представлены на рис. 21.11.

Для транзисторов (особенно на высоких частотах) характерно присутствие значительной обратной связи из-за проходной емкости «база — коллектор» $C_{бк}$ и наличие гальванической связи «база — коллектор». Для борьбы с влиянием обратной связи применяют элементы коррекции и нейтрализации (рис. 21.12).



а



б

Рис. 21.11. Схемы усилителя радиочастот с автотрансформаторным (а) и трансформаторным (б) включением контура

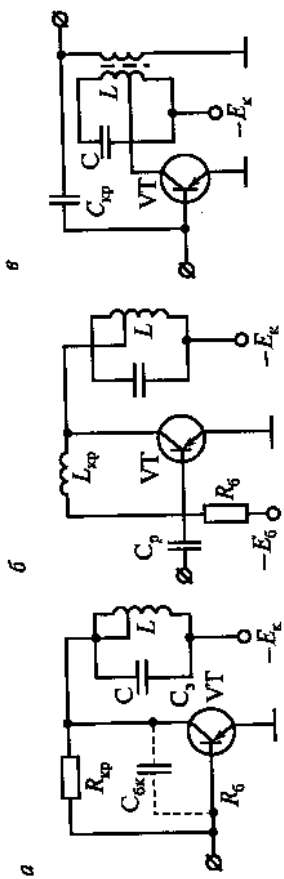


Рис. 21.12. Элементы коррекции

Так, например, в радиостанции «*Motorola* GP-300» УРЧ выполнен на транзисторе Q_1 *n-p-n* типа MMBR951 по схеме с общим эмиттером и реостатно-емкостной целью нейтрализации (рис. 21.13).

В приемнике КВ-радиостанции РВ1.1М УРЧ выполнен на транзисторе VT3 типа 2Т3130А9 (*n-p-n*) по схеме с общим эмиттером (рис. 21.14).

В приемопередатчике УПП-2 в качестве УРЧ применяется двухкаскадный усилитель на транзисторах V3 и V4 типа BFG540/XR (*n-p-n*), включенных по схеме (рис. 21.15) с общей базой.

Сложный усилитель УРЧ с применением составного транзистора по схеме каскад с общим эмиттером + каскад с общей базой, собранных на транзисторах (*n-p-n*) QF2 и QF3 типа 2SC4099, используется в радиостанциях РЗП-1 «Гранит» (рис. 21.16). Аналогичная схема УРЧ применяется в радиостанциях РН-12Б.

Усилители промежуточной частоты (УПЧ) являются полосовыми усилителями высокочастотных колебаний. Их основное назначение — усилить сигнал до уровня, необходимого для детектирования, и сформировать

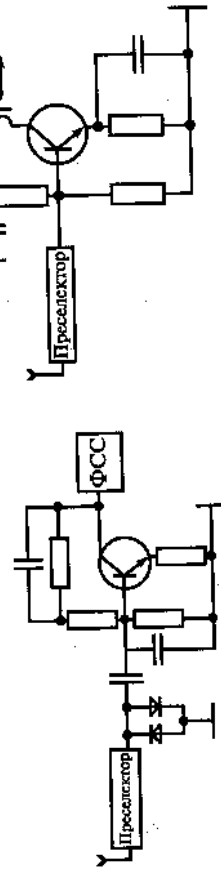


Рис. 21.14. УРЧ приемника КВ радиостанции РВ1.1М

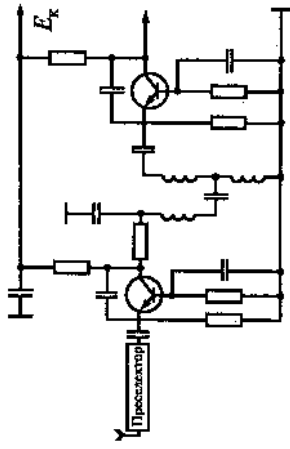


Рис. 21.15. УРЧ приемника УПП-2МВ

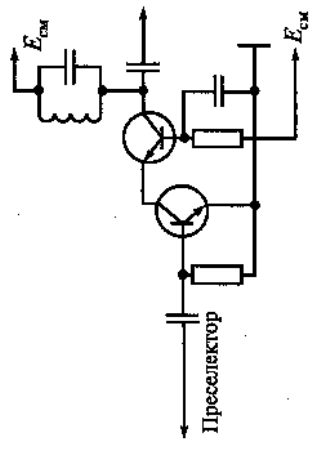


Рис. 21.16. УРЧ радиостанции «Гранит»

Большинство схем УПЧ построено по единому стандартному проекту. Рассмотрим УПЧ на примере УПП-2 (рис. 21.17).

Усилительный каскад собран на транзисторе (V_5) типа КТ368А. На входе включен двухконтурный полостной фильтр, на выходе — четырехконтурный фильтр сосредоточенной селекции (ФСС) и кварцевый фильтр Z₁, настроенный на частоту УПЧ-1 — 21,4 МГц. Усилитель второй промежуточной частоты совместно с преобразователем, вторым гетеродином и частотным детектором обычно выполняется в единой микросхеме типа МС-3359 или МС-3371Р.

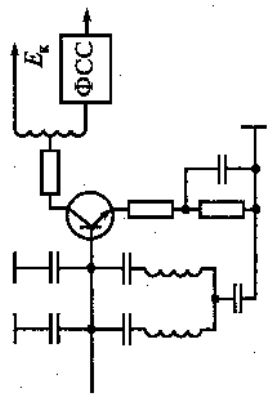


Рис. 21.17. УПЧ-1 в УПП-2МВ

22. ГЕНЕРАТОРЫ

Генерирующие устройства систем радиосвязи можно разделить на три группы: задающие генераторы (или автогенераторы), промежуточные усилители (или умножители частот) и оконечные усилители мощности (или генераторы с внешним возбуждением).

22.1. Задающие генераторы (ЗГ)

Задающие генераторы, или автогенераторы (генераторы с самовозбуждением), являются основным и главным звеном в генераторном оборудовании. От точности установки частоты его колебаний, стабильности частоты, спектральной частоты сигнала зависит качество работы всей системы.

Установление колебаний в техническом устройстве возможно при наличии замкнутого контура передачи сигналов, т.е. при наличии обратной связи. Режим генерации (возбуждения) возможен при соблюдении двух условий: баланса амплитуд и баланса фаз.

Баланс амплитуд удовлетворяется при создании коэффициента передачи по замкнутому контуру больше единицы, что требует при наличии потерь в замкнутой цепи обязательного присутствия усилительного элемента.

Баланс фаз означает полный поворот фазы сигнала по замкнутому контуру в 2π . Такой поворот фазы может быть достигнут только за счет применения реактивных элементов, сдвигающих фазу (конденсаторов и индуктивностей), поворот на π возможен при использовании трансформаторов при встречном включении его обмоток, поворот на π присутствует между напряжениями базы и коллектора в транзисторе.

Большинство практических схем автогенераторов строится по трехточечной схеме (рис. 22.1; точки κ , δ , ε). Эта схема содержит активный трехполосник (транзисторный усилительный элемент) и пассивный трехполосник, составленный из реактивных элементов Z_1 , Z_2 , Z_3 . Исходя из баланса фаз, Z_1 и Z_2 должны быть одного вида реактивности (конденсаторы или индуктивности), а Z_3 — иметь противоположный вид

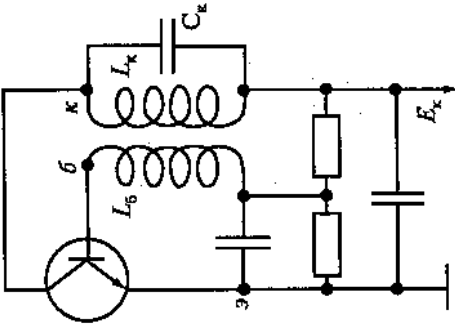


Рис. 22.1. Трехточечная схема автогенератора

реактивности. Если Z_1 и Z_2 — емкости, то Z_3 — индуктивность, и схема называется «емкостная трех точек»; если Z_1 и Z_2 — индуктивности, а Z_3 — емкость, то схема называется «индуктивная трех точек». Условие самовозбуждения по фазовому балансу выглядит так:

$$X_1 + X_2 - X_3 = 0 \text{ или } X_1 + X_2 = X_3.$$

В качестве примера рассмотрим две схемы автогенераторов: емкостной трехточечной (рис. 22.1) и с индуктивной связью (рис. 22.2) (точки κ , δ , ε).

На рис. 22.2 баланс амплитуд по замкнутому контуру: «база—коллектор—база» обеспечивается усилением транзистора и трансформаторной связью между коллекторным контуром и катушкой обратной связи L_6 . Фазовый сдвиг в 2π (баланс фаз обеспечивается поворотом фазы на π между напряжением базы и коллектора и встречным включением катушки обратной связи).

Схемы «емкостной трех точек» применяются в возбуждителях радиостанции РН-12Б и опорного генератора в КВ-радиостанции РВ1.1.М [23].

В схеме возбуждителя радиостанций РН-12Б применена «емкостная трехточка» (рис. 22.3). Также в этой схеме применена кварцевая стабилизация частоты на кварцевом элементе $\kappa_к$, работающей на частоте между последовательным и параллельным резонансами, на кругом скате фазовой характеристики, имеет индуктивное сопротивление. Сопротивления R_1 и R_2 определяют рабочую точку транзистора по режиму постоянного тока.

Схема опорного генератора КВ-передатчика радиостанции РВ1.1.М работает аналогичным образом (рис. 22.4). Добавлен каскад буферный на транзисторе VT1, работающий по схеме с общей базой. Кроме того, последовательно с кварцем включена перестраиваемая индуктивность

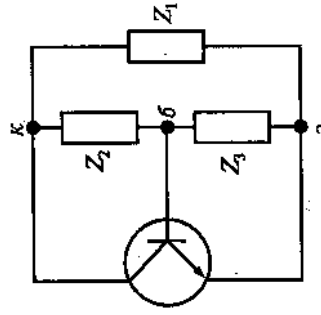


Рис. 22.2. Автогенератор с индуктивной связью

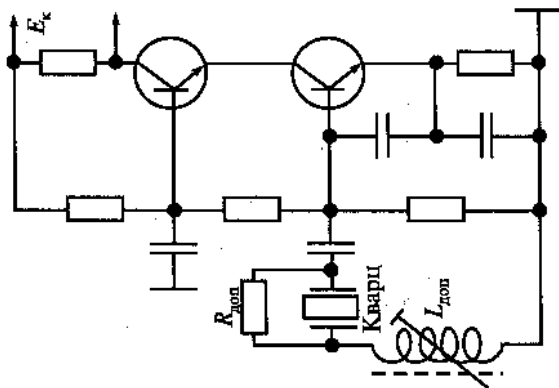


Рис. 22.3. Схема возбуждителя РН-12Б

$L_{доп}$ для регулировки установки частоты в небольших пределах и параллельно кварцу включено сопротивление для срыва возможных колебаний на старших гармониках исходного колебания. Похожая схема работает в опорном генераторе «Толаз» в возбуждители синтезатора УПП-2.

В большинстве современных радиостанций задающие генераторы выполнены в виде синтезатора частоты, который обеспечивает быструю перестройку и высокую стабильность частоты генерации, определенной стабильностью опорного генератора. На рис. 22.5 приведена структурная схема стандартного синтезатора частоты на примере синтезатора УПП-2.

Формирование рабочих приемопередатчиков осуществляют два синтезатора:

- синтезатор-гетеродин в режиме приема;
- синтезатор-возбудитель в режиме передачи.

Синтезаторы выполнены по одинаковой схеме на основе кольца ФАПЧ — фазовой автоподстройки частоты с трактом деления в цепи обратной связи. ГУН-генератор, управляемый напряжением синтезатора-гетеродина, вырабатывает синусоидальный сигнал (для первого

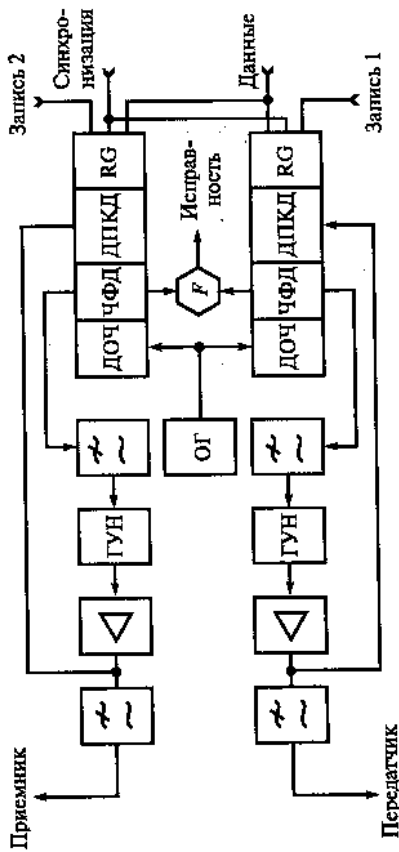


Рис. 22.5. Синтезатор частоты

преобразователя приемника) в диапазоне 173,125...177,4 МГц. Перестройка ГУН в диапазоне осуществляется изменением управляющего напряжения.

Сигнал с выхода ГУН через буферный усилитель У1 поступает на вход делителя с переменным коэффициентом деления ДПКД. Переменный коэффициент изменяется с помощью регистра RG, который, в свою очередь, управляется по шине данных во время настройки радиостанции на рабочую частоту радиостанции. С выхода ДПКД поделенный по частоте сигнал поступает на частотно-фазовый детектор, на второй вход которого поступает поделенный (ДОЧ) делителем опорной частоты ($\omega_0 = 10$ МГц) сигнал от опорного стабилизированного кварцевого генератора до частоты сравнения 12,5 кГц. ЧФД формирует сигнал ошибки, пропорциональный разности фаз (частот) сравниваемых сигналов. Этот сигнал ошибки после фильтра нижних частот воздействует на ГУН, заставляя его принять требуемое значение частоты, определяемой коэффициентом деления ДПКД. ЧФД имеет выход сигнала для схемы контроля F при формировании сигнала исправности синтезатора. Второй синтезатор — возбудитель передатчика — работает аналогично и выдает сигнал в диапазоне 151,725...156 МГц.

Управляющий частотой синтезатора сигнал поступает в виде 32-рядного управляющего слова по шине «данных» и фиксируется в регистрах по команде «Запись 1» и «Запись 2». Продвижение сигнала «Данные» в регистре RG осуществляется сигналом «Синхронизация», при этом последовательный код преобразуется в параллельный.

Функции ДОЧ, ЧФД, ДПКД, КГ выполняет многофункциональная микросхема, в качестве опорного генератора используется для обоих синтезаторов высокостабильный генератор «Топаз» частотой 10 МГц.

Синтезаторы частоты в качестве возбудителей передатчиков и генераторов приемников применяются в большинстве современных радиостанций железнодорожного транспорта. Это стационарные радиостанции, использующие унифицированные блоки УПП-1, УПП-2, УПП-3 типа РС-6, РС-46, РС-460Д, возимые радиостанции РВ-1, РВ-2... РВ-5, РС-460В, носимые радиостанции ГР-300, «Радий», «Гранит-2».

22.2. Умножители частоты (УЧ)

В радиостанциях предыдущего поколения ЖР-УК, в носимой радиостанции РН-12Б применяются умножители частоты в передающем тракте. В качестве умножителя используются усиленные каскады с рабочей точкой на нелинейной части статической характеристики транзистора. При этом в каскаде усиления происходит «отсечка» части синусоидального сигнала (рис. 22.6).

Как известно, при искажении синусоидального сигнала появляются гармоники основной частоты. Зависимость интенсивности гармоник от угла отсечки приведена в виде функций Берга (рис. 22.7), здесь α_0 — уровень постоянной составляющей, α_1 — уровень первой гармоники, $\alpha_2, \alpha_3, \alpha_4$ — уровни соответственно второй, третьей и четвертой гармоник входного сигнала. Выбрав необходимый угол отсечки для заданно-

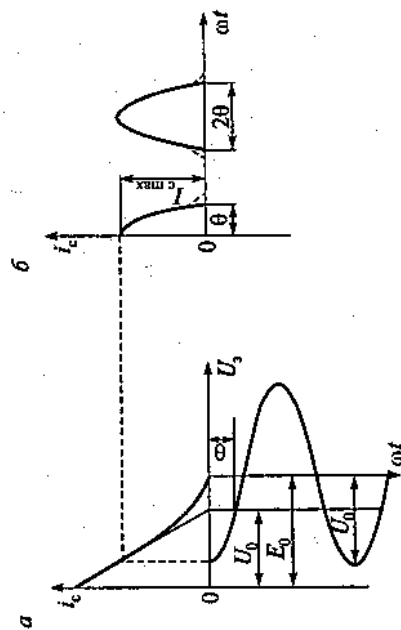


Рис. 22.6. «Отсечка» сигнала в нелинейной части характеристики транзистора

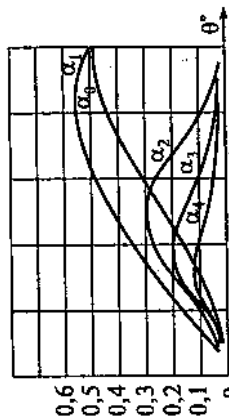


Рис. 22.7. Функции Берга. Интенсивность гармоник сигнала в зависимости от «отсечки»

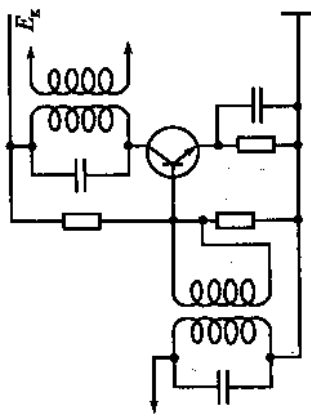


Рис. 22.8. Схема умножителя частоты

го коэффициента умножения частоты и настроив выходной контур резонансного усилителя на соответствующую гармонику ($k\omega_0$) входного сигнала, можно получить удвоитель, устройство частоты (рис. 22.8). Строить умножитель более высокого порядка нецелесообразно в силу низкого коэффициента передачи частоты.

22.3. Усилители мощности (УМ)

Усилители мощности передатчиков иногда называют генераторами с внешним возбуждением. Основные требования к таким усилителям: обеспечение заданной выходной мощности в нагрузке, достаточное выходное КПД (особенно в носимых радиостанциях для экономии энергопитания), необходимая полоса частот пропускания для неискаженной передачи модулированных сигналов. В оконечных каскадах усилителей мощности радиопередатчиков применяют мощные транзисторы со значительными коллекторными токами. На полезную мощность и коэффициент полезного действия существенно влияет отношение наибольшего напряжения на базе к наименьшему коллекторному напряжению. Наибольшее напряжение на базе (в схеме с общим эмиттером bipolarного транзистора) равно сумме напряжения источника смещения E_6 и амплитуды переменного напряжения U_6 :

$$(U_6)_{\max} = E_6 + U_6.$$

Наибольшее коллекторное напряжение равно разности между напряжением коллекторного питания E_k и амплитудой переменного напряжения на контуре U_k :

$$(U_{k \max} = E_k - U_k).$$

Различают три режима работы оконечного транзисторного каскада: недонапряженный, при котором $U_{k \min} > U_b \max$, в течение всего периода базовое напряжение не превышает напряжения на коллекторе; критический, при котором напряжение на базе и коллекторе равны, превышает коллекторное $U_b \max > U_k \min$, при этом происходит перераспределение токов базы и коллектора, приводящие к деформации формы импульса коллекторного тока в виде появления «седловины». Так как сигналы в оконечном каскаде претерпевают искажения формы, что приводит к появлению высших гармонических составляющих, то можно воспользоваться кривыми Берга (см. рис. 22.7) при выборе угла отсечки для получения максимального усилительного эффекта для выбранной гармоники (в частности, первой). Более напряженному режиму соответствует более высокие КПД. Недостаток перенапряженного режима — уменьшение коллекторного тока и значительное искажение формы сигнала. Недонапряженный режим имеет худший КПД, но более чистый выходной сигнал.

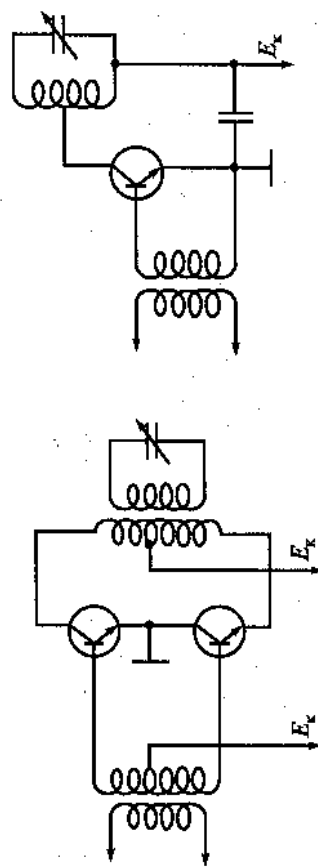


Рис. 22.9. Двухтактный усилитель мощности

Рис. 22.10. Однотактный усилитель мощности

Критический режим сочетает преимущества других режимов. Простейшая схема оконечного каскада приведена на рис. 22.9. Иногда применяется двухтактная схема, созданная соединением двух однотактных схем, работающих в режиме класса В. Эта схема имеет максимальный КПД при удовлетворительной форме сигнала (рис. 22.10).

23. МОДУЛЯТОРЫ, ДЕМОДУЛЯТОРЫ И ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ ЧАСТОТЫ

Полезная информация, выраженная электрическим сигналом, обычно занимает низкочастотную полосу спектра. Так, например, сигналы телеавтоматики и телеграфа находятся в полосе от 0 до 100 Гц, сигналы телефонии — в полосе 0,3...3,4 кГц, сигналы телевидения — от 50 Гц до 7 МГц. Для передачи по радиоканалу используются электромагнитные колебания более высоких частот. Модуляция как процесс переноса спектра полезного сигнала необходима для преобразования информационного сигнала к высокочастотному виду, удобному для передачи по радиоканалу. Модуляция осуществляется путем изменения какого-либо параметра, несущего гармонического колебания. В зависимости от параметра, несущего колебания, передающего полезную низкочастотную информацию, различают амплитудную, частотную и фазовую модуляции.

23.1. Амплитудная модуляция

Процесс переноса спектра частот сигнала (образование новых частотных составляющих, отсутствующих во входных сигналах) возможен только в нелинейных системах. Рассмотрим работу простейшего амплитудного модулятора на диодах (рис. 23.1), вольт-амперную характеристику которых аппроксимируем усеченным степенным рядом вида: $i = aU + bU^2$.

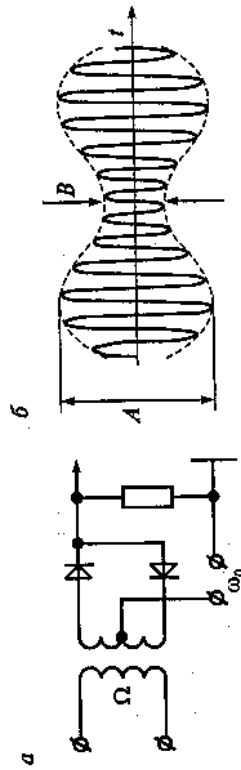


Рис. 23.1. Амплитудная модуляция (а — схема; б — осциллограмма), А и В — максимальная и минимальная амплитуды

Если принять несущее колебание $U_H = U_H \cos \omega_H t$, информационный модуляционный сигнал $U_c = U_c \cos \Omega_c t$, то можно найти напряжение на диодах VD1 и VD2 (модулирующее напряжение подается на диоды в фазе, а модулируемое — в противофазе):

$$U_1 = 0, 5U_c \cos \Omega t + U_H \cos \omega_H t,$$

$$U_2 = 0, 5U_c \cos \Omega t - U_H \cos \omega_H t.$$

Токи, протекающие через диоды:

$$i_1 = a(0, 5U_c \cos \Omega t + U_H \cos \omega_H t) + b(0, 5U_c \cos \Omega t + U_H \cos \omega_H t)^2,$$

$$i_2 = a(0, 5U_c \cos \Omega t - U_H \cos \omega_H t) + b(0, 5U_c \cos \Omega t - U_H \cos \omega_H t)^2.$$

Ток в нагрузке будет равен разности токов в диодах:

$$i_R = i_1 - i_2 = 2aU_H (1 + M \cos \Omega t) \cos \omega_H t,$$

где $M = \frac{bU_c}{aU_H}$ — глубина модуляции; круглую скобку можно рассматривать как величину, изменяющую амплитуду несущего колебания.

На рис. 23.1, б представлена осциллограмма полученного модулированного колебания, по которой можно также определить глубину модуляции (обычно выражаемую в процентах):

$$M = \frac{A-B}{A+B} 100 \%$$

А выражение для тока в нагрузке можно представить в другом виде, если раскрыть скобки:

$$i_R = 2aU_H \cos \omega_H t + [bU_H U_c \cos(\omega_H \Omega) + bU_H U_c \cos(\omega_H + \Omega)].$$

Последнее выражение определяет спектральный состав амплитудно-модулированного колебания (рис. 23.2).

Спектральный состав модулированного колебания содержит несущую на частоте ω_H и две боковые составляющие на частотах $\omega - \Omega$ и $\omega + \Omega$. Пунктиром нанесены возможные положения частей спектра, обусловленные не гармоническим, а полосовым информационным сигналом

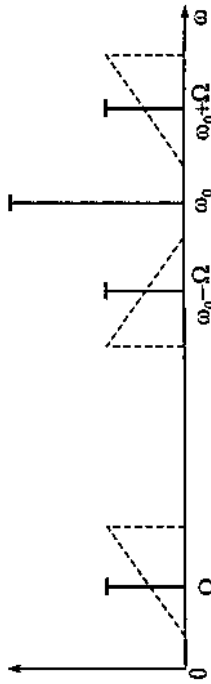


Рис. 23.2. Спектры при амплитудной модуляции

(например, сигнал телефонии). Верхняя и нижняя боковые полосы симметричны; если в спектре АМ-колебания выделить только одну боковую полосу, то получаем просто перенос спектра частот из низкочастотной области в высокочастотную, т.е. анализируется функциональное преобразование частоты сигнала, что приводит к образованию устройства — преобразователя частоты.

В приведенной для примера схеме АМ-модулятора использовались нелинейные элементы в виде диодов, но такие же процессы возможны в любом электронном устройстве, имеющем нелинейную вольт-амперную характеристику. Это может быть любой транзистор ($p-n$ -переход) или электровакuumная лампа, работающая на нелинейном участке их характеристик. Амплитудная модуляция используется в радиосистемах ТУ-ТС, избирательного тонального вызова и некоторых других приложениях.

23.2. Преобразование частоты

Рассмотрим амплитудный модулятор. В вышеприведенном разделе отмечаем, что в процессе АМ-модуляции происходит перенос спектра сигналов из одной (низкочастотной) области в другую (высокочастотную). В радиоприемных устройствах приходится решать другую задачу: из высокочастотной области принимаемого сигнала нужно перевести полезный сигнал в другую, более низкочастотную, область (на промежуточную частоту, на которой осуществляется основное усиление полезного сигнала в радиоприемнике и где облегчается фильтрование сигнала принимаемой станции от сигнала соседней станции). Возможность для такого переноса заложены в предыдущей схеме наличием частотных компонент вида $\omega_H \pm \omega_c$. Нелинейное взаимодействие двух сигналов разных частот приведет к образованию частотных составляющих $\omega_1 - \omega_2$ и $\omega_1 + \omega_2$. Смешивание двух сигналов на нелинейном элементе

отражается термином «смеситель», применяемом иногда для преобразования частоты. Выбрав фильтрами первую составляющую, мы реализуем необходимый перенос спектра на меньшую (разностную) частоту. К сожалению, аппроксимация нелинейной вольт-амперной характеристики преобразовательного элемента не ограничивается двумя слагаемыми степенного ряда, а включает в себя и последующие слагаемые: $i = aU + bU^2 + dU^3 \dots$, что приведет к появлению в спектре выходного сигнала целого ряда составляющих вида $\omega_1 \pm \omega_2$. Наличие значительно большего числа синтезированных составляющих увеличивает требование к фильтру, выделяющему необходимый участок спектра вида $\omega_1 - \omega_2$. Схемотипично преобразователи частоты представляют собой перемножитель двух сигналов. Перемножение может быть реализовано либо на нелинейных элементах (диолах, транзисторах и т.д.), либо на элементах с переменными параметрами. Обычно преобразование частоты осуществляется при соблюдении малости напряжения сигнала относительно частоты, модулирующей $U_c \ll U_m$. По отношению к слабому полезному сигналу можно считать преобразователь линейным (сигнал занимает на вольт-амперной характеристике преобразовательного элемента незначительный участок, можно считать, что на этом участке характеристика линейна). Проводимость нелинейного преобразовательного элемента будет изменяться только из-за сигнала гетеродина U_1 большой амплитуды. В преобразователе частоты наряду с полезным разностным сигналом частотой $\omega_1 - \omega_c$ образуется и разностный сигнал $\omega_3 - \omega_1$ с другой частотой ω_3 , равный разностному сигналу от первого преобразователя. Второй сигнал называется «зеркальной» помехой, и подавить его можно только в каскадах усиления радиочастоты (УРЧ) в соответствии с рис. 23.3.

Напряжение U_3 «зеркальной» помехи на «зеркальном» канале отфильтровывается входными устройствами и каскадами УРЧ. Улучшить помехоустойчивость по «зеркальной» помехе можно при увеличении значения промежуточной частоты (тогда «раздвинется» расстояние по

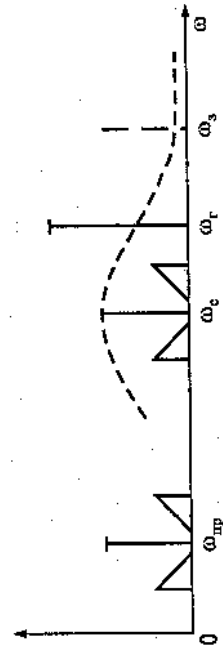


Рис. 23.3. Спектры сигналов в преобразователе частоты

частоте между ω_c и ω_3 , что снизит уровень «зеркальной» помехи из-за фильтрации водными устройствами). Однако чрезмерное повышение значения промежуточной частоты $\omega_{пр}$ затрудняет формирование частотной характеристики ее фильтра, главная задача которого — отфильтровывать сигнал принимаемой станции от сигнала соседней по частоте станции; падаст коэффициент прямоутольности фильтра, ухудшается избирательность по соседнему каналу. (На более низкой частоте легче реализовать хороший фильтр, выделяющий полезный сигнал). Компромисс между этими двумя требованиями можно найти в применении двойного преобразования частоты: сначала на высоком значении первой промежуточной частоты отсечь «зеркальную» помеху, затем на более низкой промежуточной частоте отфильтровать сигнал нужной станции от соседней. По такой схеме собраны все приемники всех существующих радиостанций ж.-д. транспорта.

Преобразователи частоты реализуются на нелинейных элементах — диодах и транзисторах. Транзисторные преобразователи бывают с смещенными или разделенными гетеродинами. В совмещенном преобразователе на одном транзисторном каскаде собраны схемы автогенератора и преобразователя частоты. Недостатком совмещенного преобразователя является невозможность одновременно обеспечить оптимальные режимы работы гетеродина и преобразователя частоты. Лучшими характеристиками обладает преобразователь с разделенным гетеродином. На рис. 23.4 представлена схема первого преобразователя (смесителя) радиостанции РН-12Б, а на рис. 23.5 — схема первого смесителя радиостанции «Гранит».

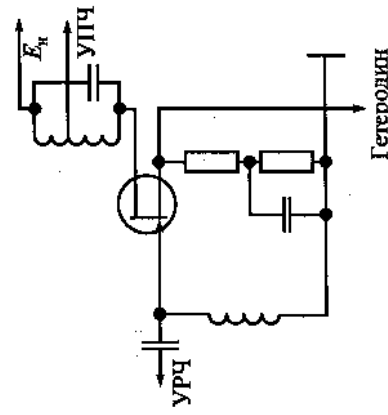


Рис. 23.4. Смеситель РН-12Б

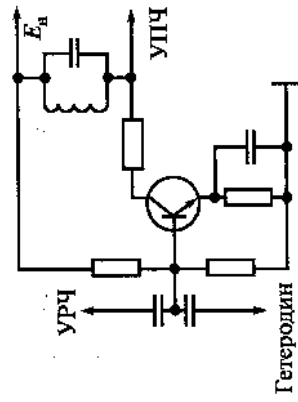


Рис. 23.5. Смеситель радиостанции «Гранит»

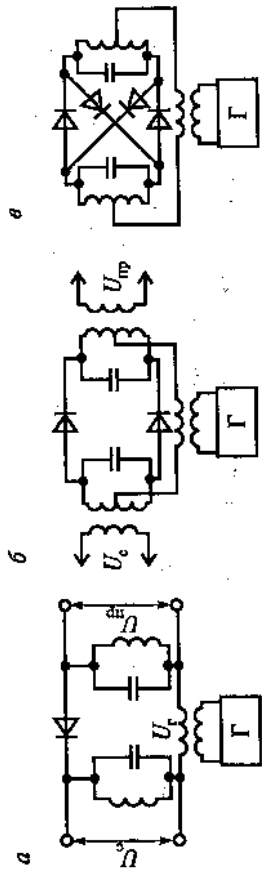


Рис. 23.6. Схемы диодных преобразователей

Диодные преобразователи частоты по числу диодов и способу их включения делят на следующие типы: с одним диодом (простые) (рис. 23.6, а); балансные с двумя диодами (рис. 23.6, б); кольцевые с четырьмя диодами (сложные) (рис. 23.6, в).

В балансном смесителе входной сигнал подается на два диода в противофазе, напряжение гетеродина синфазно, что позволяет компенсиро-

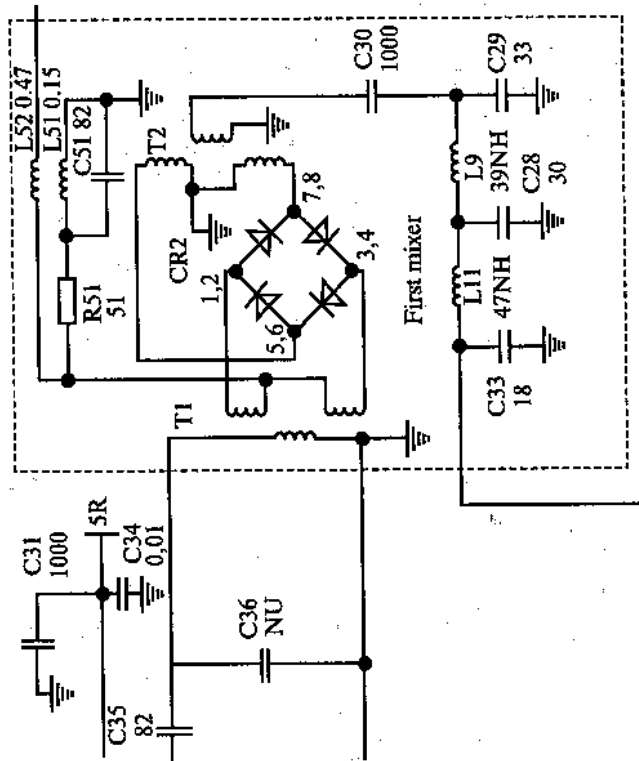


Рис. 23.7. Первый преобразователь радиостанции «Motorola»

ровать многие составляющие спектра преобразованного сигнала. Кроме того, в обмотке выходного трансистора токи гетеродина протекают встречно, компенсируя друг друга, в выходном сигнале отсутствует составляющая на частоте гетеродина, что облегчает дальнейшую фильтрацию на промежуточной частоте.

Мостовой смеситель (рис. 23.7) еще более совершенен, подавляет большинство нежелательных продуктов смешивания сигналов. Такая схема применяется в первых смесителях радиостанций «Motorola» и в приемнике КВ-радиостанции РВ1. В УПП-2 используется микросхема типа 601ПС1Б для целей преобразования частоты, в которой также реализована схема мостового смесителя. В большинстве существующих радиостанций железнодорожного транспорта второе преобразование частоты совместно со вторым гетеродином реализуются на большой интегральной схеме типа МС3371Р или МС3361Р.

23.3. Частотная модуляция

Частотная модуляция является частным случаем более широкого понятия — угловой модуляции, которая представляется частотной и фазовыми модуляциями. Эти виды модуляций близки и взаимосвязаны.

В радиотехнических системах железнодорожного транспорта наиболее широко используется частотная модуляция (ЧМ) для аналоговых (непрерывных) сигналов, например, в радиотелефонии, и фазовая модуляция (ФМ) для дискретных (импульсовых) сигналов, например, при передаче данных.

Аналоговая частотная модуляция реализуется двумя принципами: прямая частотная модуляция, при которой модулирующий сигнал непосредственно изменяет частоту несущего колебания, и косвенная частотная модуляция, при которой изменяется фаза несущего колебания полезным сигналом, предварительно проинтегрированным на выходе модулятора. Класс излучения — F3E.

Частотные модуляторы с прямым методом модуляции бывают с параметрической и кварцевой стабилизацией частоты автогенератора. В схеме частотного модулятора с параметрической стабилизацией частоты (рис. 23.8) к контуру автогенератора подключен варикап (управляемая напряжением емкость — p - n -переход в закрытом состоянии). На варикап подается напряжение смещения через вторичную обмотку трансистора T_2 и ВЧ-дроссель L . Дроссель служит для защиты от замыкания

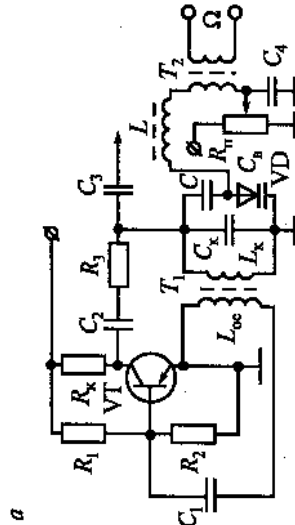


Рис. 23.8. Схема частотного модулятора (а) с прямым методом модуляции и зависимостью емкости варикапа от напряжения (б)

через трансформатор высокочастотной цепи колебательного контура, для низких частот его сопротивление незначительно). Конденсатор C_2 через который варикап VD подключен к контуру, исключает замыкание источника смещения через T_2 , L , L_k на землю и определяет коэффициент подключения варикапа к контуру. Модулирующее напряжение $U(t)$ изменяет емкость варикапа и контура в целом и, следовательно, частота модуляции определяется величинами девиации (отклонения) частот и индексом модуляции (глубиной модуляции).

Для системы «Транспорт» стандартная девиация (на изменяемой частоте модуляции в 3000 Гц) составляет 3 кГц, максимальное значение девиации (в системе ЖР-УК он был равен 5 кГц). Спектр УМ-колебания достаточно широк, но, убирая несущественные гармоники, его можно приблизительно определить по формуле

$$\Delta f = 2,4\Delta + 2F_B,$$

где F_B — верхняя частота модулирующего сигнала, равная 3,4 кГц; Δ — максимальная девиация.

Тогда для системы «Транспорт» занимаемая измерением ФЭЕ, полоса будет $\Delta f \approx 19$ кГц (для ЖР-У $\Delta = 2,4 \cdot 10$ кГц + $2 \cdot 3,4$ кГц ≈ 31 кГц).

Частотный модулятор с параметрической стабилизацией частот позволяет получить достаточно большое значение девиации, не требует дополнительной стабилизации частоты, задаваемой кварцевым резонатором. В приемопередатчиках УПП-1 и УПП-2 отсутствует умножение частоты несущего колебания на частотах 2,16 и 2,15 МГц и 151...156 МГц, поэтому модуляция осуществляется непосредственно на несущей частоте излучения. На рис. 23.9 приведен фрагмент синтсезатора УПП-2, включающий в себя частотный модулятор.

В этой схеме две пары варикапов управляются частотой автогенератора, управляемого напряжением (ГУН). Варикапы V_1 и V_2 включены в систему ФАПЧ и поддерживают стабильность частоты, варикапы V_3 и V_4 изменяют частоту по закону модулирующего сигнала. Моделирующий сигнал, поступающий от микрофона или другого источника, получает усиление в подмодуляторе, где кроме усиления формируется ограниченная частотная характеристика в полосе 0,3/3,4 кГц и осуществляется предкоррекция спектра сигнала в +6 дБ/октаву для подъема слабых высокочастотных составляющих речевого сигнала. При этом помехозащищенность тракта передачи эффективнее используется путем улучшения отношения сигнал/шум по импедансным помехам из-за повышенного уровня высокочастотных составляющих речевого сигнала, динамический диапазон которого оказывается сжатым (уменьшенным) за счет усиления (подъема) более слабых звуков верхней части спектра.

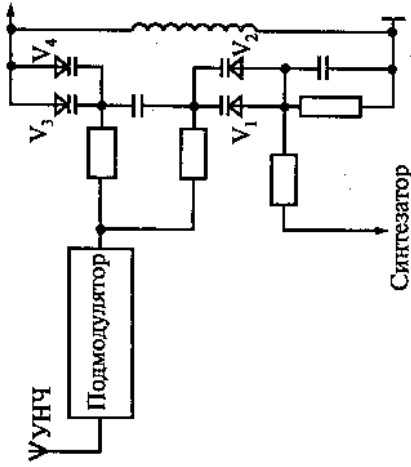


Рис. 23.9. ЧМ-модулятор УПП-2МВ

23.4. Демодуляция (детектирование) сигналов

Процесс восстановления информационного сигнала из модулированного колебания называется демодуляцией или детектированием (от англ. *detect* — обнаруживать). Детектор выделяет полезную информацию низкочастотного спектра из входного модулированного колебания, содержащего только высокочастотные составляющие: колебания несущей частоты и боковые полосы, т.е. в детекторе происходит преобразование спектра входного сигнала, и, естественно, этот процесс осуществляется только на нелинейном элементе диоде, транзисторе (только в ходе). В зависимости от вида модуляции, переносащего полезную информацию, демодуляторы подразделяются на детекторы АМ — амплитудной модуляции, детекторы ЧМ — частотной модуляции, детекторы ФМ — фазовой модуляции.

23.5. Амплитудное детектирование

Чаще других используются диодные амплитудные детекторы (рис. 23.10). На колебательном контуре LC выделяется высокочастотный сигнал АМ. С учетом фильтра нижних частот $R_H C_\Phi$ закорачивающего токи выходной частоты, полностью повторяет исходный информационный сигнал. Вольт-амперная характеристика диода на начальном участке характеристики аппроксимируется функцией вида $I = aU + bU^2$ (квадратичная зависимость), поэтому для сигналов малых амплитуд можно получить *квадратичный детектор*, напряжение на выходе которого будет представлять квадрат амплитуды входного сигнала (т.е. оценивать мощность амплитуды). При больших амплитудах сигнала характеристика диода аппроксимируется прямой линией и мы получаем линейный детектор. Главным параметром амплитудного детектора является входное сопротивление схемы, линейность преобразования и уровень остаточного высокочастотного колебания. Входное сопротивление схемы определяется в первую очередь величиной нагрузочного сопротивления и для схем последовательного детектора (см. рис. 23.10) равно

$$R_{\text{вх}} \approx 0,5R_H$$

Для схемы параллельного детектора, когда диод стоит параллельно нагрузке и контуру LC , входное сопротивление схемы равно

$$R_{\text{вх}} \approx 0,3R_H$$

Линейность преобразования зависит от уровня сигнала: чем больше амплитуда входного сигнала, тем меньше сказывается линейность начального участка вольт-амперной характеристики. Кроме того, возможно искажение выпрямленного напряжения за счет затягивания фронтов импульсов, если постоянная фильтра $t = R_H C_\Phi$ больше периода низкочастотного звукового колебания $t = R_H C_\Phi > T_{\text{з.ч}}$. Уровень остаточного высокочастотного колебания также зависит от постоянной фильтра $t = R_H C_\Phi$. Чем меньше T , тем больше ВЧ составляющих проходит на выход. Отсюда следует вывод, что постоянную времени фильтра надо выбирать из противоречивых условий:

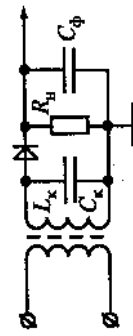


Рис. 23.10. АМ-детектор

$T_{\text{вч}} < T_\Phi < T_{\text{зч}}$. Используя нелинейность вольт-амперных характеристик, можно построить детекторы на других электронных элементах. Например, транзисторах, на которых можно одновременно получить усиление сигнала.

23.6. Демодуляция ЧМ-колебаний

Напряжение на входе частотного детектора (ЧД) должно воспроизводить исходный сигнал, представленный изменениями частоты модулированного колебания. Поэтому в частотном детекторе должна использоваться электрическая цепь, обладающая неравномерной частотной характеристикой; это могут быть фильтры, контуры и т.д. Частотный детектор должен реагировать только на изменение мгновенной частоты модулированного колебания и не зависеть от изменения амплитуды. Поэтому перед частотным детектором всегда ставят ограничитель амплитуд, чтобы снять возможность отклонений в амплитуде сигнала. Простейшая схема (рис. 23.11) состоит из двух расстроенных относительно несущей частоты контуров с двумя амплитудными детекторами.

Разность двух АЧХ-контуров создает S-образную характеристику частотного детектора. Используя среднюю линейную часть, можно получить линейную зависимость выходного напряжения от мгновенной частоты модулированного сигнала, т.е. осуществить линейное частотное детектирование.

Другая схема частотного детектора представлена схемой *фазового дискриминатора* (рис. 23.12).

Напряжения U_1 и U_2 — это напряжения на вторичной обмотке трансформаторного контура, настроенного на несущую частоту модулированного колебания ω_0 . Эти напряжения относительно средней точки одинаковы и направлены в противоположные стороны. Напряжение U_0 — напряжение, снятое через емкость связи с предыдущего контура. В случае совпадения частоты сигнала с настройкой контуров вектор U_{01}

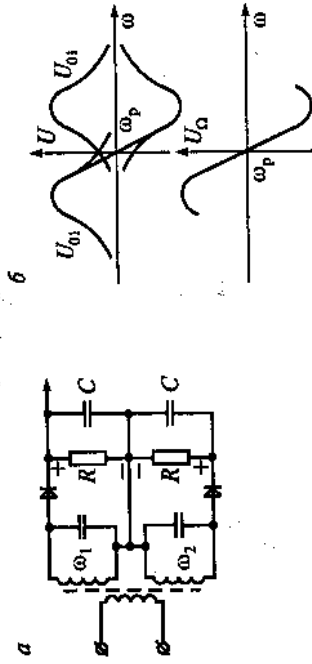


Рис. 23.11. Схема ЧМ-детектора на расстроенных контурах (а) и его детекторная характеристика (б)

занимает положение, перпендикулярное оси U_1-U_2 , и напряжения на детекторах U_{d1} и U_{d2} оказываются равными, а так как по выходу они включены встречно, то на входе схемы напряжение равно нулю: $U_{ввх} = 0$. В случае отклонения мгновенной частоты сигнала от настройки контура ω_0 вектор U_0 отклоняется влево или вправо в зависимости от отклонения мгновенной частоты (больше или меньше ω_0).

Векторы напряжений на диодах U_{d1} и U_{d2} , составленные из векторной схемы U_1, U_2 и U_0 , оказываются разные по величине, как показано на рис. 23.12. На выходе схемы оказывается разностный сигнал, пропорциональный изменению мгновенной частоты. Выходная амплитудно-частотная характеристика S-образного вида представлена на рис. 23.13. Используя среднюю линейную часть характеристики, можно получить линейную зависимость выходного напряжения от мгновенной частоты модулированного сигнала, т.е. осуществить линейное детектирование частотно-модулированного сигнала.

Широкое применение в системах железнодорожной телемеханики и связи нашел частотный демодулятор типа «дробный детектор» (рис. 23.13). Его схема отличается от предыдущей схемы согласным включением ди-

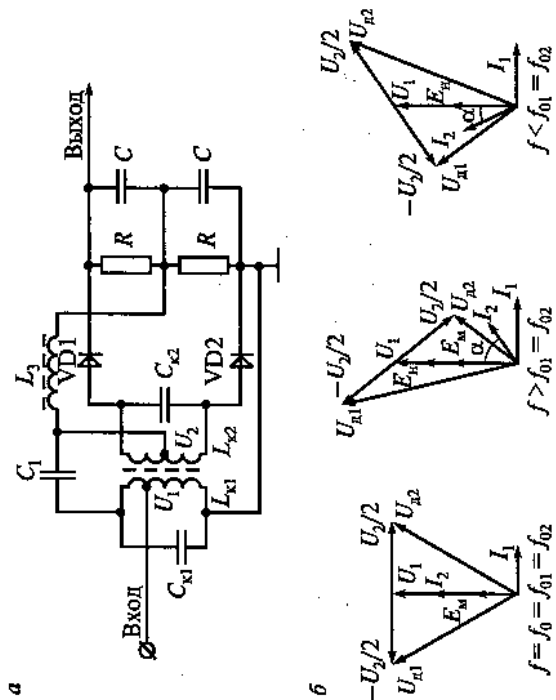


Рис. 23.12. Дискриминатор ЧМ-колебаний с фазовым детектированием (а) и векторные диаграммы его работы (б)

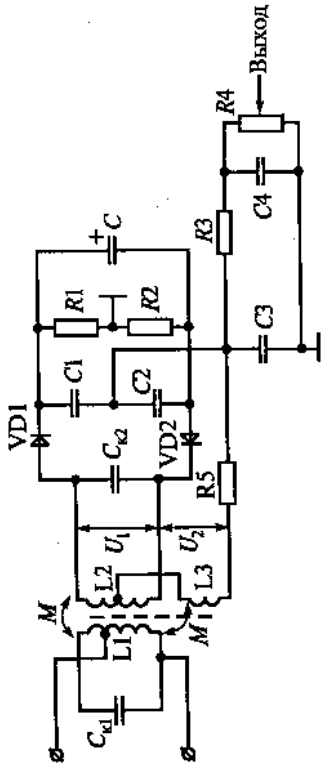


Рис. 23.13. Схема дробного детектора ЧМ-колебаний

одов, применением индуктивной (а не емкостной, как в предыдущей схеме фазового дискриминатора) передачи напряжения. Нагрузкой детектора является мост, образованный конденсаторами $C1, C2$ и сопротивлением $R1, R2$. Диоды подключены к одной диагонали моста, а съем выходного напряжения производится с другой диагонали. Напряжение на вертикальной диагонали моста всегда постоянно из-за согласного включения диодов и стабилизации конденсатором C большой емкости (чаще всего это электрический конденсатор, и чем величина емкости больше, тем лучше). Преобразование модуляции в дробном детекторе аналогично фазовому дискриминатору, поэтому описывается такими же векторными диаграммами (U_0 снимается не через $C_{св}$, а через катушку $L3$).

Если на входе детектора действует немодулированное колебание, то напряжения на диодах равны и в горизонтальной диагонали моста напряжение равно нулю вследствие равного деления напряжений в вертикальных плечах. При отклонении частоты сигнала от настройки контуров напряжение на конденсаторах $C1$ и $C2$ будет меняться, а на сопротивлениях $R1$ и $R2$ останется неизменным. Поэтому с горизонтальной диагонали моста будет сниматься напряжение пропорционально изменениям мгновенной частоты модулированного сигнала. В УПП-2 и УПП-3 системы «Транспорт» в железнодорожной радиосвязи в качестве демодулятора ЧМ-колебаний используется *частотный кварцевый детектор*, построенный с использованием частотной характеристики кварцевого резонатора. Выбирают частоту кварца так, чтобы несущая частота сигнала приходилась на середину ската частотной характеристики эквивалентного контура, образованного кварцем (несущая частота $\omega_0 = 0,5(\omega_{пар} + \omega_{посл})$, где $\omega_{пар}$ и $\omega_{посл}$ — частоты параллельного

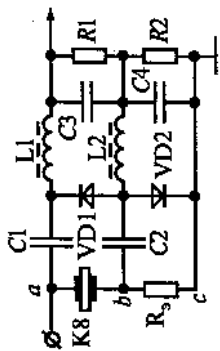


Рис. 23.14. Схема кварцевого детектора ЧМ-колебаний

и последовательного резонанса кварцевого резонатора). Изменяющееся напряжение (из-за изменения мгновенных частот сигнала) на кварце сравнивают с напряжением на эталонном сопротивлении R_3 . Поскольку в резисторах $R1$ и $R2$ токи диодов встречны, то выходное напряжение детектора

$$U_{\text{вых}} = (U_{ab} - U_{bc}) K_g,$$

где U_{ab} и U_{bc} — напряжения между точками a, b, c ; K_g — коэффициент передачи амплитудного детектора.

По сравнению с другими детекторами ЧМ-сигналов кварцевый детектор обладает наибольшей крутизной детекторной характеристики $\Delta U_{\text{вых}} = \varphi(\Delta)$, но имеет более узкую полосу частот, определяемой высокой добротностью кварцевого резонатора (рис. 23.14).

В некоторых радиотехнических системах железнодорожного транспорта используется импульсный детектор ЧМ-сигналов (например, в радиостанции РН-12Б). Сигнал второй промежуточной частоты поступает на триггер Шмитта, где происходит «клипирование» сигнала (превращение квазигармоничного сигнала в прямоугольную последовательность).

Эта прямоугольная последовательность проходит через дифференцирующую цепочку, которая выделяет фронты импульсов, дальнейшее ограничение оставляет только положительные импульсы. Затем отфильтрованные импульсы проходят накопление в интегрирующей цепи, которая воспроизводит модулирующий (информационный) сигнал.

24. РАДИОПЕРЕДАЮЩИЕ УСТРОЙСТВА

Радиопередающее устройство состоит из задающего генератора, модулятора и усилителя мощности. Задающие генераторы рассмотрены в гл. 22, модуляторы приведены в гл. 23.

Усилитель мощности обычно состоит из предусилителя и оконечных каскадов. В предусилителе, как правило, выделяется первый каскад для производства мощностных регулировок передатчика. Оконечные каскады раньше строились в двухтактном режиме на лампах или транзисторах («Пальма»), теперь применяются мощные транзисторы, позволяющие в одном каскаде реализовать 10...12 Вт мощности. Например, в УПП-1М — транзистор КА920ВаА0.336.059ГУ, в УПП-2М — микросборка М52104-2, в радиостанции РВ-1М в КВ-передатчике — транзистор КТ966АаА0.336.518ГУ, в УКВ-передатчике — КТ960Аа-Аа0339.157ГУ.

Согласующее устройство предназначено для согласования антенны с выходным каскадом. Антенна чаще всего настраивается на активную нагрузку в 50 Ом (75 Ом), выходное сопротивление каскада составляет сотни Ом, для полной отдачи мощности необходимо равенство сопротивлений источника и нагрузки. Эта проблема решается фильтровым трансформатором сопротивлений. Заодно эта система согласования сопротивлений осуществляет фильтрацию выходного напряжения, удаляя в основном старшие гармоники выходного сигнала.

Устройство управления всем радиопередатчиком решает несколько задач, одновременно осуществляя контроль за параметрами передатчика и управляя им. Простейшая операция — включение передатчика на передачу. Из-за наличия значительных переходных напряжений в мощных цепях стремятся уменьшить процессы переключения, поэтому чаще всего выключатели питания мощного усилителя производятся изменением питания маломощных предварительных каскадов, изменяя их коллекторное питание (УПП-1М, УПП-3), или удалением возбуждения, запуская первый каскад оконечного усилителя путем смещения рабочей точки (УПП-2М, ППК РВ-1М). Управление изменением мощности (снижением) производят также смещением рабочей точки первого каскада (УПП-2, КВ РВ1М), что приводит к изменению (уменьшению) на-

пряжения раскочки. Одновременно в этих цепях измеряется часть выходного напряжения и сравнивается с эталоном. В случае незначительного отклонения выходного напряжения часть обратного напряжения изменяет напряжение раскочки в обратную сторону (отрицательная обратная связь), добиваясь значения номинала, которое сравнивается со стандартным значением, заданным постоянным напряжением опорного стабилизатора. В случае уменьшения мощности передатчика влвое относительно номинального режима схема контроля уровня передатчика выдает сигнал «Авария передатчика» и отключает питание и возбуждение передатчика до устранения возможных неисправностей. Отдельная схема контролирует согласование передатчика с антенной. Эта схема основана на оценке фидерной связи источника с нагрузкой. Известно, что максимальная мощность передается фидером, оба конца которого нагружены на одинаковую нагрузку. С помощью фильтра передатчика такая нагрузка устанавливается в 50 Ом, такую же нагрузку имеет антенная система. При этом в фидере, соединяющем передатчик и антенну, устанавливается режим «бегущей волны», когда волна напряжения совпадает по фазе с волной тока. В случае несогласования конца фидера часть энергии отразится от ее конца в сторону передатчика. Суммирование падающей и отраженной волны приводит к понятию «стоячей волны» в фидере. Соотношение между током и напряжением на любом участке фидера меняется и уже не будет равно активному сопротивлению 50 Ом, а будет иметь реактивный характер: индуктивность или емкость, фаза сигналов напряжения и токов не будут совпадать, что является признаком рассогласования антенны. Если измерить фазовым детектором степень рассогласования, то можно определить коэффициент стоячей волны (КСВ). В случае $КСВ > 3$ образуется сигнал «Авария антенны», а также снимается возбуждение передатчика и запирается первый каскад.

25. РАДИОПРИЕМНЫЕ УСТРОЙСТВА

В настоящее время все радиоприемные устройства систем радиосвязи железнодорожного транспорта строятся по единой структурной схеме двойного преобразования частоты (рис. 25.1).

Двойное преобразование частоты явилось компромиссом между осуществлением избирательности по «зеркальному» каналу и избирательностью по соседнему каналу (см. рис. 23.2 и 23.3). Значение первой и второй промежуточных частот приведены в табл. 25.1.

Таблица 25.1

№ п/п	Радиостанция	Первая ПЧ, МГц	Вторая ПЧ, кГц
1	УПП-1 (КВ)	10,7	455
2	УПП-2 (МВ)	21,4	455
3	УПП-3 (ДМВ)	21,4	455
4	РС (РВ) — 460Д	21,4	455
5	«Молоток» СР-300	21,4	455
6	«Радей»	21,4	455
7	«Гранит»	21,4	455
8	РН-12Б	10,7	100

Основная фильтрация сигналов в УПЧ-1 и УПЧ-2 осуществляется с помощью кварцевых фильтров с высокой прямоугольностью, обеспечивающих избирательность по соседнему каналу в 60...80 дБ. Первый гетеродин реализуется в сингезаторе частоты, второй — в микросхеме второго преобразователя частоты с использованием кварцевой стабилизации. Технические характеристики радиоприемных устройств приведены в табл. 25.2.

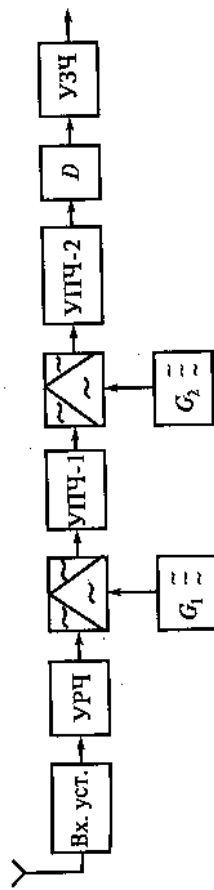


Рис. 25.1. Структурная схема радиоприемного устройства

25.1. Избирательность радиоприемных устройств

Различают несколько видов избирательности приемных устройств: пространственная осуществляется антенной; радиоприемник обладает временной, амплитудной, фазовой и частотной избирательностью. Характеристика частотной избирательности — это зависимость уровня сигнала на входе радиоприемного устройства от частоты при заданном уровне сигнала (номинальная мощность) на выходе или при заданном отношении сигнал/шум на входе. Односигнальная (снятая при воздействии одного гармоничного сигнала) частотная характеристика приведена на рис. 25.2.

Основной канал определяют полосой ($2\Delta f$) обычно по уровню в 3 дБ по отношению к максимуму (0,707), кроме того, оценивают прямоугольность фильтрации по уровню α , дБ, т.е. по коэффициенту прямоугольности $P_{\alpha} = 2\Delta f_{\alpha} / 2\Delta f_0$. Избирательность по соседнему каналу $U_{\text{вх}}(f_c) / U_{\text{вх}}(f_{c,k})$ 60...80 дБ. К побочным каналам относят: «зеркальный» канал, каналы комбинационных частот и субгармоник частоты настройки приемника, канал промежуточной частоты и др.

Побочные каналы образуются в преобразователях частоты (смесителях) из-за недостаточной избирательности предшествующих каскадов, из-за особенностей нелинейной характеристики смесителя, которая аппроксимируется степенным полиномом: $i = aU + bU^2 + cU^3 + dU^4 + \dots$. При этом образуются составляющие по частоте вида:

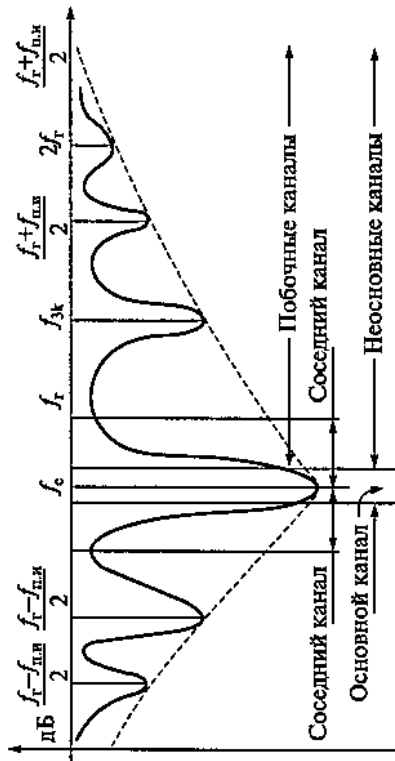


Рис. 25.2. Односигнальная частотная характеристика

№ п/п	Параметры приемных устройств	УИП-1	УИП-2	УИП-3	РС(РВ) 460Д	РН-12Б	Motorola GP-300	«Радий»	«Гранит»
1	Чувствительность приемника по СИНАД 12 дБ, 1/2 ЭДС, мкВ, не менее	5	0,5	0,5	0,8	0,5	0,32	0,5	0,16
2	Избирательность по соседнему и побочным каналам приема, дБ, не менее	60	80	80	75	70	60	70	70
3	Интермодуляционная избирательность, дБ, не менее	50	70	70	70	60	70	65	60
4	Выходная мощность приемника, Вт	3	3	3	3	0,25	0,5	0,25	0,2
5	Коэффициент нелинейных искажений, %, не более	5	4	5	5	7	5	7	7
6	Порог срабатывания подавителя, мкВ	10...12	0,5...2,5	0,5...2,0	0,8...1,5	0,5	0,4	0,5	0,3

Таблица 25.2

$$mf_{п.к} \pm f_{г} = f_{п.и.}$$

где $f_{п.к}$ — частоты побочных каналов;

$f_{г}$ — частота гетеродина;

m, n — целые числа.

$N = |m| + |n|$ называется *порядком комбинации* канала частоты побочных каналов, и тогда $f_{п.к} = (1/m)f_{п.и} - (n/n)f_{г} = f_{г}$. Если уровень помехи по соседнему каналу невелик и в приемнике не возникает нелинейных явлений, то представление об избирательности по соседнему каналу дает односигнальная характеристика частотной избирательности, приведенная выше. При этом избирательность по побочным каналам осуществляется преселектором (пунктир на рис. 25.2). При увеличении уровня помех по соседнему каналу в приемнике возникают *нелинейные искажения* полезного сигнала. В этом случае для оценки избирательных свойств приемника применяют *многосигнальные методы* измерения частотной избирательности. Нелинейные искажения могут возникнуть как при больших уровнях полезного сигнала, так и при больших уровнях помехи, приводящих к эффектам блокирования, перекрестной модуляции и интермодуляции.

Блокирование — это изменение уровня сигнала или отношение сигнал/шум на выходе приемника при действии радиопомехи, частота которой не совпадает с частотами основного и побочных каналов приема (ГОСТ 263611-79). Полоса частот блокирования — $\Delta f_{бл}$. При блокировании под воздействием помехи (но частоте, не совпадающей с основным каналом) происходит уменьшение усиления в первых каскадах (УРЧ) из-за недостаточной их защиты преселектором. Эффект блокирования тем сильнее, чем больше уровень помехи и чем ближе частота помехи к частоте основного канала. Измерение проводится двухсигнальным методом (рис. 25.3).

На рис. 25.4 приведена односигнальная частотная характеристика (L) приемника и двухсигнальная (L_2) по блокированию; видно, что полосу входного преселектора расширяется. Блокирование оценивается коэффициентом блокирования: $K_{бл} = U_{вых.бл}/U_{вых.ном}$; допустимое изменение уровня при блокировании 3...6 дБ, коэффициентом

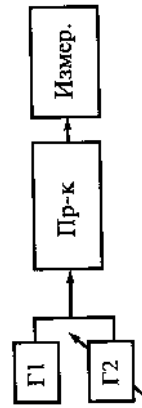


Рис. 25.3. Двухсигнальный метод: Г1 — настроен на частоту полезного сигнала; Г2 — перестраиваемый по частоте сигнала помехи

$K_{бл} = 0,3...0,5$. При измерении Г1 устанавливаются так, чтобы на выходе было номинальное напряжение, а Г2 перестраивают от частоты входной настройки при поддержании заданного уровня блокирования (например, 3 дБ). Нормы на блокирование устанавливаются ГОСТ 14663-83 (например, для декаметрового диапазона уровень блокирующей помехи при отстройке на ± 20 кГц — не менее 60...90 дБмкВ).

Перекрестные искажения — это изменение структуры спектра полезного сигнала на выходе приемника при действии сигнала и модулированной радиопомехи, частота которой не совпадает с частотами основного и побочного каналов. Перекрестные искажения являются результатами взаимодействия на нелинейностях приемника сигнала и модулированной помехи, проявляются в том, что модуляция мешающего сигнала (спектр которого лежит вне основного канала приема) переносится на полезный сигнал. Мешающий сигнал на выход приемника не проникает, но различимость полезного сигнала падает.

Измерение перекрестных искажений производят двухсигнальным методом (см. рис. 25.3), мешающий сигнал модулирован. Следует отметить, что наиболее серьезное влияние на полезный сигнал происходит при АМ-модуляции, при ЧМ уровень перекрестных искажений ниже, что имеет место в железнодорожной радиосвязи. Поэтому специально измерения перекрестных искажений не производят, ограничиваясь измерениями по блокированию.

Интермодуляции (в соответствии с ГОСТ 23611-73) — это возникновение помехи на выходе приемника при действии на его вход двух или более сигналов, частоты которых не совпадают с частотами основного и побочных каналов приема. Интермодуляция является результатом взаимодействия на нелинейностях приемника нескольких сигналов. При этом возникают новые сигналы с частотами

$$f_{инт} = \alpha_1 f_1 \pm \alpha_2 f_2 \pm \dots \pm \alpha_n f_n$$

где $f_1...f_n$ — частоты взаимодействующих сигналов; $\alpha_1... \alpha_n$ — целые числа.

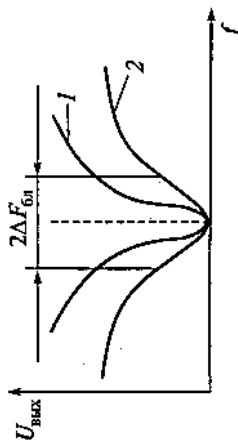


Рис. 25.4. Характеристика блокирования:

1 — односигнальная характеристика;

2 — двухсигнальная характеристика

Если частота интермодуляционного сигнала попадает в полосу пропускания приемника, то такой сигнал проходит на выход и создает помеху приему полезного сигнала. Число $N = |\alpha_1| + \dots + |\alpha_n|$ называется порядком интермодуляционного сигнала. Интермодуляция измеряется трехзначным методом (аналогично рис. 25.3); коэффициент интермодуляции определяется как отношение уровня помехи на выходе приемника, возникающей в результате интермодуляции, к номинальному сигналу на выходе, когда на вход приемника подан сигнал, равный его чувствительности: $K_{\text{И}} = U_{\text{вых.инт}} / U_{\text{вых.ном}}$ (при измерении все сигналы на входе одинакового уровня).

25.2. Вспомогательные устройства радиоприемников

Основная помеха для радиотехнических устройств железнодорожного транспорта — импульсная помеха промышленно-технологического происхождения. Поэтому главные средства помехоустойчивости РЭС направлены на борьбу с импульсными помехами. Во всех стационарных и подвижных радиостанциях применяют устройство прерывания импульсных помех (ПИП). Функциональная схема ПИП представлена на рис. 25.5.

Сигнал для управления ПИП снимается с выхода первого смесителя и через усилитель поступает на схему амплитудного детектора, выделяющего огибающую импульсной помехи. После формирования прямоугольного управляющего импульса с помощью триггера T они поступают на ключевую схему SW, которая в УПП-1 собрана на транзисторных ключах, в УПП-2 диодная схема параллельна контуру в полосовом фильтре УПЧ-1.

Кратковременное прерывание сигнала (в том числе и полезного) в широкополосном тракте УПЧ-1 не вызывает прерывания отгибающей напряжения в более узкополосном УПЧ-2 из-за его инерционности.

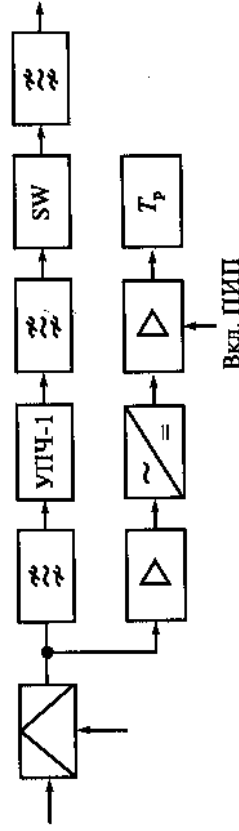


Рис. 25.5. Схема ПИП

Поэтому этот метод повышения помехоустойчивости обладает высокой эффективностью, дает реальный выигрыш в отношении сигнал/помеха до 30...35 дБ. Применение ПИП тем эффективнее, чем короче импульсная помеха и шире полоса пропускания той части УПЧ-1, откуда снимается сигнал для схемы ПИП.

Во всех радиостанциях, работающих в симплексном режиме, применяется устройство подавления шума — ПШ. Оно предназначено для закрытия тракта звуковой частоты при отсутствии полезного сигнала и тем самым избавляет пользователя от прослушивания шумов в режиме дежурного приема и в паузах между переговорами. Функциональная схема ПШ приведена на рис. 25.6.

Для работы ПШ крайне важно выделить полезный сигнал на фоне помех. При отсутствии сигнала или помех на выходе АМ детектора отсутствует выходное напряжение и ПШ не выключает УЗЧ. При наличии полезного сигнала ЧМ на входе АМ детектора присутствует сигнал с постоянной (и длительной) амплитудой, на выходе АМ детектора постоянная составляющая переключает триггер Шмитта, его выходной каскад выключается. Емкость интегрирующей цепи начинает заряжаться с постоянной времени $t_{\text{зар}} = RC$, и при достижении порога, определяемого стабилизатором, в схеме переключается одностабильный триггер, выполняющий роль ключа питания УЗЧ. Емкость интегратора имеет относительно малую постоянную разряда $t_{\text{разр}} \ll t_{\text{зар}}$, поэтому в случае, если на входе ПИ присутствует не длительное постоянное напряжение ЧМ-сигнала, а кратковременные импульсные помехи, то эта емкость успевает разрядиться между импульсами помехи, не достигая порогового значения, и, как следствие, не включает питания УЗЧ. Порог срабатывания ПШ регулируется в зависимости от уровня шумовой помехи в конкретной обстановке работы радиостанции.

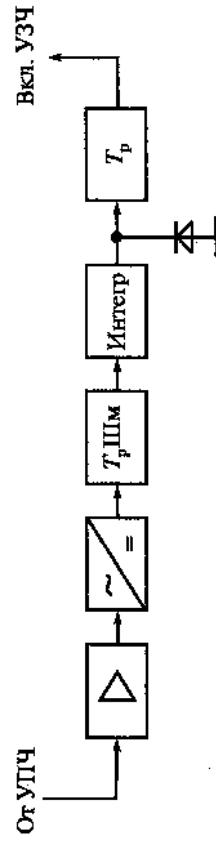


Рис. 25.6. Система подавления шума

26. АНТЕННЫ И СОГЛАСУЮЩИЕ УСТРОЙСТВА

26.1. Антенны гектометрового диапазона

Диапазон частот — 2,130 МГц (для связи машиниста с поездным диспетчером) и 2,150 МГц (для связи машиниста с дежурными по делу). Длина волны $l \approx 140$ м. Волны этого диапазона распространяются в основном вдоль земной поверхности, обладают дифракционной способностью, и поэтому связь может поддерживаться вне прямой видимости между радиостанциями. К сожалению, быстрое затухание приземной радиоволны антенны, значительный уровень помех электрифицированного транспорта приводят к малой дальности связи, не обеспечивающей даже половины перегона. Поэтому приходится применять вспомогательные средства для увеличения дальности, в частности передачу высокочастотных сигналов по проводным направляющим линиям, идущим вдоль железнодорожного пути. В этом случае связь с локомотивами осуществляется не электромагнитными волнами излучения, а электрическими полями индукции, распространяющимися по направляющим линиям с меньшим затуханием, чем при излучении в эфире. В результате возрастает дальность радиосвязи. Следует отметить, что так как направляющие линии идут вдоль пути, повторяя все изгибы, то и электромагнитная наведенная энергия распространяется вдоль «волновода», повторяя все изгибы пути, обеспечивая надежную связь вне пределов видимости или прямого пути распространения. В качестве направляющих линий используются навешенный провод или провода других служб. На участках автономной тяги можно в качестве направляющего «волновода» использовать провода воздушной линии связи или воздушные линии автоматики. На электрифицированных участках железных дорог можно использовать провода продольного электроснабжения нетяговых потребителей, находящихся на опорах контактной сети (в частности, системы ДПР «два провода — рельс» напряжением 27 кВ или трехфазной симметричной высоковольтной линии в 10 кВ). Возбуждается волноводная система индуктивным способом при параллельном размещении ант-

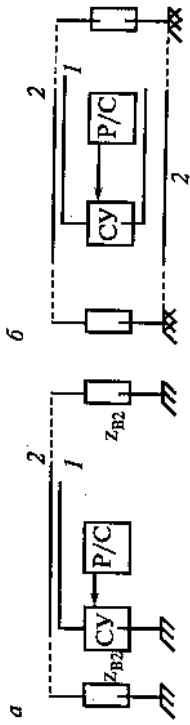
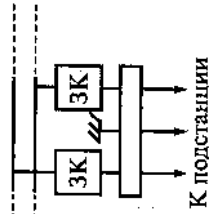


Рис. 26.1. АСУ — антенно-согласующее устройство:
1 — антенны; 2 — проводные направляющие системы

тенны стационарной станции и направляющей линии на небольшом расстоянии (порядка $0,5 + 1$ м). Возбуждение возможно однопроводной (рис. 26.1, а) и двухпроводной направляющей системы (рис. 26.1, б).

При индуктивном возбуждении отсутствует гальваническая связь, что удобно особенно при использовании в качестве направляющих высоковольтных линий электропередачи (ЛЭП). Длина l антенны определяется длиной волны ($l \approx 140$ м), $l = 1/4 = 35$ м. Расстояние между проводами 1 и 2 выбирают порядка 0,5...1 м. Направляющая линия в виде специального «волноводного» провода разбивается на секции (особенно при электрической тяге на переменном токе) для снижения наведенной ЭДС от контактной сети. В среднем волноводная секция имеет длину 1000...2500 м (при наведенном напряжении на концах в 250 В). Длина секции зависит от тягового тока в контактной сети, характера проводимости почвы, одно- или двухпутного пути, волнового сопротивления между «волноводной» и контурной сетью, расположения тяговой подстанции и высокочастотной обработки тяговой сети и электрической системы электровоза. Для тяги на постоянном токе и автономной тяги требования к направляющей системе упрощаются. Применение высоковольтных линий ДПР и ВЛ в качестве направляющих линий требует дополнительной высокочастотной (ВЧ) обработки ввиду низкого сопротивления на радиочастоте силовых трансформаторов питающих подстанций, различных нагрузочных приборов, а также возможного прерывания на разъединителях (рис. 26.2, рис. 26.4).

Для защиты от ВЧ-закорачивания служат защитные фильтры ЗК-4 и СК-6 (запирающая контура) (ЗК-4 пропускает рабочий ток до 25 А, СК-6 — до 100 А). Схема СК-6 — на рис. 26.3.



К подстанции

Рис. 26.2. Заграждение от замыкания с применением фильтров ЗК

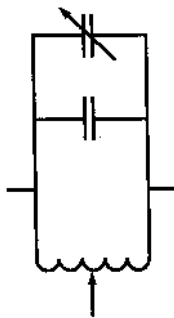


Рис. 26.3. Схема фильтра СК-6

Кроме защиты от высокочастотного КЗ тяговых подстанций необходимо предусмотреть высокочастотный обход электрических разъединителей (высокочастотные перемычки).

Кроме линейной поездной радиосвязи с использованием направляющих линий гектометровый диапазон частот используется и для организации зонной радиосвязи на станциях, крупных углах, на промежуточных пунктах перегонов.

В качестве стационарных антенн применяют Г- или Т-образные антенны, использующие поля излучения электромагнитных волн. Основные параметры: КПД — η_a и коэффициент направленности D . Амплитуда напряженности поля E_a , мВ/м, в точке приема [1]:

$$E_a = \frac{10,9 \sqrt{P \eta_a D}}{r} W,$$

где P_a — мощность, подводимая к антенне (Вт);
 r — расстояние антенны до точки приема (км);
 W — коэффициент (множитель) ослабления, зависящий от расстояния r , параметров почвы и длины волны.

Для Г- и Т-образных антенн $D = 1,5$;

$$\eta_a = \frac{R_{\Sigma(в)}}{R_{\Pi} + R_{\Sigma(в)}},$$

где $R_{\Sigma(в)}$ — сопротивление излучения вертикальной части (снижение) антенны;
 R_{Π} — суммарное сопротивление потерь в антенне:

$$R_{\Pi} = R_3 + R_{вх} + R_{\Sigma(г)},$$

где R_3 — сопротивление заземления;
 $R_{вх}$ — активная составляющая входного сопротивления антенны;
 $R_{\Sigma(г)}$ — сопротивление излучения горизонтальной части.

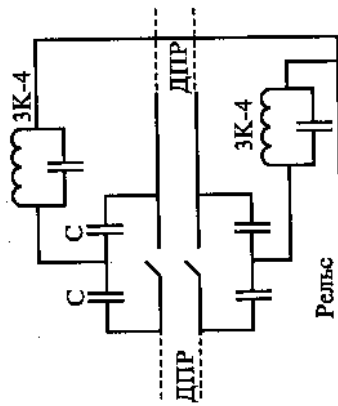


Рис. 26.4. Обход разъединителей

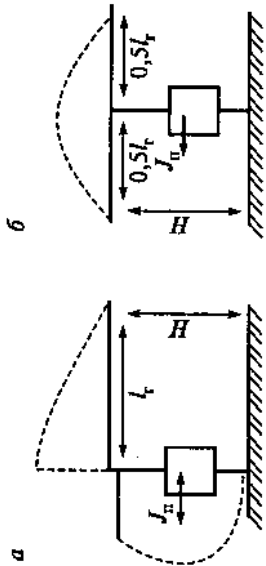


Рис. 26.5. Горизонтальные стационарные антенны: а — Г-образная; б — симметричная Т-образная

Максимальная эффективность антенны η_a (КПД) определяется вертикальной составляющей электромагнитного поля, обусловленной излучением вертикальным снижением при максимальной пучности тока в середине снижения (рис. 26.5). Это определяет условия (для Г-образной антенны):

$$l_a = 0,25\lambda + 0,5H;$$

$$l_r = 0,25\lambda + 0,5H,$$

где $l_a = H + l_r$ — полная длина вертикальной l_a и горизонтальной l_r частей антенны;
 λ — длина волны.

При соблюдении вышеприведенных условий сопротивления излучения

$$R_{\Sigma(в)} \leq 1600 \left[\frac{\sin(\pi H / \lambda)}{\pi \sin \beta l_a} \right]^2;$$

$$R_{\Sigma(г)} \approx 5,5(\beta l_r).$$

На рис. 26.6 приведены зависимости КПД — η % от высоты H [1]. Чем выше подвеска антенны, тем выше КПД (менее 15 м — бессмысленно мало КПД).

Локомотивные антенны гектометрового диапазона обычно представляют горизонтальные заземленные антенны, устанавливаемые на крыше локомотива на высоте 0,6...1 м (рис. 26.7).

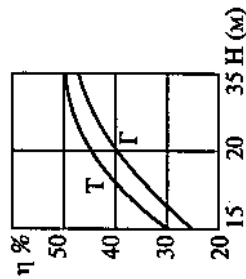


Рис. 26.6. Зависимость КПД (η %) от высоты H : Т-образная антенна; Г-образная антенна

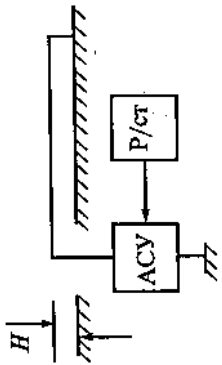


Рис. 26.7. Горизонтальные заземленные антенны

Габариты локомотива определяют размеры антенны — длина 7,5...12 м. Один конец обычно заземлен на корпус, при этом антенна воспринимает в основном поле индукции, т.е. магнитную составляющую излучения «волновода». Заземление антенны, кроме того, повышает электробезопасность персонала. Второй конец антенны — снижения — через проходной изолятор подключается к антенно-согласующему устройству (АСУ) радиостанции. Так как размеры антенны малы (по сравнению с λ — длиной r /волны), эффективность их мала, КПД (η) для электропроводов $\sim 0,04$ (при $H = 0,8$) и для тепловозов $\sim 0,023$ (при $H = 0,6$ м) [1].

Входное сопротивление заземленной антенны носит индуктивный характер и определяется:

$$X_3 = jZ_B \operatorname{tg} \beta l_a$$

где Z_B — волновое сопротивление горизонтального провода антенны; $\beta = 2\pi/\lambda$ — фазовая постоянная;

Иногда горизонтальная антенна не закорачивается на корпусе, тогда ее сопротивление емкостное:

$$X_{св} = -j \frac{Z_B}{\operatorname{tg} \beta l_a}$$

Учитывая, что $l_a \ll \lambda$, $\operatorname{tg} \beta l_a = \beta l_a$, тогда

$$X_3 = jZ_B \beta l_a; X_3 = -jZ_B / (\beta l_a).$$

Активная составляющая входного сопротивления включает в себя сопротивление излучения и сопротивление потерь. Потери обычно происходят в проводах и изоляторах. Поэтому типовая закороченная антенна имеет параметры: активная составляющая 2,5...4 Ом, индуктивность 15...19 мкГн, добротность $Q = 55...80$; для свободной Γ -образной антенны емкость 90...140 пФ и добротность $Q = 300...400$.

Эффективность локомотивных антенн по индуктивной передаче (от направляющего провода — «волновода») можно оценить по выражению [1]

$$P_{нл}/P = KZ_{нл} \operatorname{tg} \beta l,$$

где $P_{нл}$ — мощность, передаваемая в направляющую линию;

$Z_{нл}$ — волновое сопротивление направляющей линии;

P — мощность передатчика радиостанции;

K — коэффициент, зависящий от добротности антенны и элементов настройки;

$$K = \frac{Q_a Q_x}{Q_a + Q_c},$$

где Q_a — добротность антенны;

Q_x — добротность элементов настройки, компенсирующих реактивные составляющие входных сопротивлений антенны.

Согласование сводится к созданию выходного параллельного контура, настроенного на частоту сигнала и имеющего поэтому чисто активное сопротивление. Для индуктивной короткозамкнутой антенны согласование производится конденсатором, для свободной антенны — индуктивностью.

26.2. Антенны радиостанций ЖРУ

(Основной рабочий диапазон — 150...155 МГц)

В качестве антенны используется вертикальный четвертьволновой петлевой вибратор (рис. 26.8).

Применяется для стационарных и локомотивных антенн.

Вибратор представляет собой полосу длиной 0,5 λ , согнутую пополам до размера 0,25 λ .

Конечные полусы закорочены на диск, на котором установлены шесть радиальных противовесов, каждый длиной 1/4. При установке на крыше локомотива электромагнитное поле складывается из излученной энергии и вторичного наведенного поля из-за токов, наведенных в обшивке локомотива, что приводит к изменению диаграммы направленности.

Минимальная высота установки антенны над поверхностью должна быть не менее 200 мм. В этом случае обеспечивается нормальное

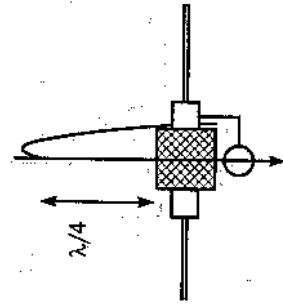


Рис. 26.8. Вертикальный четвертьволновой петлевой вибратор

Тип антенны	Краткая характеристика	Диаграмма направленности	Усиление	Масса, кг, 150 МГц	Масса, кг, 330 МГц
АС-1	Полувольновой вибратор	Круговая	0	2,0	1,45
АС-2	Антенна АС-1 с отражателем в виде плоской решетки	Кардиоидная	3	14,6	13,5
АС-3	Угловой отражатель из двух плоских решеток и АС-1 в плоскости биссектрисы угла	Однонаправленная на 45° (по уровню 3 дБ)	9	20,5	14,5
АС-4	Две антенны АС-3 с возможностью поворота относительно друг друга на угол от 90 до 180°	Двухнаправленная с изменением угла между лепестками	6	33	24
АС-5	Коллинеарная, состоящая из двух волновых вибраторов, расположенных друг над другом	Круговая	5	30	14
АС-6	Две антенны АС-1, расположенные на расстоянии $\lambda/2$ и питаемые синфазно	В виде «восьмерки», угол между максимумами излучения 180°	5	6	—

После установки направленных антенн на мачту необходимо выполнить их юстировку, которая заключается в совмещении направления максимального излучения с требуемым направлением связи. Она осуществляется поворотом антенны в горизонтальной плоскости по максимальному принимаемому настраиваемой антенной сигналу от носимой радиостанции, установленной в необходимой точке перегона (используется принцип обратимости антенны, когда вместо излучения используется прием сигнала). Сигнал, принимаемый антенной, измеряется селективным вольтметром или милливольтметром на контакте «Сигнал ПЧ» собственной стационарной радиостанции.

Локомотивные антенны системы «Транспорт» имеют меньшую номенклатуру, круговую диаграмму направленности, так как установлены на подвижном составе, меняющем свое положение относительно стационарной станции. В настоящее время используются антенны АЛ/2 и АЛ/3, АПП/2,3, АМ/2, АМ/3.

согласование антенны с коаксиальным кабелем с волновым сопротивлением в 75 Ом, КСВ не превышает 2,0.

Диаграмма направленности антенны в вертикальной плоскости имеет максимум излучения в направлении под углом 20...30° относительно плоскости земли. В горизонтальной плоскости диаграмма равномерная, круговая, коэффициент усиления антенны $G = 1,64$.

26.3. Антенны системы «Транспорт»

В системе «Транспорт» разработана широкая гамма антенн, позволяющая оптимально решить проблему эффективного излучения во всех практических случаях. Антенны имеют обозначение: АС — антенны стационарные, АЛ — антенны локомотивные, после этого индекса стоит цифра, определяющая тип антенны, и затем через дробь номер диапазона частоты: 2 — диапазон 150 МГц, 3 — диапазон 330 МГц, 4 — диапазон 460 МГц.

Все антенны имеют грозозащитную конструкцию, т.е. все металлические гальванические части связаны с основным (фланцевым) креплением антенны.

Простейшая антенна АС-1 (рис. 26.9) состоит из внутренней опорной трубы 1, на которую надеты два металлических стакана 2. Стаканы разделены изолирующими прокладками 3 и 5; нижний и верхний стаканы совместно с несущей трубой представляют собой четвертьволновые отрезки с большим входным сопротивлением. Питание антенны осуществляется по коаксиальному кабелю 4, центральная жила которого припаяна к основанию верхнего стакана, а внешняя — к вершине нижнего стакана. Антенна установлена на основании 6.

Антенны АС-1/2, АС-5/2, АС-6/2, АС-1/3, АС-5/3 (табл. 26.1) должны устанавливаться выше мачт для исключения влияния мачт на диаграмму направленности. Остальные антенны не требуют этих условий, так как имеют собственные рефлекторы, которые устраняют влияние мачты [9].

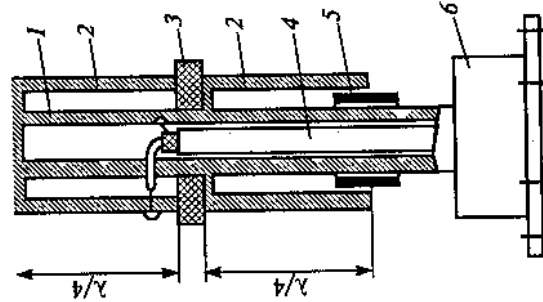


Рис. 26.9. Антенна АС-1

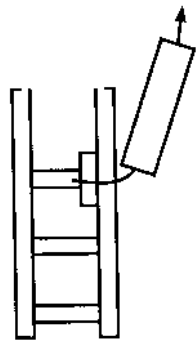


Рис. 26.10. Антенна АЛ/2

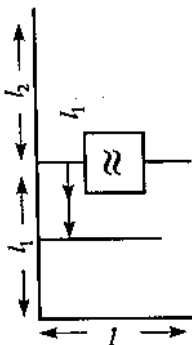


Рис. 26.11. Эквивалентная схема антенны АЛ/2

ношение, можно получить входное сопротивление фидера. Антенна АЛ/2 имеет круговую диаграмму направленности с коэффициентом усиления $D = 0,5 \dots 0,8$, действующая высота примерно равна четвертьволновому вибратору.

По конструкции АЛ/2 представляет упорядоченную пластину, установленную на трех стойках, две (левые на рис. 26.10) связаны гальванически с излучающей пластиной и основанием, третья — изолирована от основания, к ней подводится центральная жила коаксиального кабеля, оплетка кабеля соединена с основанием. Похожую конструкцию имеет антенна АЛ/3 для диапазона 330 МГц (307; 344) МГц. Излучающая пластина размером 135×55 мм установлена на двух стойках на расстоянии 90 мм между стойками. Электрические параметры АЛ/3 подобны параметрам АЛ/2.

При наличии высотного запаса на крыше локомотива устанавливаются антенны АЛП/2,3 — дисконусную (рис. 26.12).

Конструктивно антенна АЛП/2,3 состоит из несущей трубы 2, на которой закреплены излучающие стаканы 3 таким образом, чтобы представлять два отрезка по $1/4$ на частоте 330 МГц и один отрезок $1/4$ на частоте 160 МГц. Сверху на изоляторе 4 закреплен отражающий диск 5 для формирования диаграммы направленности в горизонтальной плос-

кости, по периметру закреплены восемь прутьев 1 для создания противовеса. Благодаря использованию четвертьволновых отрезков все элементы системы гальванически связаны с основанием и поэтому грозозащищены. Электрические параметры близки к характеристикам полуволнового вибратора. Входное сопротивление антенны согласованно с коаксиальным кабелем b сопротивлением 50 Ом.

На автомобилях устанавливаются антенны АМ/2 и АМ/3, представляющие собой несимметричные четвертьволновые штыри. Противовесом может служить металлический корпус. Связь антенны индуктивная (для гальванической связи).

Для переносной радиостанции РВ-6 применяется антенна АП, которая состоит из антенны АМ/2 с тремя прутьями — противовесами. Закрепляется на складной мачте.

26.4. Антенно-согласующие устройства АСУ

В гектометровом диапазоне частот ($\lambda \approx 140$ м) геометрические размеры локомотивной антенны намного меньше длины волны и могут иметь разные размеры, а следовательно, разные волновые сопротивления. Стационарные антенны имеют другие особенности, связанные с разными видами направляющих линий, а также ввиду достаточно большого расстояния между излучающей системой и радиостанцией требуют дополнительного согласования передающего фидера с выходным каскадом радиостанции, с одной стороны, и с излучающей антенной — с другой.

В состав радиостанций гектометрового диапазона обязательно входит блок АСУ — антенно-согласующее устройство.

Если со стороны радиостанции фидер достаточно просто согласуется (необходимо выбрать коаксиальный кабель нужного волнового сопротивления), то со стороны излучающего элемента необходимо пользоваться АСУ. Это особенно важно, имея в виду комплексный характер сопротивления антенны; необходимо скомпенсировать реактивную составляющую и обеспечить равенство активных нагрузок антенны и генератора.

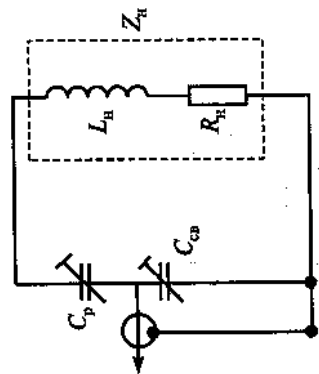


Рис. 26.13. Антенно-согласующее устройство (АСУ)

тены. Из этого условия выбирается конденсатор $C_{св}$.

$$C_{св} = \frac{\sqrt{R_n(Z_{\phi} - R_n)}}{\omega_0 Z_{\phi} R_n},$$

где Z_{ϕ} — полное сопротивление фидера.

$$C_p = \frac{1}{\omega_0 [\omega_0 L_n - \sqrt{R_n(Z_{\phi} - R_n)}]}$$

Индуктивное сопротивление антенны компенсируется конденсаторами C_p и $C_{св}$, такое согласование возможно только при соотношении

$$R_n \leq Z_{\phi} \leq R_n + \omega_0^2 L_n^2 R_n^{-1}.$$

Для согласования нагрузок, имеющих емкостный характер, используются схемы рис. 26.14.

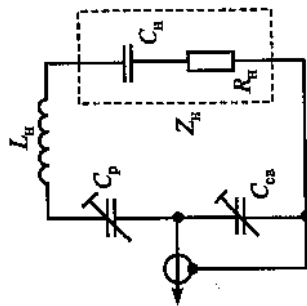


Рис. 26.14. АСУ с антенной емкостного характера

В АСУ гектометрового диапазона применяются реактивные сопротивления (конденсаторы и катушки индуктивности, колебательные контуры и трансформаторы).

Локомотивные антенны имеют в основном индуктивный характер, и их согласуют по схеме рис. 26.13, конденсаторы C_p и $C_{св}$ совместно с Z_n образуют параллельный резонансный контур, настроенный на частоту излучения.

Делитель из конденсаторов C_p и $C_{св}$ согласует входное сопротивление антенны.

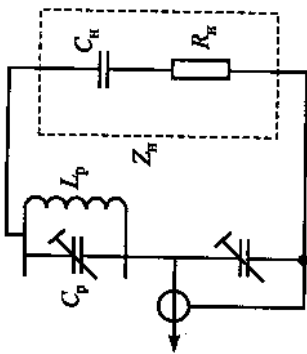


Рис. 26.15. АСУ с антенной индуктивного характера

Если $R_n > Z_{\phi}$, то нужно применить схему рис. 26.16, где фидер подключается к части нагрузки. Изменяя C_n , вводят контур-резонанс и согласуются чисто активные сопротивления. С помощью автотрансформаторной схемы можно согласовать сопротивление в широких пределах при любых отношениях $Z_n > Z_{\phi}$.

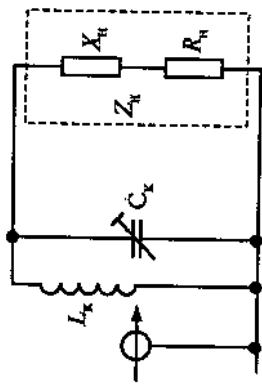


Рис. 26.16. АСУ с неполным включением

27. РАДИОСТАНЦИИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ РАДИОСВЯЗИ

Впервые на железнодорожном транспорте радиосвязь была применена на станциях «Инская», «Ленинград» — «Сортировочная» — «Московский», «Лосиноостровская», «Люблино» в 1937—1938 гг. [8]. Великая Отечественная война задержала работы по внедрению радиосвязи. После войны в 1951 году была разработана и внедрена первая железнодорожная радиостанция ЖР-1. Радиостанции этого типа гектометрового диапазона (2 МГц) относятся к первому поколению систем радиосвязи на железнодорожном транспорте. С середины 1950-х годов была освоена радиостанция ЖР-3, а с 1965 года (после модернизации) радиостанция ЖР-3М совместно со станционными ЖР-5М представляют второе поколение радиосредств железнодорожного транспорта. В начале 1970-х годов был разработан комплекс железнодорожных унифицированных радиостанций — ЖРУ. Началось освоение метрового и дециметрового диапазона радиоволн. Были созданы радиостанции ЖР-У-СС, ЖР-У-ЛС, ЖР-УК-СП, ЖР-УК-ЛП. Радиостанции этого типа принято относить к радиосистемам третьего поколения. С конца 1980-х годов на железную дорогу стали поступать радиосредства четвертого поколения — радиосредства системы «Транспорт», которая включает в себя поездную, стационарную, ремонтно-оперативную радиосвязь и работает в диапазоне гектометровых, метровых и дециметровых радиоволн в симплексном и дуплексном режиме, с групповым и индивидуальным вызовом. Разница между соседними каналами составляет 25 кГц, что позволило существенно увеличить число каналов метрового диапазона (132 канала) и шесть частотных групп в диапазоне дециметровых волн [8].

Кроме радиосвязи, применяемой для непосредственного управления перевозочным процессом на железнодорожном транспорте, на магистральных направлениях используется коротковолновая радиосвязь. Значительная дальность коротковолновых систем радиосвязи (декаметровый диапазон) обусловлена спецификой распространения радиоволн этого диапазона — зеркальным отражением от ионосферы, окружающей Землю, с возвратом радиолуча на Землю. Ионосфера — часть ат-

мосферы, ионизированная под воздействием солнечной и космической радиации. При этом нейтральные атомы разделяются на свободные электроны и ионы, которые входят в состав квазинейтральной токопроводящей плазмы на высотах от 60 до 600 км (наиболее активные слои находятся на высоте 90...110 км).

Радиостанции магистральной коротковолновой связи можно использовать для радиотелефонной связи, факсимильной и телеграфной связи. Они позволяют производить стыковку с АТС и могут работать в локальных сетях. Коротковолновые каналы связи — самый дешевый и экономичный вид магистральной и аварийной связи на большие расстояния. В настоящее время ЦСС МПС испытывает коротковолновые комплексы технических средств типа «Квазар» (г. Воронеж) и «ПИРС» (г. Санкт-Петербург). По результатам испытаний эти комплексы могут быть рекомендованы к использованию на железнодорожном транспорте. Эти радиостанции обеспечивают доставку информации с такой же вероятностью ошибки, как проводная, волоконно-оптические или спутниковые каналы связи, но уступают им в скорости передачи. Поэтому их целесообразно использовать в системах дальней связи для доставки информации в несколько десятков мегабит в секунду и для резервирования наиболее важных низкоскоростных каналов в режиме передачи данных.

27.1. Радиостанции ЖРУ

Комплекс унифицированных радиостанций ЖРУ включает в себя четыре модификации радиостанций. Это радиостанции станционной (станционные и локомотивные) и поездной (локомотивные и стационарные) радиосвязи.

Радиостанции станционной радиосвязи — стационарные ЖР-У-СС (71PТС-A2-4M — 38PТС A2-4M) и локомотивные ЖР-У-ЛС (72PТС-A2-4M — 39PТС-A2-4M) — построены полностью на полупроводниковых приборах с использованием приемопередатчика 66PТМ-A2-4M «Пальма». В обозначении радиостанции две первые буквы обозначают железнодорожную радиостанцию; одна или две следующие буквы — диапазоны работы радиостанций (У — ультракоротковолновые, точнее, метровые; К — коротковолновые, точнее, гектометровые); предпоследняя буква — место установки радиостанции: С — стационарная, Л — локомотивная; последняя буква — назначение радиостанции: зонной (С) — для станционной радиосвязи.

Таблица 27.1

Обозначение, ГОСТ	Обозначение ведомственное	Конструктивное исполнение	Число путей	Полоса рабочих частот, МГц	Число рабочих частот	Напряжение источника питания	Потребляемая мощность		Выходная мощность, Вт	Максимальная девиация, кГц	Индекс модуляции	Ширина полосы излучения, кГц	Чувствительность, мкВ	Двуэлитная избирательность	Половина помех на уровне 0,5 кГц	Ослабление ложных каналов приема, дБ	Коэффициент нелинейных искажений, %
							Декорная	передача									
71РТС-А2-4М	ЖР-У-СС	Стационарная	1(2)	150...156	3	220/ 127	60(120)	100(180)	8(4)	10	5	27	1(1,4)	70дБ	14	75	10
							50(60)	120(160)									
42РТМ-А2-4М	ЖР-У-ЛС	Локомотивная	1(2)	150...156	3	50/ 75	50	120	8(4)	10	5	27	1(1,4)	70	14	75	10
							50	120									
43РТС-А2-4М	ЖР-УК-ЛП	Локомотивная	1(2)	150...156	2	220/ 127	50	100	8(4)	10	5	27	1(1,4)	70	14	75	10
							50	100									
23РТИ-2-4М	ЖР-УК-СП	Стационарная	1(2)	140...174	2	220/ 127	50	100	8(4)	3	1,5	12	50(70)	50	4	60	10
							0,03А	100									
70РТИ-2-4М	«Сирена»	«Днепр»	1	140...174	1	7,5	0,03А	0,6А	1,0	10	5	27	1,5	60	14	70	15
							0,03А	0,6А									

Радиостанции станции радиосвязи работают в метровом диапазоне радиоволн (150...156 МГц) с разном соседних каналов на 50 кГц, выпускаются для работы в одном, двух или трех каналах связи.

Радиостанции *поездной радиосвязи* — локомотивные ЖР-У-ЛП (42РТМ-А2-4М) и стационарные ЖР-У-СП (43РТС-А2-4М) — работают в двух диапазонах: текстометровом (2,150 МГц; 2,130 МГц) для линейной поездной радиосвязи и в метровом (150...156 МГц) для зонной поездной радиосвязи. Состав радиостанций состоит из двух полуккомплектов (метрового и текстометрового), которые различаются только приемопередатчиками и антенно-фидерными устройствами.

Носимые радиостанции системы ЖРУ содержат три типа радиостанций: «Сирена» (23РТИ-2-4М), «Гольган» (22РТИ-2-4М), «Днепр» (70-РТИ-2-4М). В табл. 27.1 приведены технико-эксплуатационные характеристики радиостанций комплекса ЖРУ.

27.2. Радиостанции системы «Транспорт»

Комплекс «Транспорт» включает несколько типов радиостанций: Стационарные радиостанции:

- РС-1 (11Р13С-2) — с модификациями РС-1,2; РС-1,3; РС-1,4;
- РС-2 (11Р22С-2) — модификация с приемником ПРМ-Ф/2;
- РС-3 (11Р22С-3) — модификация без приемника ПРМ-С/2;
- РС-4 (11Р22С-4) — модификация для метрового диапазона;
- РС-6 (11Р22С-6) — с модификациями РС-6.1; РС-6.2; РС-6.3;
- РС-46 — с модификациями Р22С-46.1; Р22С-46.2; Р20-46.3;
- РС-46МЦ;
- РС-23 (Р22С-23) — с модификациями 23, 24, ..., 30;
- РК-1С — для зонной радиосвязи без линейного канала;
- 460РС-Д — дуплексная радиостанция дециметрового диапазона.

В настоящее время на железных дорогах России нашли широкое распространение: для поездной радиосвязи — радиостанции РС-6, РС-46М, РС-46МЦ, для стационарной радиосвязи — радиостанции РС-23 и «Лен-160Б-3».

Возимые радиостанции:

- РВ-1 (11РВ-1) — с модификациями РВ-1.1; РВ-1.2; РВ-1.3;
- РВ-1.1.М (55Р22-1.1.М);
- РВ-1М2;
- РВ-2 (11Р22В-2) — с модификациями РВ-3; РВ-5; РВ-6;
- 460-РВ-Д.

В настоящее время наиболее распространены радиостанции РВ-1.1.М, РВ-1.1.

Носимые радиостанции:

- РН-12Б (11РЗ2Н);
- «Ради-М 1РЗ3Н-2»; «Ради 301»; «Ради 301Д»;
- «Гранит»;
- «Motorola-GR140».

Радиостанции РН-12Б вырабатывают свой ресурс и подлежат списанию. Далее остановимся на характеристиках наиболее распространенных радиостанций.

27.2.1. Радиостанция РС-46М

Радиостанция РС-46М (Владимирский завод «Электроприбор», разработка Владимирского КБ радиосвязи) представляет собой законченную конструкцию с двумя выносными пультами. Радиостанция предназначена для работы в системе линейной и зонной поездной радиосвязи, управляется по двух- или четырехпроводной линии связи со стороны распределительной станции СР-234М. Имеет сменный приемопередатчик — УПП-1 (2, 150 МГц) или УПП-2 (150...155 МГц). В системе линейной поездной радиосвязи, построенной с применением радиостанций РС-46М, участвуют до 50 радиостанций, размещенных вдоль железнодорожного полотна. Управление радиостанцией (включение, выключение, ведение переговоров) осуществляется поездной диспетчер по линии диспетчерской связи (ЛДС). В случае занятости этой линии на разговор с машинистом может выходить диспетчер по станции с пульта управления стационарного (ПУС), отнесенного от радиостанции до 15 км. Структурная схема радиостанции приведена на рис. 27.1. Основные параметры радиостанции определяются примененными УПП (1 или 2) и приведены в табл. 27.2.

Таблица 27.2

Параметры	УПП-1МВ	УПП-2МВ
Рабочая частота, МГц	2,130; 2,150	151,725...156,000
Разнос частот между соседними каналами, кГц		25
Мощность несущей частоты 50 Ом, Вт	8...14	8...15
Максимальная девиация частоты, кГц	2,5	5,0
Коэффициент нелинейных искажений, %	5,0	4,0
Уровень побочных излучений	2,5 мкВт	-46 дБ
Чувствительность приемника (СИНАД)	5 мкВт	0,5 мкВт

Окончание табл. 27.2

Параметры	УПП-1 МВ	УПП-2 МВ
Избирательность по соседнему каналу, дБ	60	80
Интермодуляционная избирательность, дБ	50	70
Выходное напряжение приемника, Ом	690...870 МВ	690...870 МВ
Коэффициент нелинейных искажений приемника, %	5	4
Порог срабатывания шумоподавителя, мкВ	5...25	0,5...2,5
Защищенность от импульсных помех, дБ	30	50

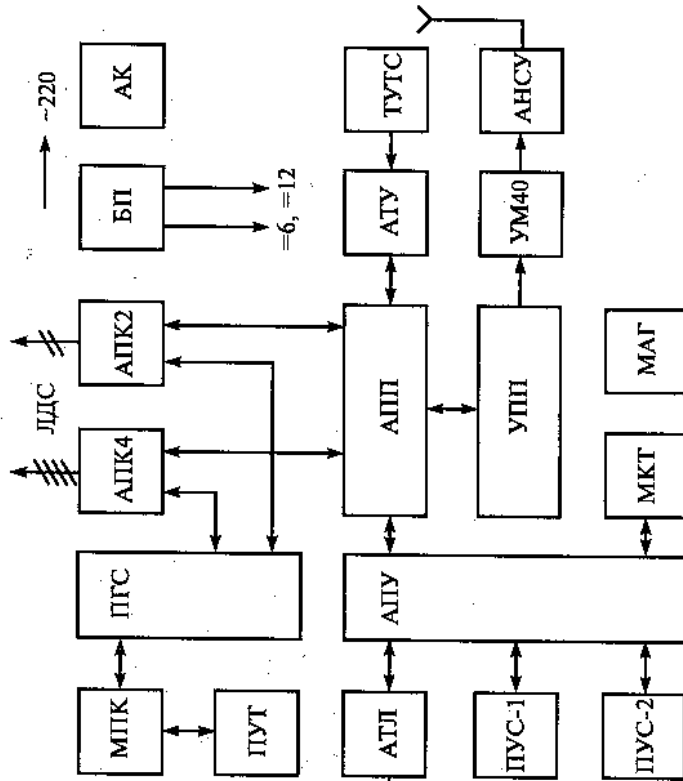


Рис. 27.1. Структурная схема радиостанции РС-46М:

МПК — микропроцессорный контроллер; ПУТ — пульт управления технологический; ПГС — приемник-генератор сигналов; АПК4 — адаптер 4-проводного канала; АПК2 — адаптер 2-проводного канала; АЛУ — адаптер периферийных устройств; АЛ1 — адаптер телефонной линии; ПУС-1 — пульт управления стационарный 1-й; ПУС-2 — пульт управления стационарный 2-й; МКТ — микрофонная трубка; МАГ — магнитофон; АПП — адаптер приемопередатчика; УПП — унифицированный приемопередатчик; УМ40 — дополнительный усилитель мощности; АНСУ — антенно-согласующее устройство; АГУ — адаптер телуправления; БП — блок питания; АК — аккумулятор; ЛДС — линии диспетчерской связи

Основные параметры радиостанции определяются техническими характеристиками сменных блоков унифицированных приемопередатчиков (УП). Приведем структурные схемы УПП-1МВ и УПП-2МВ с кратким описанием их работы.

27.2.1.1. УПП-1МВ. Устройство и работа

Описание конструкции. Приемопередатчик представляет собой конструктивно законченный блок, состоящий из корпуса, устанавливаемых в него субблоков и двух съемных крышек.

Корпус приемопередатчика является несущей конструкцией и изготовлен методом литья под давлением из алюминиевого сплава.

В корпусе установлены приемник, передатчик, преобразователь и кроссплата, к которой подключаются упомянутые устройства.

Подключение приемопередатчика к цепям производится при помощи врубных ВЧ- и НЧ-разъемов, расположенных на задней стенке корпуса.

На передней панели приемопередатчика расположены тумблеры включения, выключения подавателя шума, переключения каналов, а также отверстия для доступа к регулятору порога ПШ и ступенчатому регулятору чувствительности приемника.

Корпус с установленными в нем приемником, передатчиком, преобразователем и кроссплатой закрывается двумя крышками, также изготовленными методом литья под давлением из алюминиевого сплава.

Описание электрической структурной схемы. Приемопередатчик содержит следующие основные функциональные устройства:

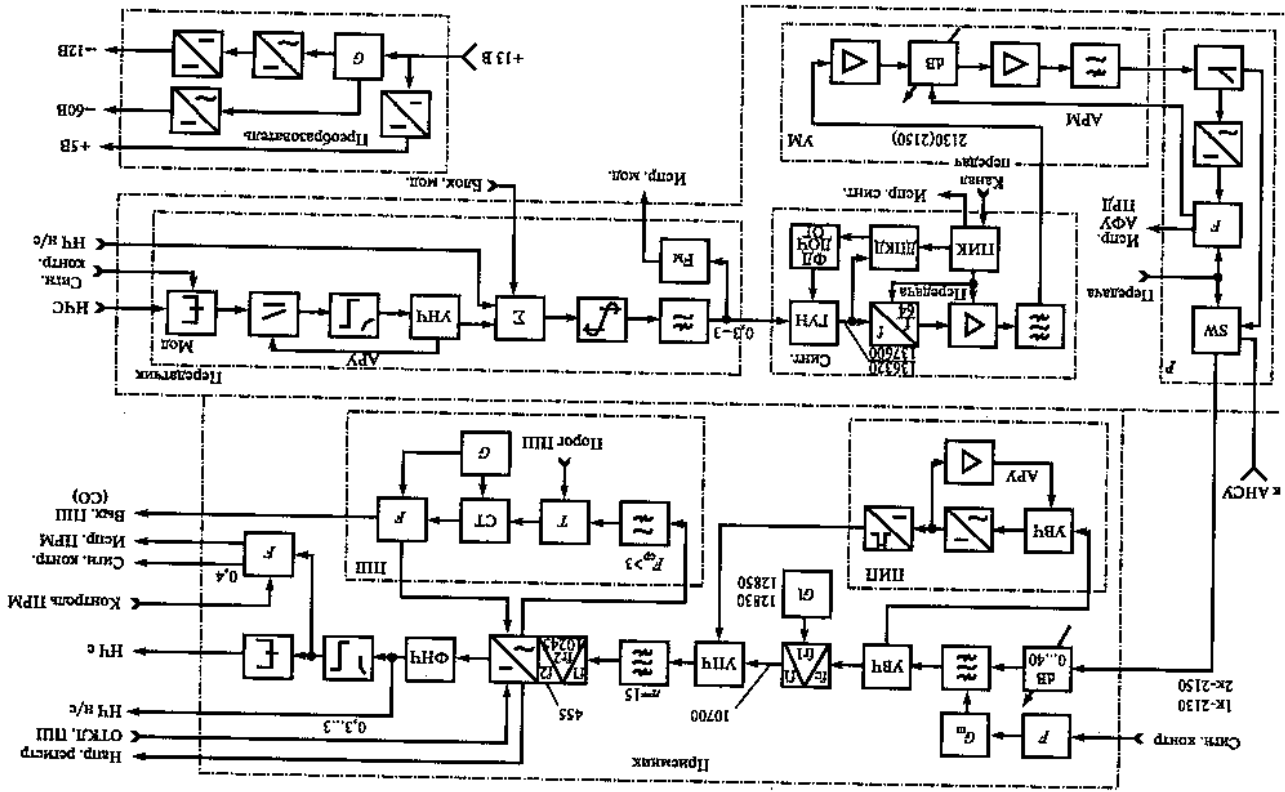
- приемник;
- передатчик;
- преобразователь.

Электрическая структурная схема приемопередатчика приведена на рис. 27.2, электрические принципиальные схемы — в альбоме схем.

Приемник выполнен по супергетеродинной схеме с двойным преобразованием частоты.

Высокочастотный сигнал с антенны поступает в антенно-согласующее устройство, предназначенное для настройки в резонанс антенного контура и согласования его с 50-омным входным сопротивлением приемника. Далее через антенный коммутатор (SW), осуществляющий подключение антенной цепи к приемнику или передатчику, сигнал посту-

рис. 27.2. Приемопередатчик УПП-1МВ. Схема электрическая структурная



пает на входной аттенуатор, обеспечивающий пятиступенчатую регулировку чувствительности приемника ступенями 0, 10, 20, 30, 40 дБ. Далее сигнал через полосовой фильтр, улучшающий отношение сигнал/помеха, поступает на усилитель высокой частоты (УВЧ) и с него на смеситель. В смесителе частота сигнала преобразуется в первую промежуточную частоту 10,7 МГц. Для этого на смеситель подводится также напряжение от первого гетеродина (G1), работающего на частотах 12 830 или 12 850 кГц, стабилизированных кварцевыми резонаторами.

С выхода смесителя сигнал идет на усилитель промежуточной частоты (УПЧ) и с него на кварцевый фильтр с полосой пропускания 15 кГц, обеспечивающий избирательность по соседнему каналу.

Прохождение сигнала через УПЧ может быть прервано под воздействием блокирующего импульса, поступающего от подавителя импульсных помех (ПИП).

С выхода кварцевого фильтра сигнал поступает на вход многофункциональной схемы, где он преобразуется во вторую промежуточную частоту 455 кГц, усиливается и детектируется. Далее низкочастотный сигнал идет в тракт НЧ. В нем он усиливается и проходит через активный фильтр нижних частот (ФНЧ), который формирует необходимую рабочую полосу частот НЧ 300...3000 Гц. После НЧ сигнал поступает на корректор АЧХ, обеспечивающий поскоррекцию сигнала (завал в сторону верхних частот 3 дБ/октава) и далее через симметрирующий трансформатор — на симметричный НЧ выход приемника. На несимметричный НЧ выход сигнала поступает без поскоррекции, непосредственно с выхода ФНЧ.

С выхода корректора сигнал НЧ идет также на схему сравнения, которая в режиме контроля формирует сигнал исправности приемника.

Для устранения щелчков и прерываний сигнала в условиях воздействия импульсных помех в приемнике имеется устройство для их подавления. Устройство представляет собой самостоятельный канал обработки сигнала, включающий в себя УВЧ с детектором и усилителем АРУ. Выделение импульсной помехи основано на инерционности рабботы АРУ. При быстром (скачкообразном) увеличении уровня сигнала АРУ не успевает отреагировать на это изменение и импульс проходит на выход УВЧ, детектируется и после формирования по амплитуде и длительности поступает в основной приемный тракт, запирая его на время действия импульсной помехи.

Подавитель шума в приемнике предназначен для защиты оператора от прослушивания шумов в канале связи при отсутствии несущей. В схе-

ме подавителя шума предусмотрен ряд мер, защищающих его от ложных срабатываний при воздействии помех или при малом отношении сигнал/шум. Работа подавителя шума основана на подсчете счетчиком СТ количества импульсов, пропорционального интенсивности шумов, возрастающей при пропадании несущей. Спектр шумов, используемых для анализа, ограничен снизу частотой, лежащей выше верхней рабочей частоты звукового тракта (3 кГц). Преобразование шумовых импульсов в последовательность однополярных производится триггером Т с регулируемым порогом. Время счета, т.е. время срабатывания ПШ, определяется периодом импульсов тактового генератора G. Формирователь F по результатам подсчета счетчика СТ вырабатывает сигнал обнаружения СО, который и открывает тракт НЧ приемника.

Приемник содержит также тракт формирования напряжения регистрации, пропорционального входному сигналу по логарифмическому закону.

Органы управления приемника размещены на передней панели приемопередатчика:

- 1) тумблер выключения ПШ;
- 2) тумблер выключения ПИП;
- 3) тумблер переключения каналов.

Под шлиц выведены:

- 1) переключатель ступенчатой регулировки чувствительности;
- 2) регулятор порога срабатывания ПШ.

Передатчик содержит:

- модулятор (Мод);
- синтезатор (Синт);
- усилитель мощности (УМ);
- рефлектометр (Р).

Модулятор передатчика выполняет следующие функции:

- обеспечивает номинальную девиацию частоты;
- ограничивает уровень девиации частоты;
- осуществляет необходимую поскоррекцию АЧХ.

В соответствии с вышеприведенными функциями модулятор содержит: — усилитель звуковой частоты (УЗЧ), охваченный петлей автоматической регулировки усиления (АРУ). АРУ производит сжатие динамического диапазона входных сигналов. При модуляции с симметричного входа (НЧС) сигнал проходит через корректор, который обеспечивает АЧХ 3 дБ/октава;

- сумматор, на который подается сигнал с несимметричного входа НЧ, н/с, сигнал с УНЧ и команда блокировки, запрещающая прохождение модулирующего сигнала с симметричного входа на выход модулятора;
- амплитудный ограничитель, устраняющий перемодуляцию передатчика;
- фильтр звуковой частоты, служащий для ограничения полосы модулирующих сигналов в пределах от 0,3 до 3 кГц;
- формирователь сигнала исправности модулятора (FM).

Усилитель мощности (УМ) содержит усилитель предварительный с аттенуатором (dB) для регулировки выходной мощности и выходной каскад с фильтром нижних частот. Усилитель мощности содержит систему автоматической регулировки мощности АРМ, а также защиту его выхода от короткого замыкания и холостого хода в нагрузке. Напряжение возбуждения на усилитель мощности поступает с согласующего контура синтезатора.

27.2.1.2. УПП-2МВ

Электрическая структурная схема приемопередатчика приведена на рис. 27.3.

Приемник выполнен по супергетеродинной схеме с двойным преобразованием частоты.

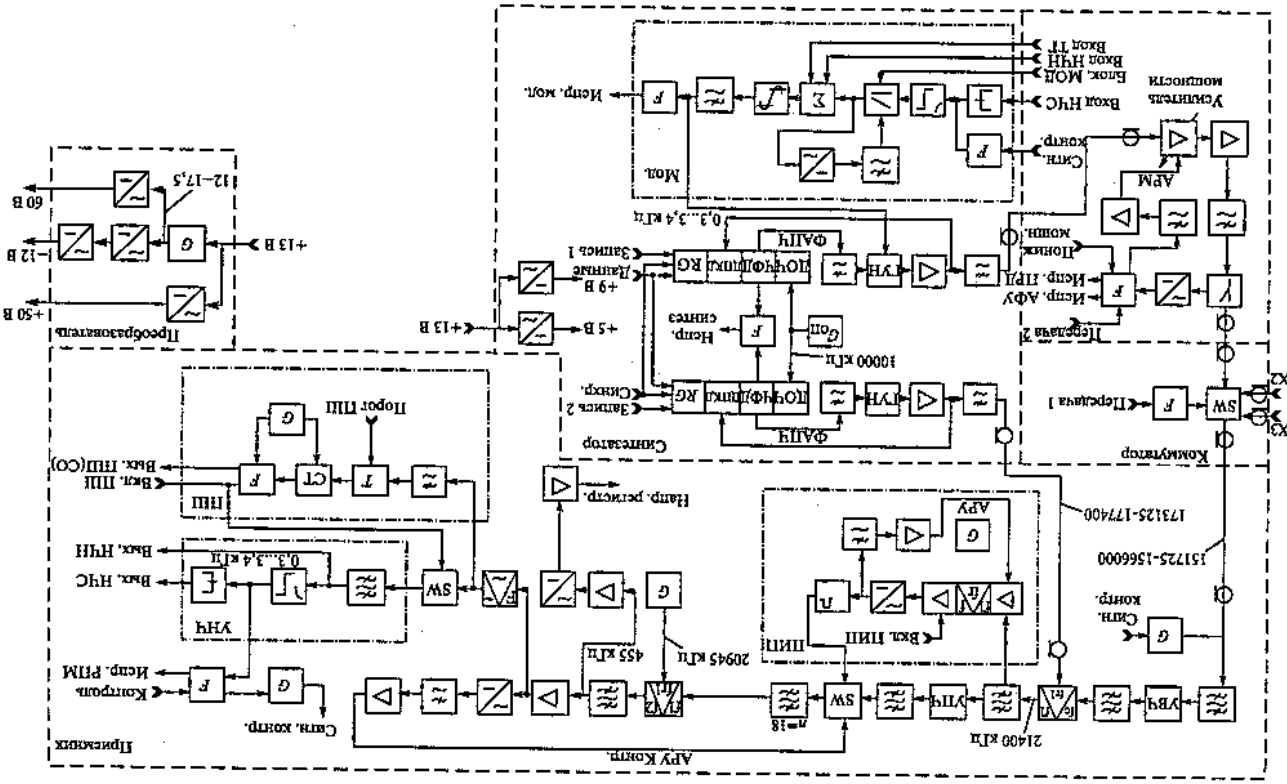
Высокочастотный сигнал с антенны через антенный коммутатор (SW) и ВЧ-кабель поступает на вход усилителя высокой частоты (УВЧ). УВЧ выполнен по двухкаскадной схеме с тремя двухконтурными фильтрами, обеспечивающими избирательность по зеркальному и другим комбинационным каналам приема.

Усиленный высокочастотный сигнал поступает на вход смесителя, на другой вход которого через ВЧ-кабель с платы синтезатора приходит напряжение гетеродина. В смесителе сигнал преобразуется в первую промежуточную частоту 21,4 МГц. С выхода смесителя сигнал идет на усилитель промежуточной частоты (УПЧ).

На входе и выходе УПЧ включены полосовые фильтры. Они обеспечивают увеличение избирательности по соседнему каналу, а также задержку сигнала, необходимую для его обработки в подавителе импульсных помех (ПИП). Далее сигнал проходит через кварцевый фильтр, обеспечивающий основную избирательность по соседнему каналу.

Прохождение сигнала через УПЧ может быть прервано под воздействием блокирующего импульса, поступающего на ключ SW от подавателя импульсных помех при их воздействии.

Рис. 27.3. Приемопередатчик УПП-2МВ. Схема электрическая структурная



Усиленный в УПЧ сигнал поступает на вход многофункциональной схемы, где его несущая частота преобразуется во вторую промежуточную частоту 455 кГц, усиливается и детектируется. Далее низкочастотный сигнал поступает в тракт НЧ. В нем он усиливается и проходит через активный фильтр нижних частот, который формирует необходимую рабочую полосу частот 300...3400 Гц. С выхода ФНЧ сигнал поступает на несимметричный вход приемника, а также на корректор АЧХ, обеспечивающий послекоррекцию сигнала (завал в сторону верхних частот 6 дБ/октава), и далее через симметрирующий трансформатор — на симметричный НЧ выход приемника.

С выхода корректора сигнал НЧ поступает также на схему сравнения, которая в режиме контроля формирует сигнал исправности приемника.

Для устранения щелчков и прерываний в условиях воздействия импульсных помех в приемнике имеется устройство для их подавления. Устройство представляет собой самостоятельный канал обработки сигнала, включающий в себя усилитель, преобразователь частоты с детектором и услителем АРУ. Выделение импульсной помехи основано на инерционности работы АРУ. При быстром (скачкообразном) увеличении уровня сигнала АРУ не успевает отреагировать на это изменение, и импульс проходит на выход преобразователя, детектируется и, после формирования по амплитуде и длительности, поступает в основной приемный тракт, запирая его на время действия импульсной помехи.

Подавитель шума в приемнике предназначен для защиты оператора от прослушивания шумов в канале связи при отсутствии несущей. В схеме подавителя шума предусмотрен ряд мер, защищающих его от ложных срабатываний при воздействии помех или при малом отношении сигнал/шум. Работа подавателя шума основана на подсчете количества импульсов, пропорционального интенсивности шумов, возрастающей при пропадании несущего колебания. Спектр шумов, используемых для анализа, ограничен снизу частотой, лежащей выше верхней рабочей частоты звукового тракта (3400 Гц).

Приемник содержит также тракт формирования напряжения регистрации, пропорционального входному сигналу по линейному закону. Этот тракт включает в себя дополнительный усилитель второй промежуточной частоты 455 кГц, активный детектор и сумматор.

На передней панели приемопередатчика размещены следующие органы управления приемником:

- 1) тумблер выключения ПШ;
- 2) тумблер выключения ПИП.

Под шлиц выведен регулятор порога срабатывания ПШ.

Синтезатор. Формирование рабочих частот приемопередатчика осуществляются два синтезатора:

- синтезатор-гетеродин в режиме приема;
- синтезатор-возбудитель в режиме передачи.

Синтезаторы выполнены по одной схеме на основе кольца ФАПЧ с трактом деления в цепи обратной связи. Генератор, управляемый напряжением (ГУН) синтезатора-гетеродина, вырабатывает синусоидальный сигнал в диапазоне 173,125...177,4 МГц. ГУН синтезатора-возбудителя обеспечивает формирование сигнала в диапазоне 151,725...156 МГц. Перестройка ГУН в диапазоне осуществляется изменением управляющего напряжения.

Сигнал с выхода ГУН через буферный усилитель поступает на фильтр нижних частот и на вход делителя с переменным коэффициентом деления (ДПКД). Сигнал с тракта деления поступает на один из входов частотно-фазового детектора (ЧФД), на второй вход которого поступает высокостабильный сигнал с делителя опорной частоты (ДОЧ). ЧФД формирует сигнал ошибки, пропорциональный разности фаз входных сигналов. Это напряжение ошибки по цепи ФАПЧ через ФНЧ поступает на управляющий вход ГУН, что приводит к изменению его частоты до требуемого, определяемого коэффициентом ДПКД, значения. ЧФД имеет выход сигнала, уровень которого позволяет судить о наличии завата в кольце ФАПЧ. Этот уровень подается на схему контроля F для формирования сигнала исправности синтезатора. Стабильность частоты синтезаторов определяется стабильностью опорной частоты генератора Gen .

Информация о частоте поступает в регистры (КО) синтезаторов по цепям «Данные», «Синхронизация», «Запись». Сигнал «Данные» приходит на оба синтезатора и содержит информацию о частоте в виде 32-разрядного управляющего слова. Управляющее слово адресуется конкретному синтезатору подачей на синтезатор сигнала «Запись 1» или «Запись 2». Продвижение сигнала «Данные» в регистре КО осуществляется сигналом «Синхронизация», при этом последовательный код преобразуется в параллельный.

Функции ДОЧ, ЧФД, ДПКД выполняет многофункциональная микросхема, в качестве опорного генератора используется для обоих синтезаторов высокостабильный генератор «ТОПАЗ» частотой 10 МГц.

Для стабилизации параметров синтезатора в цепях питания применяются два преобразователя с выходными напряжениями 5 и 9 В.

В состав синтезатора входит модулятор (МОД), который формирует низкочастотный модулирующий сигнал с заданными параметрами из звуковых сигналов НЧ, поступающих на вход приемопередатчика.

В состав модулятора входят: согласующее устройство для симметричного входа НЧС, корректор АЧХ с наклоном 6 дБ/октаву, компрессор, производящий сжатие динамического диапазона входных сигналов, сумматор (S), на который подаются сигналы с компрессора, с входа НЧН (несимметричного) или с входа ТГ; амплитудный ограничитель, устраняющий перемодуляцию передатчика; фильтр низкой частоты, обеспечивающий полосу спектра 0,3...3,4 кГц, и формирователи (F) сигнала исправности модулятора.

Частота среза кольца ФАПЧ синтезатора-возбудителя выбирается ниже самой низкой частоты спектра модулирующего НЧ-сигнала (ниже 300 Гц), при этом ФАПЧ не будет реагировать на изменение частоты ГУН под действием модулирующего сигнала. Это позволяет использовать ГУН одновременно для формирования рабочих частот и осуществления частотной модуляции.

Усилитель мощности. Высокочастотный сигнал с синтезатора-возбудителя поступает на предварительный усилитель мощности, где он усиливается и подается на выходной усилитель мощности. Усиленный ВЧ-сигнал проходит через фильтр нижних частот, где происходит подавление высших гармоник сигнала, и далее через ответвитель в коммутатор. В ответвителе-рефлектометре выделяются напряжения, пропорциональные уровням падающей и отраженной волн ВЧ-сигнала. Продетектированные напряжения в виде постоянных уровней подаются в формирователь (F). С выхода формирователя F снимается управляющий сигнал, который через фильтр нижних частот и усилитель постоянного тока подается на предварительный усилитель. В результате работы кольца осуществляется автоматическая регулировка мощности (АРМ) сигнала передатчика. АРМ обеспечивает стабилизацию уровня выходной мощности при изменении КСВ антенно-фидерного тракта или напряжения питания. В формирователе F производится сравнение уровней падающей и отраженной волн и по результатам сравнения формируются команды исправности или отказа антенно-фидерного устройства (АФУ) и передатчика (ПРД).

При подаче в формирователь команды «Пониж. мощн.» изменяется потенциал в цепи АРМ, что приводит к дополнительному запырению

предварительного усилителя, а следовательно, к понижению выходной мощности передатчика.

Перед началом работы радиостанции ее настройка осуществляется через временно переключаемый пульт управления технологический (ПУТ), через который программируется микропроцессор станции и УПП.

27.2.2. Радиостанция РС-46МГц (Ижевский завод)

РС-46МГц (ЦВИЯ.464514.001) предназначена для работы в радиостанции, управляемой по линейному каналу связи со стороны распределительной станции и (или) со стороны пультов управления, которые могут находиться как непосредственно в месте установки радиостанции (ближнего), так и на расстоянии до 20 км, с использованием каналов связи (вынесенные).

Радиостанция состоит из отдельных изделий:

- 1) устройство РПО — радиопроводное оборудование;
- 2) пульт управления и сигнализации — ПУС с подключенными к нему педалью, микрофоном и блоком питания;
- 3) устройств АНСУ — антенное согласующее устройство;
- 4) антенна.

В зависимости от типа используемого линейного канала радиостанция выпускается в двух вариантах:

- 1) для работы по каналам цифровых систем связи;
- 2) для работы по аналоговым каналам связи.

Радиостанция работает в симплексном режиме в диапазонах гектометровых или метровых волн, выбор диапазона определяется установкой соответствующего УПП. В диапазоне гектометровых волн радиостанция работает в режиме одночастотного симплекса на одной из двух частот: 2130 или 2150 кГц. В диапазоне метровых волн работает в режиме одно- и двухчастотного симплекса на любой (любой паре) из 172 рабочих частот в диапазоне от 151,725 до 156,000 МГц с разном частот между соседними каналами 25 кГц. В метровом диапазоне радиостанция работает на одном из шести каналов, переключаемых оперативно с пульта управления, причем рабочие частоты устанавливаются неоперативно при конфигурировании радиостанции (ПУТ). Возможно использование блока усиления мощности УМ-40.

Электрические параметры радиостанции приведены в табл. 27.3.

Структурная схема радиостанции приведена на рис. 27.4.

Таблица 27.3

№ п/п	Параметры	УПП-1	УПП-2
1	Мощность несущей частоты, $Z_n = 50 \text{ Ом}$	12 ± 2	9 ± 1
2	Максимальная девиация, кГц	2,5	5
3	Чувствительность приемника (СИНАД)	5 мкВ	0,5 мкВ
4	Чувствительность модуляционного входа: по микрофону, мВ по линейному 2-проводному входу, мВ по линейному 4-проводному входу, мВ по входу ЦС — ТС	8 ± 3 150 ± 20 1200 ± 200 200 ± 50	8 ± 3 150 ± 20 1200 ± 200 200 ± 50
5	Коэффициент нелинейных искажений передачи, %	5	5
6	Коэффициент нелинейных искажений приема	5	5

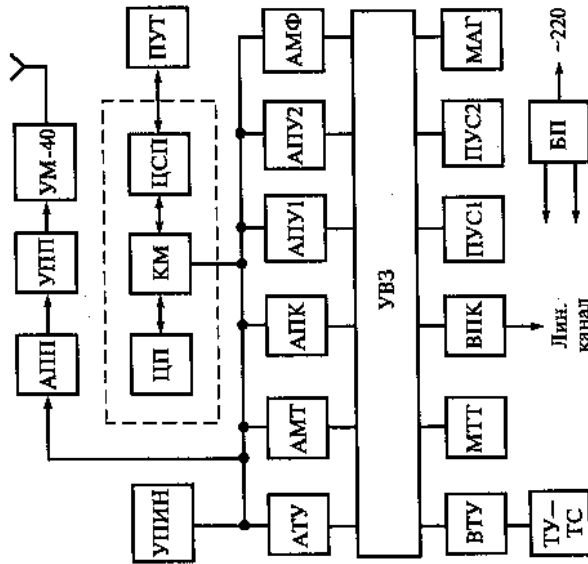


Рис. 27.4. Структурная схема радиостанции РС-46МГС:
УПИИ — устройство управления и индикации;
ЦП — центральный процессор; КОМ — коммутационная матрица; ЦСП — цифровой сигнальный процессор; ПУТ — пульт управления технологический; АТУ — адаптер системы ТУ — ТС; АМТ — адаптер микрофона; АПУ1, АПУ2 — адаптеры пультов управления; АМФ — адаптер приемопередатчика; УПП — унифицированный приемопередатчик; УМ-40 — усилитель мощности до 40 Вт; ВТУ — входное устройство системы ТУ — ТС; МТТ — микрофонная трубка; ВПК — входное устройство проводного канала; ПУС1, ПУС2 — пульт управления стационарный; МАГ — магнитофон; УВ3 — устройство ввода и защиты; БП — блок питания

Рис. 27.5. Структурная схема радиостанции РС-23М:
ПМР — приемник; ПРД — передатчик; КОМ — коммутатор; КУС — контроллер управления и сопряжения; ПУТ — пульт управления технологический; КАС — коммутатор аналоговых сигналов; ПУС1 — пульт управления стационарный 1-й; ПУС2 — пульт управления стационарный 2-й; МТТ — микрофонная трубка; РИ — речевой информатор; УА — устройство акустическое; БП — блок питания

27.2.3. Радиостанция РС-23М (Владимирский завод «Электронприбор»)

Радиостанция предназначена для обеспечения бесперебойной бесподстроечной радиосвязи в диапазоне 151,725...156,000 МГц с модуляцией G3E, F3E в режимах «одночастотный симплекс» и «двухчастотный симплекс» с аппаратурой радиосвязи системы «Транспорт» в радиальных сетях поездов, стационарной и ремонтно-оперативной связи с групповым вызовом абонентов, а также работы с речевым информатором (РИ-1М). Радиостанция обеспечивает круглосуточную работу при соотношении передача/прием 1:3, непрерывное время передачи 60 с. Управление осуществляется с двух пультов ПУС. Радиостанция работает на одном из шести каналов, переключаемых оперативно с пульта ПУС при предварительной неоперативной настройке с пульта управления технологического (ПУТ).

Структурная схема радиостанции приведена на рис. 27.5. Электрические параметры радиостанции приведены в табл. 27.4.

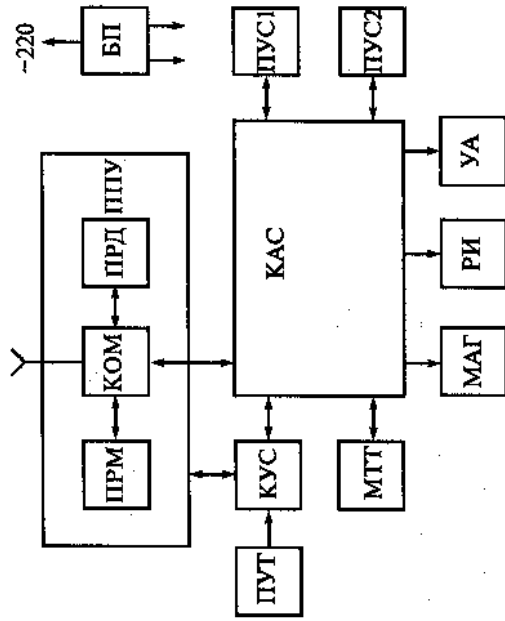


Рис. 27.5. Структурная схема радиостанции РС-23М:
ПМР — приемник; ПРД — передатчик; КОМ — коммутатор; КУС — контроллер управления и сопряжения; ПУТ — пульт управления технологический; КАС — коммутатор аналоговых сигналов; ПУС1 — пульт управления стационарный 1-й; ПУС2 — пульт управления стационарный 2-й; МТТ — микрофонная трубка; РИ — речевой информатор; УА — устройство акустическое; БП — блок питания

Таблица 27.4

№ п/п	Параметры	Значения
1	Мощность несущей частоты, Вт, в режиме пониженной мощности	8
2	Чувствительность приемника, не более	0,2...0,5
3	Кoeffициент нелинейных искажений приемника и передатчика	0,5 мкВ
4	Уровень фона приемного тракта, не более	5 %
5	Уровень паразитной частотной модуляции	-40 дБ
6	Мощность НЧ, подводимая к громкоговорителю	-40 дБ
7	Максимальная потребляемая мощность	-0,5 Вт
8	Избирательность по соседнему каналу	65 Вт 75 дБ

27.2.4. Радиостанция 460-РС-Д (Ижевский завод)

Стационарная радиостанция предназначена для организации связи в системах дуплексной поездной радиосвязи совместно с возимой радиостанцией 460-РС-Д, работает в непрерывном режиме (постоянно включены приемник и передатчик). Радиостанция работает в дуплексном двухчастотном режиме, на одной из трех оперативно выбираемых частот на передачу в полосе частот 467, 400/468, 450 МГц и на прием в полосе 457, 400/458, 450 МГц. Распределение частот по группам и каналам, режимы радиостанции предварительно записываются в перепрограммируемое энергозависимое ПЗУ от ПУТ.

Электрические параметры радиостанции 460-РС-Д приведены в табл. 27.5. Структурная схема радиостанции приведена на рис. 27.6.

Таблица 27.5

№ п/п	Параметры	Значения
1	Мощность несущей частоты, Вт,	12(+3, -4)
2	Чувствительность приемника (СИНАД), не более	0,8 мкВ
3	Кoeffициент нелинейных искажений приемника и передатчика, %	5,0
4	Уровень фона приемного тракта, не более	-40 дБ
5	Избирательность по соседнему каналу	75 дБ
6	Максимальная девиация	5 кГц
7	Отношение частоты несущей	$\pm 2,5 \times 10^{-6}$
8	Волновое сопротивление антенного входа	50 Ом

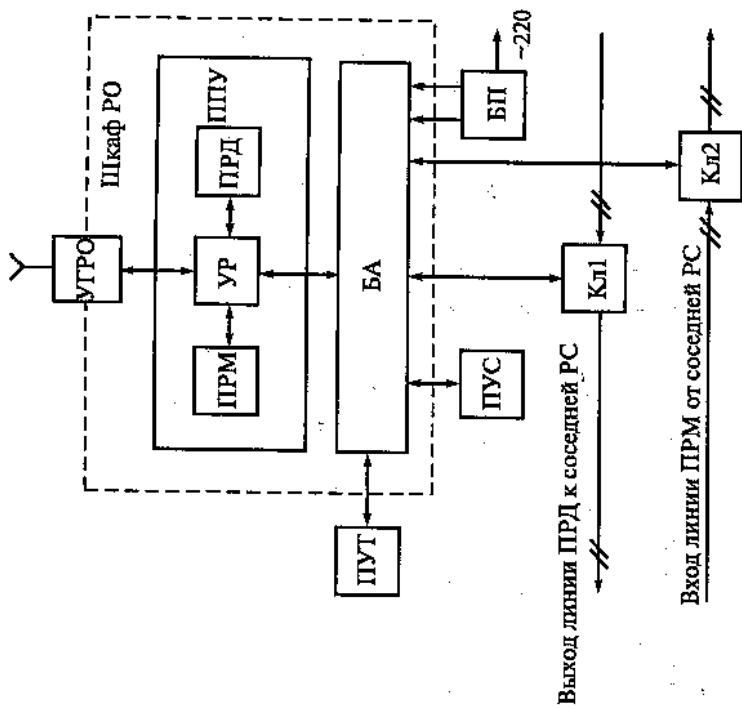


Рис. 27.6. Структурная схема радиостанции 460-РС-Д:

УТРО — устройство гальванической развязки; ПРМ — приемник; ПРУ — передатчик; УР — устройство разделения (дуплексер); БА — блок автоматики; ПУТ — пульт управления технологический; ПУС — пульт управления стационарный; КЛ1, КЛ2 — ключи переключения линий связи; БП — блок питания

27.2.5. Радиостанция «Лен-Б160-3» (фирма «Ирел», Болгария)

Радиостанция работает на 100 симлексных или полудуплексных каналах в частотном диапазоне 146/174 МГц. Частотный разнос между каналами — 25 кГц, частотный диапазон для работы в сетях железнодорожной связи определен в 5 МГц от 151 до 156 МГц, модуляция F3E.

Электрические параметры радиостанции приведены в табл. 27.6.

Радиостанция используется в стационарных сетях, имеет селективную систему из четырех частот: 700, 1000, 1400, 2100 Гц, что позволяет рас-

Таблица 27.6

№ п/п	Параметры	Значения
1	Выходная мощность, Вт	10(+1, -2)
2	Максимальная девиация, кГц	5,0
3	Коэффициент нелинейных искажений передатчика, %	3
4	Уровень побочных излучений, не более, мкВт	2,5
5	Уровень излучений в соседнем канале, не более, мкВт	2,5
6	Чувствительность приемника (СИНАД), не более, мкВ	1
7	Коэффициент нелинейных искажений приемника, %	5
8	Чувствительность шумоподавителя, дБ	-40
9	Уровень в приемнике, дБ	-40

пределять абонентов одной несущей частоты в 4 группы с разделенным вызовом и приемом. Несущие рабочие частоты устанавливаются оперативно с помощью ручного переключателя из 100 возможных каналов.

27.2.6. Радиостанция РВ-1

Возимая радиостанция предназначена для обеспечения связи машиниста локомотива с поездным диспетчером и другими абонентами, связанными с поездной работой; радиостанция двухдиапазонная, может содержать УПП-1, УПП-2, УПП-3 в различных сочетаниях 2 из 3. Модуль связи F3E.

Радиостанция РВ-1.1 работает в гектометровом (УПП-1) и метровом (УПП-2) диапазонах на разные антенны. Радиостанция РВ-1.2 работает в гектометровом и дециметровом (УПП-3) диапазонах на разные антенны. Радиостанция 1.3 работает в диапазонах метровом и дециметровом на одну антенну, подключаемую с помощью антенного разделителя (дуплексера).

Радиостанция при работе в гектометровом диапазоне обеспечивает:

- установку рабочей частоты (2,130 или 2,150 МГц);
- прием группового вызова частотой 1000 Гц с переводом радиостанции в режим «Прием»;
- подачу вызова частотами 698, 1000, 1404, 2100 Гц;
- радиобмен с абонентами речевой информации в симплексном режиме.

Радиостанция с УПП-2 при работе в метровом диапазоне (частоты 151,725/153, 650 МГц) обеспечивает:

- работу в системе поездной или станционной радиосвязи на частотах, распределенных по восьми группам и шести каналам: $f_g, f_e, f_u, f_k, f_l, f_i$;
- автоматическое переключение групп рабочих частот по командам, принимаемым по радиоканалам;
- ручное переключение групп рабочих частот;
- подачу вызова частотами 698, 1000, 1400 Гц в течение времени нажатия вызывной кнопки пульта управляемого абонента;
- прием группового вызова частотой 1000 Гц;
- передачу сигнала «Остановка»;
- работу в дежурном режиме на основном f_g или вспомогательном f_l канале в зависимости от положения переключателя ВСП на пульте управления;

- переключение рабочих каналов в режиме дежурного приема по команде от аппаратуры $mu-тс$;
- передачу номера поезда на частоте f_l по инициативе машиниста;
- радиобмен с абонентами речевой информации в симплексном режиме.

Радиостанция с УПП-3 работает в дециметровом диапазоне в дуплексном режиме (на прием 343, 025/343, 425 МГц, на передачу 307, 025/307, 125 МГц; 307, 375 МГц). Диапазон 330 МГц не нашел широкого использования.

Основные технические характеристики устройства РВ-1 приведены в табл. 27.7.

Структурная схема представлена на рис. 27.7.

Таблица 27.7

№ п/п	Параметры	УПП-1	УПП-2	УПП-3
1	Выходная мощность передатчика, Вт	12 ± 2	10(+5, -2)	10(+5, -2)
2	Коэффициент нелинейных искажений передатчика, %	5	6	6
3	Максимальная девиация, кГц	2,5	4,5	4,5
4	Уровень побочных излучений	-70 дБ	-70 дБ	2,5 мкВт
5	Чувствительность приемника (СИНАД) мкВ	5	0,6	1,0
6	Избирательность по соседнему каналу, дБ	55	75	70
7	Выходная мощность громкоговорителя, Вт	2	2	2
8	Волновое сопротивление антенного входа, Ом	50	50	50
9	Питание от бортовой сети 50, 75 или 110 В			

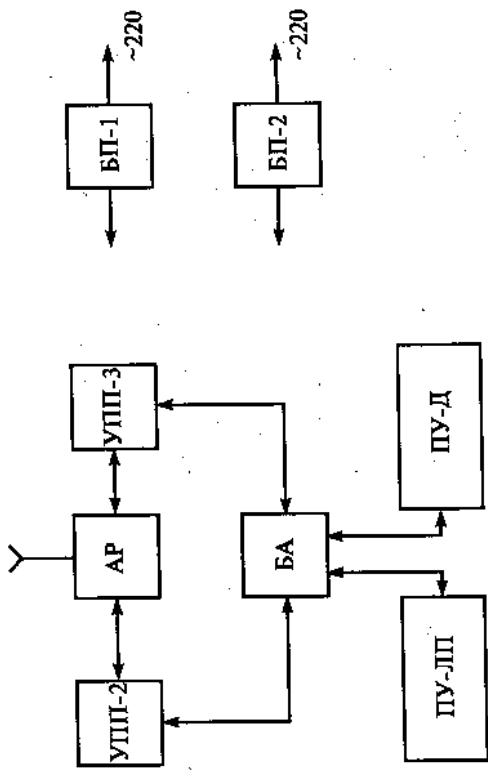


Рис. 27.7. Структурная схема радиостанции РВ-1.1.

УПП — унифицированный приемопередатчик; АР — антенный разделитель (дуплексер); БА — блок автоматики; ПУ-ЛП — пульт управления локомотивно-поездной; ПУ-Д — пульт управления дополнительного; БП — блок питания

27.2.7. Радиостанция РВ-1.1.М

Возимая двухдиапазонная симплексная локомотивная радиостанция 55Р22В-1.1.М «Транспорт-РВ-1.1.М» предназначена для работы в системе поездной и станционной радиосвязи на железнодорожном транспортном порте, устанавливается на подвижных объектах.

Радиостанция обеспечивает одновременную работу:

- в симплексном режиме на любом из шести каналов в любой из зарезервированных восьми групп частот в диапазоне 151, 725/155, 975 МГц (разнос между соседними каналами 25 кГц); частотные каналы выбираются при конфигурации радиостанции с пульта ВПУ-Д;
- в симплексном режиме в гектометровом диапазоне на любой из частот 2,130 или 2,150 МГц.

В радиостанции обеспечиваются функции:

- проверка работоспособности по программе ТЕСТ1, ТЕСТ2, ТЕСТ3 по команде с пульта ПУ-ЛП или при приеме команды по радиоканалу;
- подтверждение приема вызова нажатием кнопки «Подтверждение», или снятием МТГ с держателя, или нажатием любой вызывной кнопки рабочего диапазона;
- перевод радиостанции в режим «Прием» из «Дежурного режима»;

- одновременная независимая работа в гектометровом и метровом диапазонах с ПУ-ЛП и ПУ-Д;
- возможность установки с ПУ-ЛП номеров поезда, локомотивов, группы частот и канала 4 кВ, сетки частот «Поездная связь» и «Станционная связь»;

- передача группового вызова ТЧМ (1000 Гц); ДНЦ (700 Гц); ДСП (1400 Гц) и (2100 Гц);
- передача сигнала «Остановка»;
- передача сообщения о несанкционированном вскрытии;
- обеспечение работы с системой ТУ-ТС;
- обеспечение передачи данных в формате Ф2.

Основные технические характеристики радиостанции РВ-1.1.М приведены в табл. 27.8.

Таблица 27.8

№ п/п	Параметры	ПП-К	ПП-У
1	Мощность несущей ПРД, Вт	12(+3 -4)	10(+5 -2)
2	Максимальная девиация, кГц	2,5	5
3	Чувствительность модуляционного входа: со входов микрофонов, мВ с входа ТУ-ТС	400 ± 80 200 ± 50	400 ± 80 200 ± 50
4	Чувствительность приемника (СИНАД), мкВ	5	0,5
5	Выходная мощность приемника, Вт	3	3
6	Коэффициент нелинейных искажений передатчика, %	5	5
7	Коэффициент нелинейных искажений приемника, %	5	5
8	Избирательность по соседнему каналу, дБ	60	80
9	Интермодуляционная избирательность, дБ	50	70
10	Мощность, потребляемая в передаче, Вт	150	150
11	Питание от бортовой сети 50, 75 или 110 В		

Конструктивный состав радиостанции:

- 1) шкаф радиоборудования — РО;
 - 2) пульт управления основной — ПУ-ЛП (1 или 2);
 - 3) пункт управления дополнительного — ПУ-Д;
 - 4) микрофон — МТГ;
 - 5) громкоговоритель — ГГ;
 - 6) коробка распределительная — КР (1 или 2);
 - 7) антенна УКВ;
 - 8) антенно-согласующее устройство АнСУ КВ-диапазона.
- Структурная схема радиостанции приведена на рис. 27.8.

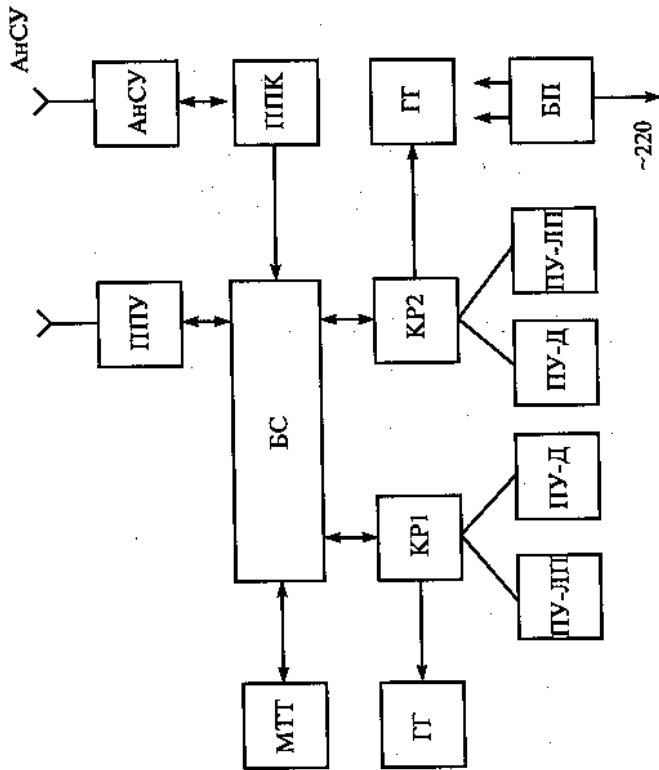


Рис. 27.8. Структурная схема радиостанции РВ-1.1.М:

ППЧ — приемопередатчик УКВ (метрового диапазона); ППК — приемопередатчик КВ (гектометрового диапазона); БС — блок сопряжения; МТТ — микрофонная трубка; АнСУ — антенно-согласующее устройство; ГТ — громкоговоритель; КР1, КР2 — коробка распределительная; ПУ-ЛП — пульт управления основной; ПУ-Д — пульт управления дополнительный

27.2.8. Радиостанция РВ-1М2 (Корпорация «Новосибирский завод «Электросигнал»)

Радиостанция предназначена для организации поездной и станционной радиосвязи. Устанавливается на подвижные объекты. Работает в трех диапазонах:

- гектометровых волн на фиксированных частотах 2130 и 2150 кГц (в симплексном режиме);
- метровых волн на 96 фиксированных частотах в диапазоне от 151, 700 до 156, 000 МГц (16 групп по 6 каналов) с шагом сетки частот в 25 кГц (в симплексном режиме);

— дециметровых волн на фиксированных частотах от 307, 0000 до 307, 4625 МГц (для передачи) и от 343, 0000 до 343, 4623 МГц (для приема) с шагом сетки 25 кГц. Диапазон разбит на шесть групп по четыре частоты в каждой (три частоты приема диапазона и одна частота передачи). Работа в дециметровом диапазоне производится в дуплексном режиме.

Радиостанция обеспечивает:

- работу в телефонном режиме в трех диапазонах;
- работу в режиме автоматической передачи данных в трех диапазонах по стыку ИРПС;
- работу в режиме ТУ-ТС в диапазонах гектометровых и метровых волн;
- прием индивидуального вызова и команд по номеру поезда;
- передачу сообщений с номером поезда;
- отображение передаваемой и принимаемой информации на буквенно-цифровом индикаторе (16 знаков-мест).

Основные технические характеристики представлены в табл. 27.9.

Таблица 27.9

№ п/п	Параметры	ГМВ	МВ	ДМВ
1	Выходная мощность передатчика, Вт	12 ± 2	8...15	8...15
2	Чувствительность приемника (СИНАД), мВ	5	0,5	1,0

27.2.9. Радиостанция РВ-2

Радиостанция РВ-2 (1Р22В-2) с модификациями РВ-3, РВ-5 предназначена для организации симплексной бесшлейковой автоматической двусторонней радиотелефонной связи в сети с групповым вызовом системы «Транспорт» в диапазоне рабочих частот от 151, 700 до 156, 000 МГц. Радиостанция обеспечивает работу на одном из шести каналов 40 частотных групп в режиме одночастотного и двухчастотного симплекса, выбираемых оперативно на блоке БАУ.

Автоматика радиостанций обеспечивает:

- перевод радиостанции из режима «Дежурный» в режим приема при приеме сигнала вызова частотами 700, 1000 Гц или 1000, 2100 Гц;
- обобщенный контроль основных параметров приемопередатчика;
- световую индикацию режимов работы, приема вызовов, номера набранного канала, обобщенного контроля;

27.2.10. Радиостанция РВ-460Д

Радиостанция двухдиапазонная: метровый диапазон определяется частотами 151,725...156,000 МГц — работа в симплексном режиме одно-частотном или двухчастотном; дециметровый диапазон определяется частотами 457,400...458,450 МГц (на передаче), 467,400...468,450 МГц (на прием) — работа в дуплексном режиме с разнесением частот приема и передачи на 10 МГц.

В диапазоне метровых волн возможна работа в шести рабочих частотных каналах (оперативного выбора) из устанавливаемых предварительно (неоперативно, от технологического пульта — программатора), в диапазоне дециметровых волн — работа в трех каналах двухчастотного дуплекса (оперативного выбора) из устанавливаемых предварительно (неоперативно, при конфигурировании станции с помощью технологического пульта — программатора).

Основные технические характеристики в диапазоне дециметровых волн совпадают с характеристиками радиостанции РС-460Д. Отличия заключаются в обеспечении автоматического выбора лучшего канала в группе частот (по уровню сигнала), работе переключения групп частот происходит с пульта управления или автоматически при приеме соответствующей команды.

Технические характеристики метрового диапазона в основном совпадают с характеристиками радиостанции РВ-1.1.М.

27.2.11. Радиостанция РН-12Б

Носимая радиостанция болгарского производства в настоящее время изымается из работы по мере выработки ресурса. Радиостанция многоканальная (пять или шесть каналов), предназначена для двусторонней симплексной (одночастотной или двухчастотной) связи в диапазоне 151,000—156,000 МГц. Фиксированные частотные каналы определяются впаиваемым кварцевым резонатором в задающем генераторе передатчика и гетеродине приемника.

В условиях прямой видимости распространения радиоволны радиостанция обеспечивает дальность связи до 3 км между носимыми радиостанциями с антеннами четвертьволновыми (0,5 м), вшитыми в плечевой ремень радиостанции, и до 8 км — со стационарной радиостанцией, оборудованной стационарной антенной, смонтированной на высоте 5 м от поверхности земли.

- переключение каналов и групп частот;
- работу радиостанции РВ-3 с аппаратурой ТУ-ТС;
- работу радиостанции РВ-5 с устройством УТО.

Основные технические характеристики отражены в табл. 27.10.

Структурная схема представлена на рис. 27.9.

Таблица 27.10

№ п/п	Параметры	Значения
1	Мощность несущей частоты, Вт	12 (+3, -4)
2	Чувствительность модуляционного входа, мВ	50 ± 15
3	Максимальная девиация, кГц	5
4	Чувствительность приемника (СИНАД), мкВ	1,2
5	Коэффициент нелинейных искажений передатчика, %	7
6	Коэффициент нелинейных искажений приемника, %	7
7	Избирательность по соседнему каналу, дБ	75
8	Защищенность от импульсных помех, дБ	50

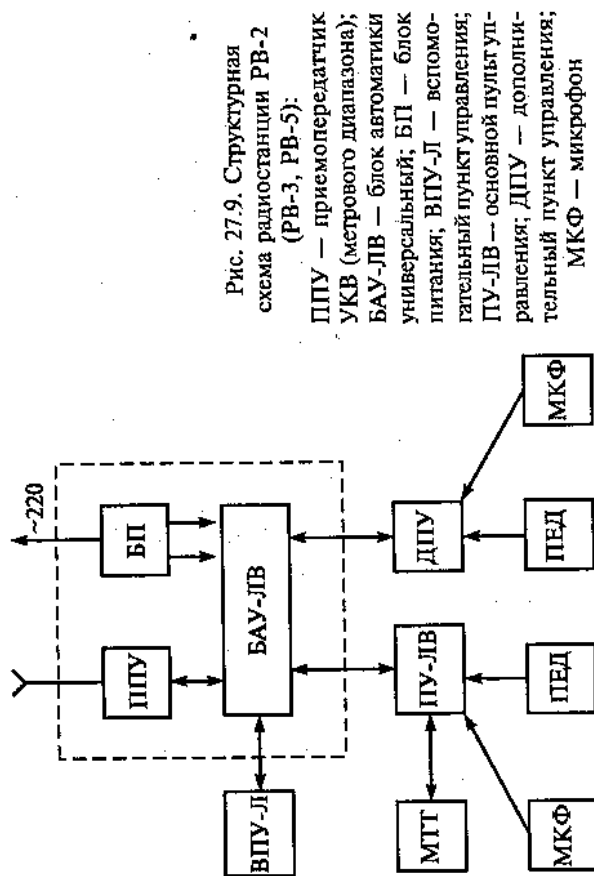


Рис. 27.9. Структурная схема радиостанции РВ-2 (РВ-3, РВ-5):

ППУ — приемопередатчик
УКВ (метрового диапазона);
БАУ-ЛВ — блок автоматика
универсальный; БП — блок
питания; ВПУ-Л — вспомога-
тельный пункт управления;
ПВ-ЛВ — основной пульт уп-
равления; ДПУ — дополни-
тельный пункт управления;
МКФ — микрофон

Основные технические характеристики приведены в табл. 27.11.

Таблица 27.11

№ п/п	Параметры	Значения
1	Выходная мощность передатчика, Вт: первый вариант второй вариант	1 2
2	Максимальная девиация частоты, кГц	5
3	Чувствительность передатчика с входа микрофона, мВ	$1,5 \pm 0,5$
4	Ток потребления в режиме «Передача», мА	250
5	Чувствительность приемника (СИНАД), мкВ	0,5
6	Мощность на выходе УНЧ, Вт	0,25
7	Ток потребления радиостанции: режим «Дежурный прием», мА режим «Прием», мА	5 100

Структурная схема радиостанции РН-12Б представлена на рис. 27.10.

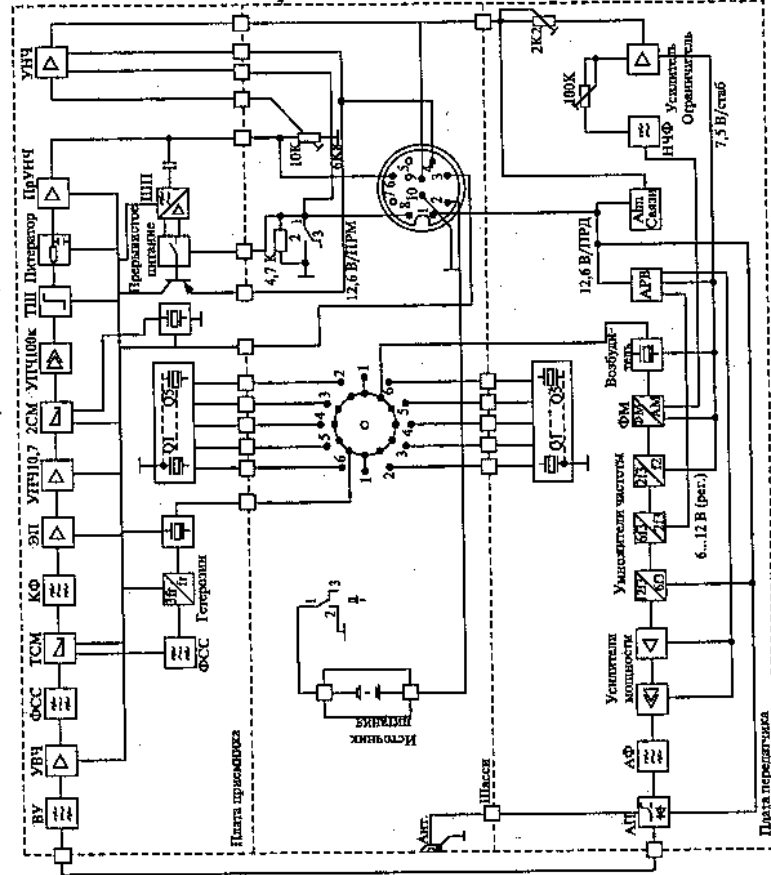


Рис. 27.10. Структурная схема радиостанции РН-12Б

В исходном состоянии носимая радиостанция находится в «Дежурном режиме», при котором шумоподавитель ШП выключает питание УНЧ и включает «Экономайзер», который, в свою очередь, подает на все остальные каскады приемника прерывистое напряжение питания длительностью 50 мс с интервалом в 500 мс. Таким образом, радиостанция почти все время выключена и только через каждые полсекунды производится проверка «Нет ли вызова?» Если в антенну поступает сигнал несущей частоты, то выключается ШП и радиостанция переходит в режим «Прием». Режим «Передача» осуществляется нажатием тангенты и ведением разговора. Режим «Передача» также осуществляется излучением тонального вызывного сигнала нажатием кнопки вызова.

27.2.12. Радиостанция «Радий-301»

Носимая радиостанция 1Р32Н-4.3 «Радий-301» предназначена для организации радиосвязи в диапазонах 160 МГц в радиосетях поездной, станционной и ремонтно-оперативной связи в режимах одно- и двух-частотного симплекса. Параметры и режимы радиостанции программируются на заводе по требованию потребителя. Возможно перепрограммирование с помощью ЭВМ. Количество каналов — до 16. Минимальный разнос частот между соседними каналами — 25 кГц. Радиостанция обеспечивает следующие режимы работы:

- А) «Дежурный прием» (с использованием «Экономайзера»);
- Б) «Прием»;
- В) «Передача».

Радиостанция имеет световую индикацию режимов и состояний и органы управления:

- переключатель включения/выключения радиостанции, совмещенный с регулятором громкости;
 - переключатель номера рабочего канала и выбора списка сканирования;
 - клавишу включения режима «Передача»;
 - функциональные кнопки, обеспечивающие переключение уровней несущей мощности, включение передачи тонального сигнала, выключение шумоподавителя, включение/выключение светового сигнала.
- Радиостанция работает от аккумулятора источника питания напряжением 7,2 (+1,6, -1,2) В и емкостью 1,6 А/ч.

Основные технические характеристики радиостанции «Радий-301» приведены в табл. 27.12.

Таблица 27.12

№ п/п	Параметры	Значения
1	Выходная мощность передатчика, Вт	2 (5)
2	Максимальная девиация, кГц	5
3	Чувствительность модуляционного входа, мВ	28
4	Ток потребления в режиме «Передача», А	1 (1,9)
5	Чувствительность приемника (СИНАД), мкВ	0,3
6	Мощность на выходе УНЧ, Вт	0,4...0,5
7	Ток потребления радиостанции в режимах: А: «Дежурный прием» Б: «Прием»	0,06 0,35

Структурная схема радиостанции показана на рис. 27.11.

Алгоритм работы радиостанции хранится в памяти процессора, расположенного на плате контроллера. При включении станции (регулятором громкости) питание подается на стабилизатор напряжения питания (СНП), который сигналом «MCLR» устанавливает микропроцессор (МП) в исходное состояние. Информация об установленном канале поступает на микропроцессор с переключателя каналов (ПРК), микропроцессор выдает на синтезатор частоты соответствующий код (DAT) по сигналам тактовой частоты. Код заносится в микросхему ДЗ по сигналу STR-F. Микросхема ДЗ выдает уровень напряжения на один из двух генераторов — ГУН ПРМ или ГУН ПРД. С помощью обратной связи фазовой автоматической подстройки частоты (ОС ФАПЧ) частота ГУН, поделенная до частоты 6,25 кГц, анализируется микросхемой ДЗ на разность фаз с частотой опорного генератора на микросхеме ДЗ, также поделенной до частоты 6,25 кГц. По результатам сравнения изменяется уровень направляющего напряжения, чем поддерживается стабильность частоты ГУН (ГУН ПРД или ГУН ПРМ) в заданных пределах. ГУН ПРМ — генератор, управляемый напряжением приемника, вырабатывает частоту гетеродина для приемника; ГУН ПРД — генератор, управляемый напряжением, вырабатывает частоту несущей для передатчика. ГУН ПРД включается по команде «PRD» от микросхемы ДЗ, ГУН ПРМ включается по команде «PRM». Приемник включается командой «PRM» от микросхемы ДЗ, эта команда инвертируется на транзисторном ключе и поступает на смеситель, УВЧ и на схему на микросхеме Д10. Частота гетеродина поступает на смеситель СМ, на другой конец которого через фильтр и ключи на диодах Фик и усилитель УВЧ поступает сигнал с антенного входа.

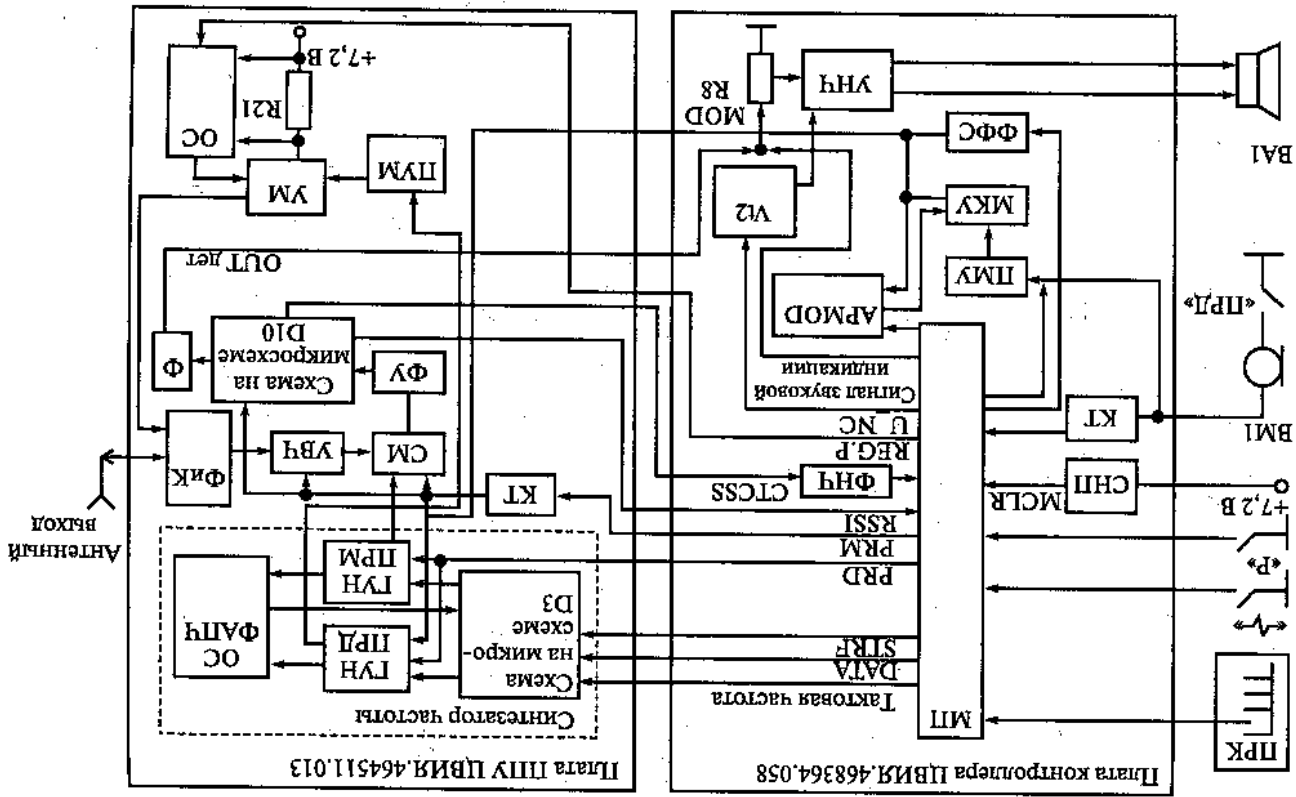


Рис. 27.11. Структурная схема радиостанции «Радин-301»

На выходе СМ значение первой промежуточной частоты составляет 4475 кГц. Сигнал ПЧ проходит через фильтр усилителя ФУ и поступает снова на микросхему Д10, в которой происходит второе преобразование частоты до значения второй промежуточной в 445 кГц, усиление сигнала и его детектирование. С выхода детектора сигнал низкой частоты проходит фильтр Ф и в виде «ОИТдет» поступает на резистор R8 платы контроллера. Резистором R8 можно изменять уровень сигнала на выходе усилителя нужной частоты УНЧ и громкость на динамике ВА1.

Для передачи звукового сигнала необходимо нажать тангенту «ПРД», при этом срабатывает ключ КТ, на микропроцессор передается сигнал включения режима «Передача». Сигнал от микрофона поступает на предварительный микрофонный усилитель ПМУ, после чего сигнал принимается на микрофонный усилитель МКУ. Кроме звукового сигнала, от микрофона может передаваться и сигнал частоты субтона, подаваемый от МП через фильтр-формирователь сигнала ФСС. Таким образом, вырабатывается сигнал «MOD» для модуляции несущей на синтезатора. Частота ГУН ПРД, модулированная сигналом «MOD», поступает на предварительный усилитель мощности (ПУМ), а затем на усилитель мощности УМ. Далее усиленный сигнал через фильтр и ключи на рип-диодах Фик поступает на антенну. Для поддержания уровня несущей и ее переключения в заданных пределах к резистору R21, входящему в состав УМ, подключена схема обратной связи, управляемая сигналом «REG.P» с микропроцессора МП.

27.2.13. Радиостанция «Motorola- GP300»

Портативная радиостанция GP300 модели 093УРС, используемая на железных дорогах России в диапазоне частот 156...174 МГц с расстоянием на частоте между соседними каналами в 25 кГц, имеет 2, 8 или 16 каналов. Основные технические характеристики представлены в табл. 27.13. Структурная схема представлена на рис. 27.12.

Таблица 27.13

№ п/п	Параметры	Значения
1	Выходная мощность, Вт	5 (1)
2	Максимальная deviation, кГц	5.0
3	Чувствительность передатчика со входа микрофона, мВ	1.0 ± 0.5
4	Чувствительность приемника (СИНАД), мкВ	0.32
5	Избирательность по соседнему каналу, дБ	70
6	Выходная мощность приемника, мВт	500

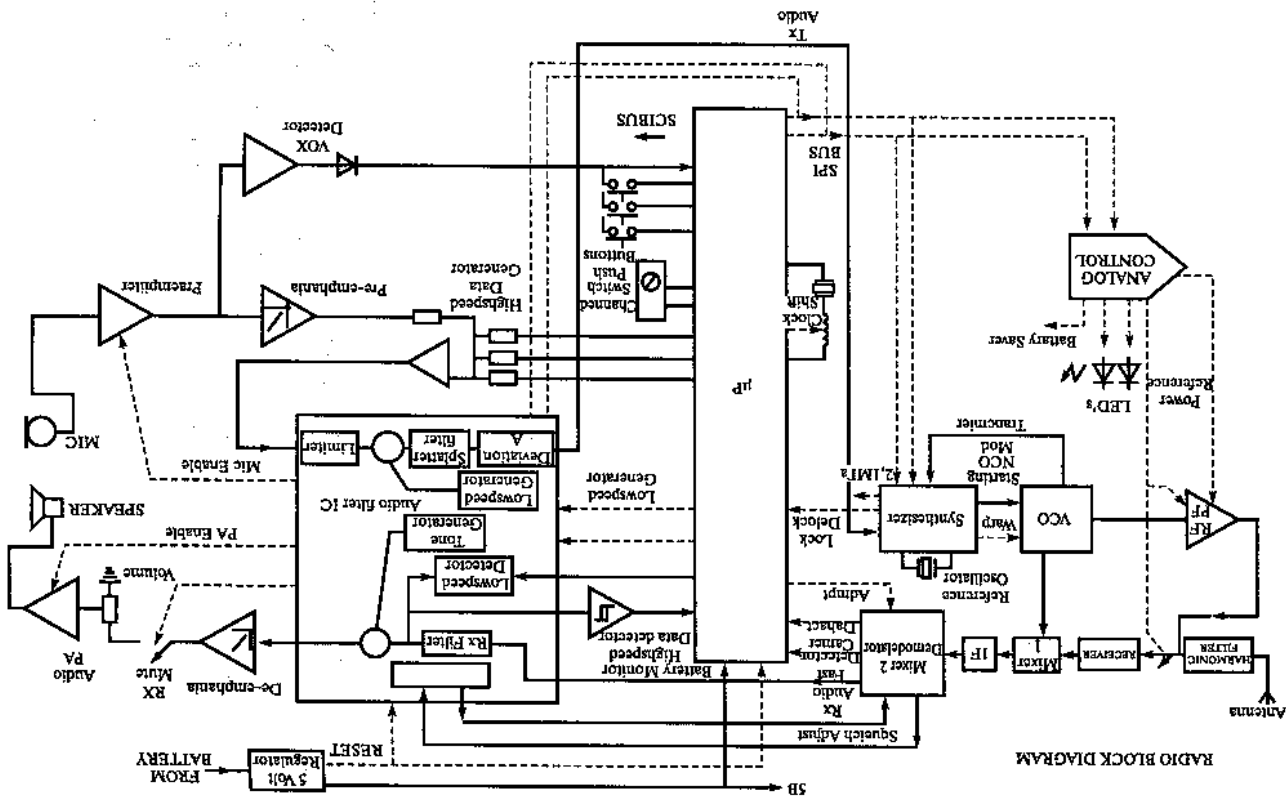


Рис. 27.12. Структурная схема радиостанции «Motorola-GP300»

На рисунке приведены следующие обозначения: HARMONIC FILTER — фильтр гармонии; RECEIVER — приемник; MIXER 1 — первый смеситель; IF — тракт промежуточной частоты; MIXER 2 DEMODULATOR — второй смеситель и детектор; RFPA — усилитель мощности радиочастоты; VCO — генератор, управляемый напряжением; SYNTHESIZER — синтезатор частоты; MP — микроконтроллер; AUDIO FILTER — схема фильтров звуковой частоты; SPEAKER — громкоговоритель; MIC — микрофон; AUDIO PA — усилитель низкой (звуковой) частоты; CHANNEL SWITCH — переключатель каналов; PUSH BUTTONS — нажимные кнопки; PREAMPLIFIER — предварительный усилитель.

28. КОНТРОЛЬ, ДИАГНОСТИКА И РЕМОНТ РАДИОАППАРАТУРЫ

Под контролем понимается проверка соответствия радиоаппаратуры установленным техническим характеристикам. Основой для контроля является ГОСТ 12252—86 «Радиостанции с угловой модуляцией сухопутной подвижной службы. Типы, основные параметры, технические требования и методы измерений». Выдержки из ГОСТа приводятся ниже.

28.1. Контроль и измерение параметров радиостанций. Типы радиостанций

Радиостанции подразделяются на следующие типы (см. табл. 28.1).

Таблица 28.1

Тип радиостанции	Мощность несущей передатчика, Вт	Основное эксплуатационное назначение
1	До 60	Стационарные
2	До 20	Стационарные возимые
3	До 2	Стационарные носимые
4	0,5	Носимые (портативные)

Основные электрические параметры радиостанций при нормальных климатических условиях должны соответствовать нормам, указанным в табл. 28.2.

Таблица 28.2

№ п/п	Параметры	Норма для радиостанции типа			
		1	2	3	4
1	Мощность несущей передатчика, Вт, не более	60	20	2	0,5
2	Коэффициент нелинейных искажений передатчика, %, не более	5...7			
3	Отклонение амплитудно-частотной модуляционной характеристики (АЧХМ) передатчика от характеристики с предкоррекцией 6 дБ/октава, дБ, не более	±1,5		±2	
		-3		-3	

Продолжение табл. 28.2

№ п/п	Параметры	Норма для радиостанции типа			
		1	2	3	4
4	Максимальная девиация частоты передатчика, кГц, не более	5			
5	Девиация частоты передатчика, Гц, не более, при модулирующих частотах:	5 кГц	1500	—	—
		10 кГц	300	—	—
		30 кГц	60	—	—
6	Уровень паразитной частотной модуляции передатчика, дБ, не более	—40	—30	—	—
7	Уровень паразитной амплитудной модуляции передатчика, %, не более	3	—	—	—
8	Ширина полосы частот излучения передатчика, кГц, не более, для полосы звуковых частот от 300 до 3000 Гц (от 300 до 3400 Гц) на уровнях:	30 дБ — контрольная	18,0(18,0)	—	—
		40 дБ	21,9(23,1)	—	—
		50 дБ	27,1(28,8)	—	—
		60 дБ	32,9(35,2)	—	—
9	Уровень излучений передатчика в соседнем канале: для мощности несущей ≤ 25 Вт, мкВт, не более для мощности несущей ≥ 25 Вт, дБ, не более	2,5	—	—	—
		—70	—	—	—
10	Уровень побочных излучений передатчика: при мощности несущей ≤ 25 Вт, мкВт, не более при мощности несущей ≥ 25 Вт, дБ, не более	2,5	—	—	—
		—70	—	—	—
11	Отклонение частоты передатчика от номинального значения, не более: для стационарных радиостанций в диапазонах частот: 40 и 80 МГц для передатчиков с мощностью несущей: ≤ 15 Вт ≥ 15 Вт 160 МГц 330 МГц 450 МГц	—	—	20·10 ⁻⁶	—
		—	—	10·10 ⁻⁶	—
		—	—	10·10 ⁻⁶	—
		—	—	7·10 ⁻⁶	—
		—	—	5·10 ⁻⁶	—

Окончание табл. 28.2

№ п/п	Параметры	Норма для радиостанции типа			
		1	2	3	4
11	для подвижных радиостанций в диапазонах частот: 40 и 80 МГц 160 МГц 330 МГц 450 МГц	20·10 ⁻⁶	—	—	—
		—	—	10·10 ⁻⁶	40·10 ⁻⁶
		—	—	7·10 ⁻⁶	10·10 ⁻⁶
12	Чувствительность приемника при отношении сигнал/шум (СИНАД) 12 дБ, ЭДС, мкВ, не более: в диапазонах частот 40, 80 и 160 МГц: в симплексном режиме в дуплексном режиме в диапазонах частот 330 и 450 МГц: в симплексном режиме в дуплексном режиме	—	—	0,6(0,5)	—
		—	—	0,8	—
		—	—	0,8	1,0
13	Изменение чувствительности приемника при отклонении частоты сигнала, дБ, не более	—	—	3	—
14	Коэффициент нелинейных искажений приемника, %, не более	7(5)	10(7)	10	—
		—	—	—	—
15	Уровень фона приемника, дБ, не более	—	—	—	—35
16	Отклонение амплитудно-частотной модуляционной характеристики (АЧХМ) приемника от характеристики с погрешностью не более 6 дБ/октава, дБ, не более	±1,5	—	±2	—
		—3	—	—3	—
17	Избирательность приемника по соседнему каналу, дБ, не менее, в диапазонах частот: 40, 80 и 160 МГц 330 и 450 МГц	75(80)	—	—	—
		70(75)	—	—	70
18	Избирательность приемника по побочным каналам приема, дБ, не менее	—	—	—	70
19	Интермодуляционная избирательность приемника, дБ, не менее, в диапазонах частот: 40, 80 и 160 МГц 330 и 450 МГц	—	—	—	—
		—	—	—	60
20	Защитность приемника по цепям питания и управления, дБ, не менее	—	—	—	—
21	Уровень излучения гетеродинов приемника, нВт, не более	—	—	—	2

Технические требования к радиостанциям. Общие требования:

1. Радиостанции должны соответствовать требованиям настоящего стандарта, техническим условиям на радиостанции конкретного типа и рабочим чертежам, утвержденным в установленном порядке.
2. В радиостанциях должна применяться фазовая модуляция (частотная модуляция с поправкой плюс 6 дБ/октава в передатчике и поправка минус 6 дБ/октава в приемнике — класс излучения G3E). Необходимость применения частотной модуляции без поправки в передатчике и поправки в приемнике (класс излучения F3E) должна быть установлена в ТУ на радиостанции конкретного типа.
3. Конкретный диапазон рабочих частот и количество рабочих каналов устанавливаются в ТУ на радиостанции конкретного типа.
4. Номинальный частотный разнос между соседними каналами должен быть 25 кГц.
5. Номинальный диапазон звуковых частот передаваемого информационного сигнала должен быть 300...3400 Гц или 300...3000 Гц.
6. Номинальное значение ширины полосы пропускания приемника на уровне минус 6 дБ устанавливается в ТУ на радиостанции конкретного типа в пределах 14,5...18 кГц.
7. Радиостанции должны быть рассчитаны для работы в симплексном или дуплексном режимах. В радиостанциях могут быть предусмотрены оба режима.
8. В приемниках радиостанций с симплексным режимом работы должны быть предусмотрены шумоподавитель. Возможность его включения указывается в ТУ на радиостанции конкретного типа. Минимальный порог срабатывания шумоподавителя не должен превышать чувствительность приемника.
9. Радиостанции должны быть предназначены для работы с несимметричными антенно-фидерными устройствами номинальным волновым сопротивлением 50 или 75 Ом, установленным в ТУ на радиостанции конкретного типа.
- В носимых и портативных радиостанциях с другим сопротивлением антенного ввода (или при отсутствии его) должна быть предусмотрена возможность подключения измерительных приборов с волновым сопротивлением 50 или 75 Ом.
10. В ТУ на радиостанции конкретного типа должны быть установлены требования к модуляционному входу передатчика и низкочастотному выходу приемника.

В стационарных радиостанциях типов 1 и 2 должен быть предусмотрен симметричный модуляционный вход передатчика и симметричный низкочастотный выход приемника, при этом в радиостанциях, предназначенных для работы в сети связи общего пользования, должны обеспечиваться следующие параметры подключения:

- ЭДС источника информационного сигнала ($0,35^{+0,1}_{-0,08}$) В при номинальном внутреннем сопротивлении 600 Ом или минус $13 \pm 2,2$ дБ/мВт при номинальном сопротивлении нагрузки 600 Ом;
- сопротивление модуляционного входа передатчика и низкочастотного выхода приемника (600 ± 120) Ом;
- выходная мощность приемника $1^{+0,66}_{-0,4}$ мВт или $0 \pm 2,2$ дБ/мВт при номинальном сопротивлении нагрузки 600 Ом.

Значения параметров подключения для радиостанций типов 1 и 2, предназначенных для подключения к ведомственным сетям связи, устанавливаются в ТУ на радиостанции конкретного типа.

В стационарных радиостанциях типов 1 и 2 могут быть предусмотрены несимметричные модуляционный вход передатчика и низкочастотный выход приемника, кроме симметричных, указанных выше. В радиостанциях типа 2 допускается в технически обоснованных случаях не предусматривать симметричные модуляционный вход передатчика и низкочастотный выход приемника.

Чувствительность модуляционного входа передатчика должна соответствовать выходному уровню источника информационного сигнала.

11. Радиостанции, питание которых осуществляется от внешних источников питания, должны допускать длительную работу без ограничения времени; в режимах приема и дежурного приема. Носимые радиостанции должны быть рассчитаны для длительной работы при соотношении времени «Дежурный прием» — «Прием» — «Передача» 8:1:1, при этом допустимая продолжительность работы в режиме передачи должна быть не менее 5 мин.

Возимые и стационарные (кроме центральных) радиостанции должны быть рассчитаны для длительной работы при соотношении времени «Прием» — «Передача» 3:1, при этом допустимая продолжительность непрерывной работы в режиме передачи должна быть не менее 15 мин.

Конкретную продолжительность непрерывной работы носимых, возимых и стационарных (в том числе центральных) радиостанций при их

испытании в режиме передачи устанавливаются в ТУ на радиостанции конкретного типа.

12. Для обеспечения требуемой настройки передатчика в условиях эксплуатации в радиостанциях должна быть предусмотрена возможность неоперативной корректировки частоты возбуждителей и гетеродинов при техническом обслуживании радиостанций.

13. Обрыв или короткое замыкание в антенно-фидерном тракте не должны приводить к повреждению передатчика при его работе.

14. По требованиям к разборчивости речи радиостанции должны соответствовать ГОСТ 16600-72. Класс качества по разборчивости речи устанавливается в ТУ на радиостанции конкретного типа:

- номинальное напряжение — при питании радиостанции от источника переменного тока;
- номинальное напряжение, увеличенное на 10 %, — при питании радиостанций от аккумуляторов, которые заряжаются во время их эксплуатации;

— напряжение, установленное в ТУ на радиостанции конкретного типа, — при питании радиостанции от аккумуляторов, которые не заряжаются во время их эксплуатации, и от других источников тока.

Методы измерений. Общие положения

Параметры радиостанций (см. табл. 28.2) измеряют в нормальных климатических условиях при стандартных испытательных напряжениях электропитания с допустимым отклонением не более ± 2 %.

Нормальными климатическими условиями являются:

- температура окружающего воздуха от 288 до 308 К (от 15 до 35 °С);
- относительная влажность от 45 до 75 %;
- атмосферное давление от $0,86 \cdot 10^5$ до $1,06 \cdot 10^5$ Па (от 650 до 800 мм рт. ст.).

Измерение параметров передатчиков

1. Измерение мощности несущей передатчика

Аппаратуру подключают согласно рис. 28.1. Передатчик не модулируют. Мощность несущей измеряют высокочастотным ваттметром, подключенным к антенному выходу передатчика.

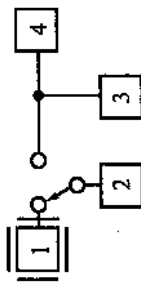


Рис. 28.1. Схема подключения:

1 — передатчик; 2 — высокочастотный ваттметр; 3 — высокочастотный вольтметр; 4 — испытательная нагрузка передатчика

Допускается мощность несущей измерять косвенным методом при обеспечении необходимой точности измерения путем измерения напряжения на испытательной нагрузке. В этом случае мощность несущей вычисляют в ваттах по формуле

$$P_H = \frac{U_H^2}{R},$$

где U_H — напряжение несущей,

R — сопротивление испытательной нагрузки, Ом.

Если в радиостанциях предусмотрен синтезатор частоты, обеспечивающий возможность настройки на рабочие частоты в данном диапазоне частот, мощность несущей допускается измерять только в начале, середине и в конце диапазона частот.

2. Измерение коэффициента нелинейных искажений передатчика

Аппаратуру подключают согласно рис. 28.2.

На модуляционный вход передатчика подают нормальный модулирующий сигнал с уровнем, при котором девиация частоты равна стандартной испытательной девиации.

Измеряют коэффициент нелинейных искажений измерителем нелинейных искажений.

3. Измерение отклонения АЧМ передатчика от характеристики с предкоррекцией 6 дБ/октава

Аппаратуру подключают согласно рис. 28.3.

На модуляционный вход передатчика подают нормальный модулирующий сигнал с уровнем, при котором девиация частоты D_1 равна 0,2 максимальной допустимой девиации (1 кГц).

Поддерживая постоянным уровень входного сигнала, изменяют его частоту в пределах 0,3...3,4 кГц и измеряют девиацию частоты D .

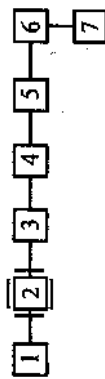


Рис. 28.2. Схема подключения: 1 — низкочастотный генератор сигналов; 2 — передатчик; 3 — испытательная нагрузка передатчика; 4 — измеритель девиации частоты; 5 — низкочастотный полочный фильтр; 6 — интегрирующее устройство; 7 — измеритель нелинейных искажений



Рис. 28.3. Схема подключения: 1 — низкочастотный генератор сигналов; 2 — передатчик; 3 — испытательная нагрузка передатчика; 4 — измеритель девиации частоты

Результаты измерения вычисляются в децибелах относительно девиации D_1 на частоте 1000 Гц по формуле

$$N = 20 \lg \frac{D_1}{D_2}$$

Отклонение измеренной АЧМХ от характеристики с предкоррекцией 6 дБ/октава определяют как разность между полученным значением и стандартным значением $N_{ст}$, указанным в табл. 28.3.

Таблица 28.3

Частота модуляции, Гц	300	500	1000	2000	3000	3400
$N_{ст}$, дБ	-10,4	-6,0	0	+6,0	+9,6	+10,6

Для повышения точности измерений допускается проводить измерение на частотах от 300 до 1000 Гц после предварительной установки на частоте 1000 Гц стандартной испытательной девиации частоты.

4. Измерение максимальной девиации частоты передатчика

Аппаратуру подключают к передатчику согласно рис. 28.3. На модуляционный вход передатчика подают нормальный модулирующий сигнал и определяют уровень, при котором девиация частоты равна стандартной испытательной девиации. Увеличивают полученный уровень входного сигнала на 10 дБ. Поддерживая уровень модулирующего сигнала постоянным, изменяют его частоту от 300 до 3400 Гц и измеряют девиацию частоты передатчика. Максимальную девиацию частоты передатчика определяют как наибольшее значение девиации, полученное в данном диапазоне звуковых частот.

5. Измерение девиации частоты передатчика при модулирующих частотах 5, 10 и 20 кГц

Аппаратуру подключают к передатчику согласно рис. 28.3. На модуляционный вход передатчика подают нормальный модулирующий сигнал с уровнем, при котором девиация частоты равна стандартной испытательной девиации.

Поддерживая уровень модулирующего сигнала постоянным, устанавливают его частоту 5, 10 и 20 кГц и измеряют девиацию частоты измерителем девиации.

6. Измерение уровня паразитной частотной модуляции передатчика

Аппаратуру подключают согласно рис. 28.4.

В необходимых случаях отключают микрофон передатчика, при этом к модуляционному входу вместо микрофона подключают его эквивалент R_3 .

На модуляционный вход передатчика подают нормальный модулирующий сигнал с уровнем, при котором девиация частоты равна стандартной испытательной девиации. Измеряют напряжение U_1 на выходе полосового фильтра. Выключают модулирующий сигнал и измеряют напряжение U_2 на выходе полосового фильтра.

Уровень паразитной частотной модуляции L_u вычисляют в децибелах по формуле

$$L_u = 20 \lg \frac{U_2}{U_1}$$

7. Измерение паразитной амплитудной модуляции передатчика

Аппаратуру подключают согласно рис. 28.5.

На модуляционный вход передатчика подают нормальный модулирующий сигнал с уровнем, при котором девиация частоты равна стандартной испытательной девиации. Увеличивают уровень входного сигнала на 10 дБ. Измеряют коэффициент амплитудной модуляции.

Если разрешающая способность измерителя амплитудной модуляции недостаточна для измерения малых коэффициентов модуляции, измерения проводят при помощи низкочастотного вольтметра, подключенного к выходу измерителя амплитудной модуляции и прокалиброванного в единицах коэффициента амплитудной модуляции. В этом случае между выходом измерителя амплитудной модуляции и вольтметром должен быть включен низкочастотный полосовой фильтр. Для калибровки вольтметра к измерителю амплитудной модуляции подключают высокочастотный генератор сигналов с амплитудной модуляцией.



Рис. 28.4. Схема подключения:

1 — низкочастотный генератор сигналов; 2 — передатчик; 3 — испытательная нагрузка передатчика; 4 — измеритель девиации частоты; 5 — низкочастотный полосовой фильтр; 6 — измеритель амплитудной модуляции



Рис. 28.5. Схема подключения:

1 — низкочастотный генератор сигналов; 2 — передатчик; 3 — испытательная нагрузка передатчика; 4 — измеритель коэффициента амплитудной модуляции

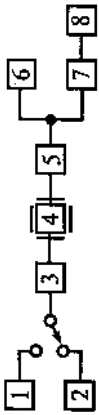


Рис. 28.6. Схема подключения:

- 1 — генератор шумовых сигналов; 2 — низкочастотный генератор сигналов;
- 3 — формирующий фильтр; 4 — передатчик; 5 — испытательная нагрузка
- 6 — анализатор спектра;
- 7 — измеритель частотной модуляции;
- 8 — низкочастотный вольтметр

Полосу рабочих частот генератора шумовых сигналов устанавливают от 20 Гц до 20 кГц.

Ширину полосы спектра измеряют при полосе пропускания спектра от 30 до 150 Гц на уровне минус 3 дБ, времени развертки не менее 10 с и постоянной времени последовательной цепи анализатора спектра 0,05 с.

На модуляционный вход передатчика подают нормальный модулирующий сигнал с уровнем, превышающим на 10 дБ уровень, при котором девиация частоты передатчика равна стандартной испытательной модуляции. Измеряют уровень сигнала на выходе измерителя девиации. Вместо низкочастотного генератора к передатчику подключают генератор шумовых сигналов. Устанавливают уровень шумового сигнала та-ким, при котором напряжение на выходе девиометра равно 0,47 значения, полученного ранее.

Устанавливают нулевой уровень шумового спектра на экране анализатора спектра в пределах боковой полосы частот (без учета несущей) как наибольшее значение огибающей спектра из числа не менее пяти последовательных реализаций (рис. 28.7).

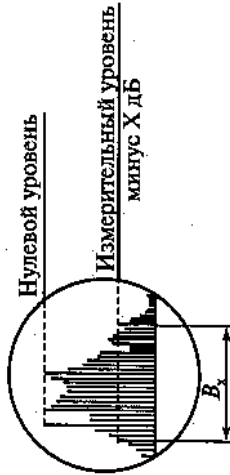


Рис. 28.7. Измерение ширины полосы частот измерения передатчика:

B_x — ширина полосы излучения на уровне минус X дБ

8. Измерение ширины полосы частот излучения передатчика

Аппаратуру подключают согласно рис. 28.6.

В необходимых случаях между формирующим фильтром и передатчиком включают согласующий четырехполосник.

Полосу рабочих частот генератора шумовых сигналов устанавливают от 20 Гц до 20 кГц.

Ширину полосы спектра измеряют при полосе пропускания спектра от 30 до 150 Гц на уровне минус 3 дБ, времени развертки не менее 10 с и постоянной времени последовательной цепи анализатора спектра 0,05 с.

На модуляционный вход передатчика подают нормальный модулирующий сигнал с уровнем, превышающим на 10 дБ уровень, при котором девиация частоты передатчика равна стандартной испытательной модуляции. Измеряют уровень сигнала на выходе измерителя девиации. Вместо низкочастотного генератора к передатчику подключают генератор шумовых сигналов. Устанавливают уровень шумового сигнала та-ким, при котором напряжение на выходе девиометра равно 0,47 значения, полученного ранее.

Устанавливают нулевой уровень шумового спектра на экране анализатора спектра в пределах боковой полосы частот (без учета несущей) как наибольшее значение огибающей спектра из числа не менее пяти последовательных реализаций (рис. 28.7).

Ширину полосы частот излучения передатчика измеряют на уровнях -30, -40, -50 и -60 дБ.

Нижнее значение измерительного уровня определяют возможностями используемого стандартного анализатора спектра.

Установку нулевого уровня и измерение ширины полосы частот излучения производят

при одних и тех же параметрах анализатора спектра (после пропускания на уровне минус 3 дБ, времени развертки и постоянной времени).

За ширину полосы частот излучения принимают наибольшее значение из чисел не менее пяти последовательных реальных измерений спектра.

Примечание. Измеренные значения ширины полосы частот излучения не должны превышать значения, установленные в табл. 28.2, п. 8, более чем на 20 %.

9. Измерение уровня излучения передатчика в соседнем канале

Аппаратуру подключают согласно рис. 28.8.

На модуляционный вход передатчика подают сигнал частотой 1250 Гц и уровнем, при котором девиация частоты равна стандартной испытательной девиации.

Увеличивают полученный уровень входного сигнала на 10 дБ. Настраивают измерительный приемник на номинальную частоту одного из соседних каналов. Устанавливают ослабление аттенюатора измерительного приемника, равное значению b_1 , при котором показание вольтметра измерительного приемника превышает уровень его собственного шума не менее чем на 10 дБ.

Настраивают измерительный приемник на частоту несущей передатчика. Определяют новое значение ослабления аттенюатора b_2 , при котором показание вольтметра измерительного приемника равно значению, полученному при предыдущем измерении.

Измерение повторяют при настройке измерительного приемника на номинальную частоту другого соседнего канала.

Отмечают значение мощности несущей.

Уровень излучения передатчика в соседнем канале P_c вычисляют в децибелах относительно мощности несущей по формуле

$$P_c = b_1 - b_2,$$

где b_1 и b_2 — значения ослабления аттенюатора, дБ, или в ваттах по формуле

$$P_c (\text{дБ}) = \frac{P_c (\text{Вт})}{10^{-10}}$$

где P_H — мощность несущей, Вт.

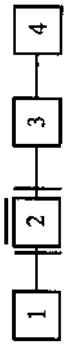


Рис. 28.8. Схема подключения:

- 1 — низкочастотный генератор сигналов; 2 — передатчик; 3 — испытательная нагрузка
- 4 — измерительный приемник

9. Измерение уровня излучения передатчика в соседнем канале

Аппаратуру подключают согласно рис. 28.8.

На модуляционный вход передатчика подают сигнал частотой 1250 Гц и уровнем, при котором девиация частоты равна стандартной испытательной девиации.

Увеличивают полученный уровень входного сигнала на 10 дБ. Настраивают измерительный приемник на номинальную частоту одного из соседних каналов. Устанавливают ослабление аттенюатора измерительного приемника, равное значению b_1 , при котором показание вольтметра измерительного приемника превышает уровень его собственного шума не менее чем на 10 дБ.

Настраивают измерительный приемник на частоту несущей передатчика. Определяют новое значение ослабления аттенюатора b_2 , при котором показание вольтметра измерительного приемника равно значению, полученному при предыдущем измерении.

Измерение повторяют при настройке измерительного приемника на номинальную частоту другого соседнего канала.

Отмечают значение мощности несущей.

Уровень излучения передатчика в соседнем канале P_c вычисляют в децибелах относительно мощности несущей по формуле

$$P_c = b_1 - b_2,$$

где b_1 и b_2 — значения ослабления аттенюатора, дБ, или в ваттах по формуле

$$P_c (\text{дБ}) = \frac{P_c (\text{Вт})}{10^{-10}}$$

где P_H — мощность несущей, Вт.

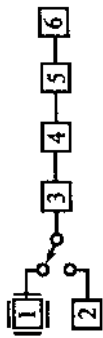


Рис. 28.9. Схема подключения:

1 — передатчик; 2 — высоко-частотный генератор сигналов; 3 — испытательная нагрузка; 4 — аттенуатор; 5 — режекторный фильтр; 6 — измерительный приемник

Вместо измерительного приемника допускается использовать высокочастотный анализатор спектра.

Режекторный фильтр настраивают на максимальное подавление несущей передатчика.

В испытательной нагрузке измеряют следующие побочные излучения: — на гармониках — излучения на частотах, являющихся целыми кратными частоты несущей; — комбинационные — излучения, которые появляются в результате взаимной модуляции между колебаниями на несущей частоте, частотах, формирующих несущую, и их гармониках; — паразитные — излучения на частотах, не зависящих от частоты несущей и от частот, формирующих ее.

Измерения проводят в диапазоне частот, указанном в ТУ на радиостанции конкретного типа, от самой низкой до самой высокой частоты, имеющих место в процессе формирования несущей, но не ниже третьей гармоники частоты несущей передатчика. При этом измерение допускается проводить до верхней частоты, не превышающей 1000 МГц, если отсутствуют стандартные измерительные приемники с возможностью измерения в диапазоне частот выше 1000 МГц.

При необходимости получения предварительных данных о побочных излучениях передатчика перед началом измерений проверяют соответствующую полосу частот широкополосным (панорамным) анализатором спектра.

Уровень побочных излучений измеряют методом замещения на со-противлении R испытательной нагрузки.

Передатчик не модулируют. Измеряют мощность несущей в ис-пытательной нагрузке.

Примечание. При отсутствии стандартного измерительного приемника метод измерения уровня излучения передатчика в соседнем канале устанавливают в ТУ на радиостанции кон-кретного типа.

10. Измерение уровня побочных излучений передатчика

Аппаратуру подключают согласно рис. 28.9.

Измерительный приемник, режекторный фильтр и аттенуатор в необходимых случаях размещают в экранированной камере.

Вместо измерительного приемника допускается использовать высокочастотный анализатор спектра.

Режекторный фильтр настраивают на максимальное подавление несущей передатчика.

В испытательной нагрузке измеряют следующие побочные излучения: — на гармониках — излучения на частотах, являющихся целыми кратными частоты несущей; — комбинационные — излучения, которые появляются в результате взаимной модуляции между колебаниями на несущей частоте, частотах, формирующих несущую, и их гармониках; — паразитные — излучения на частотах, не зависящих от частоты несущей и от частот, формирующих ее.

Измерения проводят в диапазоне частот, указанном в ТУ на радиостанции конкретного типа, от самой низкой до самой высокой частоты, имеющих место в процессе формирования несущей, но не ниже третьей гармоники частоты несущей передатчика. При этом измерение допускается проводить до верхней частоты, не превышающей 1000 МГц, если отсутствуют стандартные измерительные приемники с возможностью измерения в диапазоне частот выше 1000 МГц.

При необходимости получения предварительных данных о побочных излучениях передатчика перед началом измерений проверяют соответствующую полосу частот широкополосным (панорамным) анализатором спектра.

Уровень побочных излучений измеряют методом замещения на со-противлении R испытательной нагрузки.

Передатчик не модулируют. Измеряют мощность несущей в ис-пытательной нагрузке.

Режекторный фильтр, если он используется, настраивают так, чтобы подавление несущей передатчика было максимальным.

Измерительный приемник настраивают на частоты измеряемых по-бочных излучений и отмечают его показания.

Вместо передатчика к сопротивлению R_s нагрузки подключают ге-нератор сигналов, который настраивают на частоты побочных излуче-ний и регулируют до получения ранее отмеченных показаний измери-тельного приемника. В этом случае показание калиброванного аттено-атора генератора сигналов равно напряжению соответствующего побоч-ного излучения.

Уровень побочных излучений вычисляют в ваттах P_n по формуле

$$P_n = \frac{U^2}{R}$$

или в децибелах L_n по формуле

$$L_n = 10 \lg \frac{P_n}{P_n}$$

где U_n — напряжение побочного излучения, В;
 P_n — мощность несущей передатчика.

11. Измерение отклонения частоты передатчика от номинального зна-чения

Аппаратуру подключают согласно рис. 28.10.

Передатчик не модулируют. Измеряют частоту несущей передатчика. Определяют наибольшее отклонение частоты передатчика от номиналь-ного значения в килогерцах или в миллионных долях.

При измерении отклонения частоты передатчика от номинального значения в условиях воздействия климатических факторов перед началом проведения климати-ческих испытаний допускается проводить под-стройку частоты передатчика до номинального значения регулятором неоперативной подстрой-ки частоты.

12. Измерение чувствительности модуляцион-ного входа передатчика

Аппаратуру подключают согласно рис. 28.3.



Рис. 28.10. Схема подключения:

1 — передатчик; 2 — ис-пытательная нагрузка пе-редатчика; 3 — высоко-частотный частотомер

На модуляционный вход передатчика подают нормальный модулирующий сигнал и измеряют девиацию частоты.

Чувствительность модуляционного входа определяют как уровень входного сигнала, выраженный в ЭДС, при котором девиация частоты передатчика равна стандартной испытательной девиации.

Измерение параметров приемников

1. Измерение чувствительности приемника

Аппаратуру подключают согласно рис. 28.11.

На вход приемника подают стандартный испытательный сигнал. Регулятором громкости устанавливают испытательную мощность на выходе приемника.

Не изменяя положения регулятора громкости, уменьшают уровень входного сигнала и измеряют отношение сигнал/шум на выходе приемника.

Чувствительность приемника определяют как уровень, равный 1/2 ЭДС генератора сигналов, при котором отношение сигнал/шум равно 12 дБ.

Если при данном отношении сигнал/шум выходная мощность приемника оказывается ниже выходной мощности, равной 0,5 испытательной выходной мощности, то за чувствительность приемника принимают минимальный уровень, равный 1/2 ЭДС генератора сигналов, при котором выходная мощность приемника равна 0,5 испытательной выходной мощности.

В многоканальных радиостанциях с синтезатором частоты допускается проводить измерения только в начале, середине и в конце диапазона частот радиостанции. В других многоканальных радиостанциях измерения проводят на каждом рабочем канале.

2. Измерение изменения чувствительности приемника при отклонении частоты входного сигнала

Аппаратуру подключают согласно рис. 28.11.

Измеряют чувствительность приемника U_1 . Увеличивают частоту входного сигнала от носителя номинального значения на значение, равное допустимому отклонению частоты передатчика, указанному в табл. 28.2.

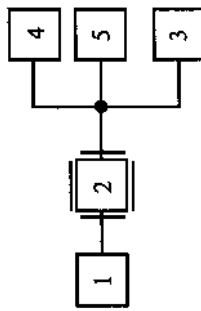


Рис. 28.11. Схема подключения:

1 — высокочастотный генератор сигналов; 2 — приемник; 3 — испытательная нагрузка приемника; 4 — низкочастотный вольтметр; 5 — измеритель нелинейных искажений

Увеличивают уровень входного сигнала до значения U_2 , при котором отношение сигнал/шум на выходе приемника равно 12 дБ.

Повторяют измерение при уменьшении частоты входного сигнала на указанное значение и определяют новое значение уровня входного сигнала, при котором отношение сигнал/шум на выходе приемника равно 12 дБ.

Изменение чувствительности приемника G при данном отклонении частот входного сигнала вычисляют в децибелах по формуле

$$G = 20 \lg \frac{U_2}{U_1}$$

При измерении изменения чувствительности приемника в условиях воздействия климатических факторов перед началом проведения климатических испытаний допускается проводить подстройку частоты приемника до номинального значения при помощи органов неоперативной подстройки частоты согласно п. 3.1.1.12.

3. Измерение коэффициента нелинейных искажений приемника

Аппаратуру подключают согласно рис. 28.11.

На вход приемника подают стандартный испытательный сигнал. При помощи регулятора громкости устанавливают номинальную мощность на выходе приемника. Коэффициент нелинейных искажений измеряют при помощи измерителя нелинейных искажений.

4. Измерение уровня фона приемника

Аппаратуру подключают согласно рис. 28.12.

На вход приемника подают стандартный испытательный сигнал.

При помощи регулятора громкости устанавливают испытательную выходную мощность на выходе приемника. Измеряют выходное напряжение приемника U_1 . Выключают модуляцию генератора сигналов и измеряют остаточное выходное напряжение U_2 .

Уровень фона L_{Φ} приемника вычисляют в децибелах по формуле

$$L_{\Phi} = 20 \lg \frac{U_2}{U_1}$$

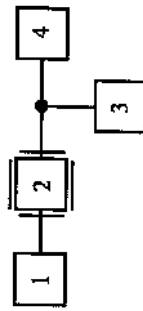


Рис. 28.12. Схема подключения:

1 — высокочастотный генератор сигналов; 2 — приемник; 3 — испытательная нагрузка приемника; 4 — низкочастотный вольтметр

5. Измерение отклонения АЧХ приемника от характеристики с поправкой минус 6 дБ/октава

Аппаратуру подключают согласно рис. 28.12.

На вход приемника подают стандартный испытательный сигнал. При помощи регулятора громкости устанавливают испытательную мощность на выходе приемника.

Уменьшают девиацию частоты входного сигнала до 20 % максимальной допустимой девиации и измеряют напряжение U_1 на выходе приемника.

Поддерживая девиацию частоты входного сигнала постоянной, изменяют частоту модуляции низкочастотного генератора и измеряют напряжение U на выходе приемника.

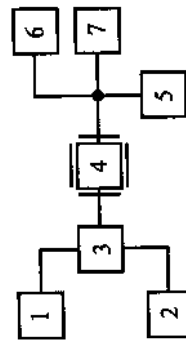
Измеренные значения напряжения выражают в децибелах относительно выходного напряжения на частоте 1000 Гц;

$$N_{\text{пр}} = 20 \lg \frac{U}{U_1}$$

Отклонение измеренной АЧХ от характеристики после коррекции минус 6 дБ/октава вычисляют как разность между полученным значением N и стандартным значением $N_{\text{ст}}$ указанным в табл. 28.4.

Таблица 28.4

Частота модуляции, Гц	300	500	1000	2000	3000	3400
$N_{\text{ст}}$ дБ	+10,4	+6,0	0	-6,0	-9,6	-10,6



6. Измерение избирательности приемника по соседнему каналу

Аппаратуру подключают согласно рис. 28.13.

На вход приемника от одного генератора при отсутствии мешающего сигнала от второго генератора подают нормальный испытательный сигнал и устанавливают уровень U_1 при котором отношение сигнал/шум на выходе приемника равно 12 дБ. Увеличивают уровень входного сигнала на 3 дБ.

Рис. 28.13. Схема подключения: 1, 2 — высокочастотные генераторы сигналов; 3 — согласующее устройство 1-го типа; 4 — приемник; 5 — испытательная нагрузка приемника; 6 — низкочастотный вольтметр; 7 — измеритель нелинейных искажений

Затем от второго генератора, настроенного на номинальную частоту одного из соседних каналов, подают мешающий сигнал, модулированный сигналом частотой 400 Гц с девиацией, равной 0,6 максимальной допустимой девиации. Увеличивают уровень мешающего сигнала до значения U_2 , при котором отношение сигнал/шум на выходе приемника становится равным прежнему значению, т.е. 12 дБ.

Измерение повторяют при настройке генератора мешающего сигнала на номинальную частоту другого соседнего канала.

Избирательность приемника по соседнему каналу S_c вычисляют в децибелах по формуле

$$S_c = 20 \lg \frac{U_2}{U_1}$$

7. Измерение избирательности приемника по побочным каналам приема

Аппаратуру подключают согласно рис. 28.13.

В необходимых случаях, указанных в ТУ на радиостанции конкретного типа, к антенному входу приемника подключают аттенуатор с ослаблением не менее 10 дБ для исключения рассогласования в измерительном тракте на частотах измерения.

На вход приемника от одного генератора при отсутствии мешающего сигнала от второго генератора подают нормальный испытательный сигнал, уровень которого устанавливают равным значению U_1 , при котором отношение сигнал/шум на выходе приемника, измеренное при испытательной выходной мощности, равно 12 дБ. Увеличивают уровень входного сигнала на 3 дБ.

Затем от второго генератора подают мешающий сигнал, модулированный сигналом частоты 400 Гц с девиацией, равной 0,6 максимальной допустимой девиации. Увеличивают уровень сигнала второго генератора до значения, необходимого для обнаружения побочных каналов (на 10...20 дБ выше нормы избирательности). Изменяют частоту второго генератора непрерывно в диапазоне частот, указанном в ТУ на радиостанции конкретного типа, от наименьшей промежуточной частоты, применяемой в приемнике, до утроенного значения номинальной частоты приемника или частоты соответствующего зеркального канала, если она выше этого утроенного значения, и находят побочные каналы, в том числе:

— каналы на каждой промежуточной частоте $f_{\text{пр}}$:

- зеркальные каналы на частотах $f_{зер} = f_c \pm 2f_{пр}$;
- каналы на частотах $f_c \pm f_{пр}/2$;
- другие возможные побочные каналы на частотах

$$f_n = \pm \frac{m}{n} f_{з.г} \pm \frac{l}{n} f_{пр},$$

где $f_{з.г}$ — частота задающего генератора каждого гетеродина приемника;

$m = 0, 1, 2, \dots; n = 1, 2, \dots$;

f_c — частота полезного сигнала.

На побочном канале подстраивают частоту второго генератора так, чтобы побочный канал проявлялся в наибольшей степени. Определяют уровень мешающего сигнала U_2 , при котором отношение сигнал/шум на выходе приемника становится равным прежнему значению, т.е. 12 дБ.

Избирательность приемника по побочному каналу S_n вычисляют в децибелах по формуле

$$S_n = 20 \lg \frac{U_2}{U_1}.$$

Побочные каналы, являющиеся следствием наличия гармоник выходного сигнала второго генератора, не учитывают. В необходимых случаях эти гармоники исключают, используя соответствующие фильтры.

Примечания: 1. Измеренные значения избирательности приемника по побочным каналам допускаются ниже значений, указанных в п. 18 табл. 28.2, не более чем для двух побочных каналов на любой рабочей частоте.

2. При измерении избирательности приемника по побочным каналам допускается не модулировать частоту второго генератора сигналами в диапазоне частот выше 500 МГц.

8. Измерение интермодуляционной избирательности приемника

Аппаратуру подключают согласно рис. 28.14.

На вход приемника от одного генератора (при отсутствии мешающих сигналов от второго и третьего генераторов) подают нормальный испытательный сигнал и устанавливают уровень U_1 , при котором отношение сигнал/шум равно 12 дБ. Увеличивают уровень входного сигнала на 3 дБ.

Включают немодулированные мешающие сигналы от второго и третьего генераторов, установив частоту второго генератора выше номи-

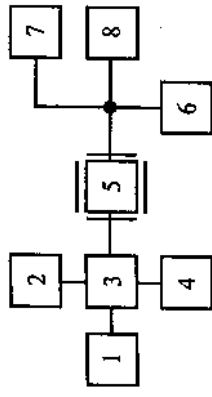


Рис. 28.14. Схема подключения.

1, 2, 4 — высокочастотные генераторы сигналов; 3 — согласующее устройство 2-го типа; 5 — приемник; 6 — испытательная нагрузка приемника; 7 — низкочастотный вольтметр переменного тока; 8 — измеритель нелинейных искажений

Определяют уровень сигнала U_2 от второго или третьего генератора, при котором отношение сигнал/шум снова становится равным 12 дБ.

Измерения повторяют при установке частоты мешающих сигналов от второго и третьего генераторов ниже номинальной частоты приемника соответственно на два и четыре разности между соседними каналами.

Интермодуляционную избирательность приемника S_n вычисляют в децибелах по формуле

$$S_n = 20 \lg \frac{U_2}{U_1}.$$

Если при измерениях взаимная модуляция между генераторами мешающих сигналов оказывает влияние на результаты измерений, то принимают меры для устранения этого влияния, например, путем увеличения развязки между генераторами сигналов.

28.2. Диагностика радиоаппаратуры

Под диагностикой понимают методику поиска неисправностей в аппаратуре. Существующие методы диагностики (поиска неисправности) можно разделить на три группы: последовательный, комбинационный, комбинационно-последовательный.

При последовательном методе диагностирования состояния объекта поиск производится поочередно по контрольным точкам РЭС, выб-

ранным по определенному критерию; последовательный метод постепенно приближает нас к отказавшему элементу. Программа поиска, определяемая выбранным критерием, может быть жесткой (неизменяемой в результате контроля) и гибкой (изменяемой по результатам контроля).

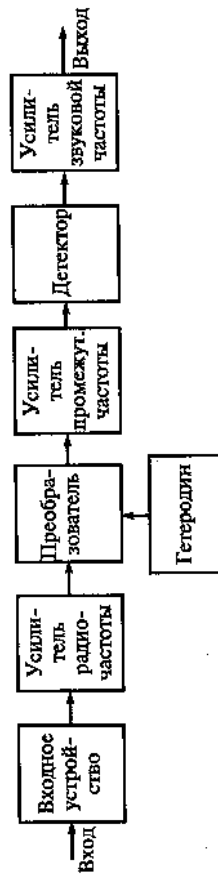
Комбинационный метод предусматривает определение места отказа по совокупности измеренных параметров во всех контрольных точках. Такой метод требует значительного времени и полного комплекта измерительной аппаратуры. Наиболее часто он применяется к системам, не имеющим достаточно подробно контролируемых точек, например к комбинированным микросхемам.

Комбинационно-последовательный метод занимает промежуточное место между последовательным и комбинационным методами и предусматривает последовательную обработку результатов комбинационного контроля, проведенного для отдельных участков РЭС.

Рассмотрим алгоритмы поиска неисправности для последовательного метода диагностики.

1. Способ последовательного функционального анализа

Алгоритм этого способа определяют исходя из контроля основной функции РЭС чаще всего выходной величины. Последовательный опрос контрольных точек с выхода системы к ее входу приводит к определению поврежденного функционального элемента. Главная проблема способа состоит в подробном расчленении общей схемы РЭС на функциональные элементы. Так, например, радиоприемное устройство супергетеродинного типа имеет обобщенную функциональную схему:



Эту схему можно разложить на более подробные функциональные элементы:

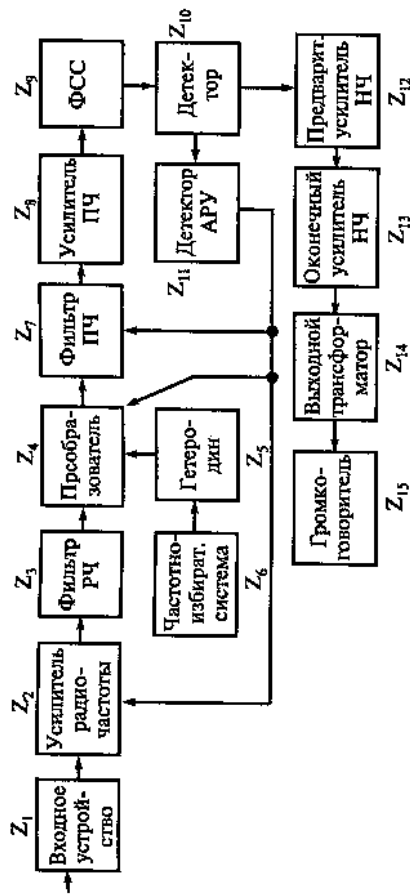
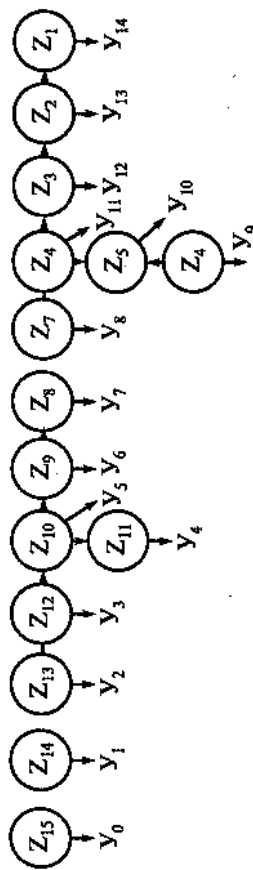


Схема поиска неисправностей при последовательном функциональном анализе:



Полученную схему поиска неисправностей называют деревом функций, а решения представляют в виде матрицы:

- Y_0 — радиоприемник исправен;
- Y_1 — неисправен динамик;
- Y_2 — неисправен выходной трансформатор;
- Y_3 — неисправен оконечный усилитель;
- Y_4 — неисправен предварительный усилитель звуковой части;
- Y_5 — неисправен детектор АРУ;
- Y_6 — неисправен детектор;
- Y_7 — неисправен ФСС;
- Y_8 — неисправен усилитель промежуточной частоты;
- Y_9 — неисправен фильтр преобразователя;
- Y_{10} — неисправен контур гетеродина;
- Y_{11} — неисправен гетеродин;

- U_{12} — неисправен преобразователь частоты;
- U_{13} — неисправен фильтр радиочастоты;
- U_{14} — неисправен усилитель радиочастоты;

Алгоритм поиска неисправностей способом последовательного функционального анализа прост, нагляден, требует минимальной априорной информации от диагностируемой аппаратуры, однако он не оптимален ни по времени, ни по затратам.

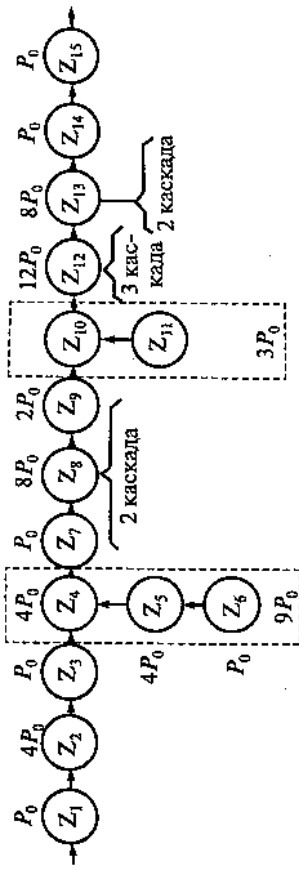
2. Способ половинного разбиения (дихотомии)

Применяется чаще всего тогда, когда РЭС можно представить последовательным набором функциональных элементов. Суть метода заключается в том, что с учетом вероятности выхода из строя функциональных элементов структура РЭС разделяется на две близкие по вероятности отказа части ($P_{отк} \approx 0,5$) и в точке раздела проводится первый контроль. По результатам контроля выясняется, в какой из половин разбиения РЭС произошел отказ; выделенную половину структуры РЭС также делят на две части с примерно равными вероятностями отката и в средней точке производят контроль. По результатам последнего контроля в части РЭС, где отмечен отказ, снова проводят деление пополам (с учетом примерного равенства вероятностей отката), и так до окончательного определения отказавшего элемента. Продолжим рассмотрение радиоприемного устройства. Отметим, что полная вероятность отказавшего устройства равна единице, $P = 1$. Сумма вероятностей отказов функциональных элементов равна единице, $PS = \sum P_i = 1$.

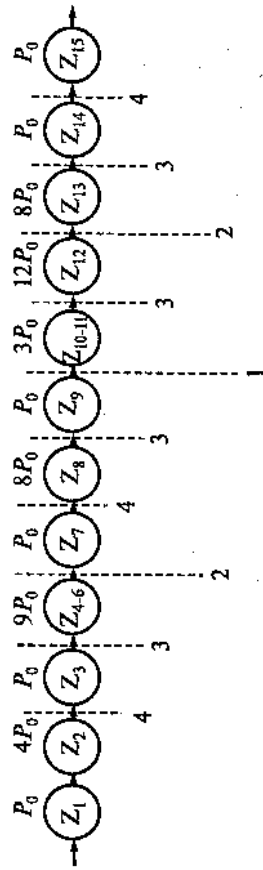
Вероятности отказов зависят от деталей и узлов, входящих в функциональный элемент. Рассмотрим два случая.

Случай 1. Распределение вероятностей отказов по отдельным элементам производим с учетом предварительного условия: вероятность отката каскада с активным элементом вдвое — вероятность отката дивергентной схемы и в четыре раза — вероятность отката пассивного элемента (например, фильтра). $P_a = 4P_0$, $P_g = 2P_0$, $P_{пз} = P_0$, P_0 — вероятность отката пассивного элемента. Такое условие весьма приблизительно и определено только для учебных целей. Реальное распределение вероятностей отказов следует находить по статистическим данным элементов, входящих в функциональный узел.

Составим функциональную схему приемного устройства с учетом распределения вероятностей отказов:



Объединим элементы Z_4, Z_5, Z_6 и Z_{10}, Z_{11} :



Определим значение $P_0 = 1 / \sum_{i=1}^{15} Z_i(P_0) = 1/50$.

Первое деление приходится на участок с $P = 1/2 = 25/50$ ($P \approx 0,5$), контрольная точка может быть после Z_8 или Z_9 ($P = 24/50$ и $P = 25/50$ соответственно); так как $P = 25/50$ ближе к средней вероятности $0,5$, то первую контрольную точку выбираем после элемента Z_9 , т.е. между первым фильтром ФСС и детектором. Второй этап деления определит следующие точки контроля: $25/50:2 = 12/50$, это точки между Z_{4-6} и Z_7 ($P_{1-3} = 6/50$, $P_{4-7} = 10/50$) (не совсем пополам, но это уже определяется схемой устройства) и между Z_{12} и Z_{13} . Третий этап деления системы приводит нас к контрольным точкам между Z_3 и Z_4 ; Z_{4-6} и Z_8 ; Z_8 и Z_7 ; Z_{10} и Z_{11} . На этом этапе уже сложнее выдержать половинное равенство деления вероятностей отказов по различным функциональным элементам. Вместе с тем мы максимально быстро приблизились к отказавшему элементу.

Теперь схема алгоритма поиска неисправностей методом дихотомии выглядит так (контроль на выходах функциональных элементов):

3. Способ «время — вероятность»

Способ основан на учете не только вероятностей отказов функциональных элементов, но и необходимого времени контроля, которое стоит из времени доступа к контрольной точке t_g плюс время подготовки и подключения контрольно-измерительной аппаратуры t_n и времени анализа состояния контрольной точки t_a , т.е.:

$$t_{\Sigma} = t_g + t_n + t_a$$

Время анализа состояния t_a определяется временем переходного процесса измерительного прибора и обычно для радиочастот не превышает 1...3 с (в среднем 2 с).

Время подготовки и подключения контрольно-измерительных приборов t_n определяется временем приведения приборов в исходное состояние (обычно не превышает 10...20 с) и временем непосредственного подключения (3...5 с), т.е. $t_n = 15...25$ с (в среднем 20 с).

Время доступа к контрольной точке $t_g = 0$, если контрольная точка выведена на лицевую панель контролируемого прибора; $t_g = 5...10$ с, если контрольная точка выведена на заднюю или боковую панель прибора (в среднем 8 с). Намного сложнее, если для доступа к месту контроля приходится снимать кожух прибора (60 с) и отсоединять контрольную точку по монтажной схеме (30 с), тогда общее время доступа $t_g \approx 90$ с.

Итак, возможные значения времени контроля:

$t_{k1} = 22$ с — для контрольной точки на лицевой панели;

$t_{k2} = 30$ с — для контрольной точки на задней панели.

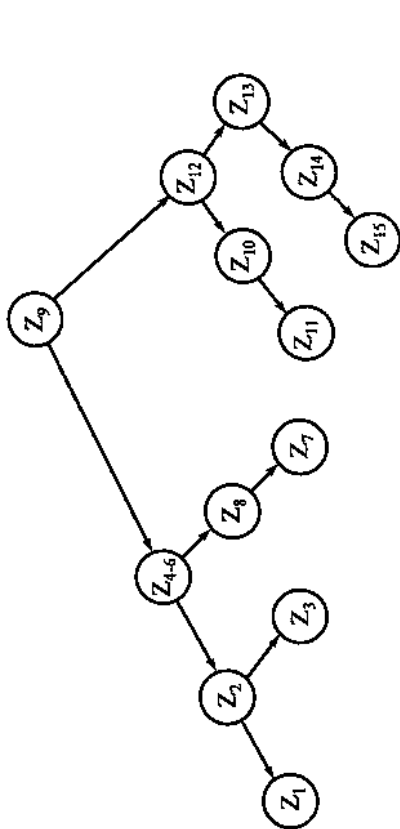
$t_{k3} = 100$ с — для контрольной точки внутри кожуха прибора.

Алгоритм поиска неисправностей строится исходя из соотношения P_k/t_k (вероятности отказа элемента ко времени контроля элемента).

Построив ряд $P_{k1}/t_{k1} > P_{k2}/t_{k2} > \dots > P_{kn}/t_{kn}$ по убывающим значениям, получим последовательность контроля аппаратуры.

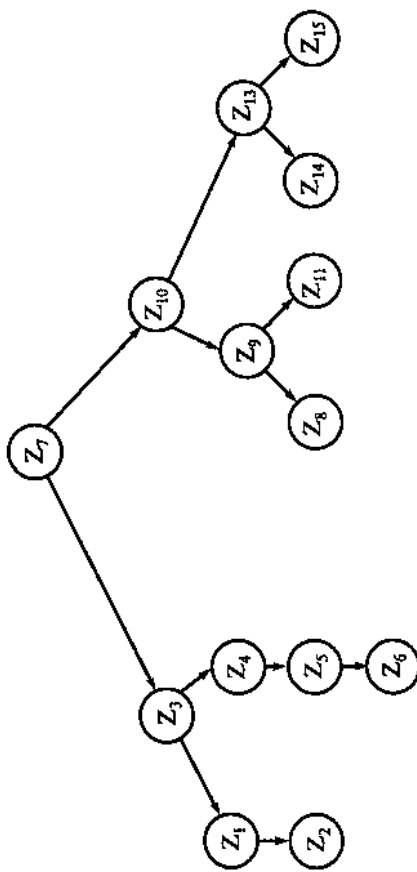
Так, для нашего случая поиска контроля радиоприемного устройства: внешние контрольные точки имеются на самом входе приемного и на входе предварительного усилителя звуковой частоты (на задней панели радиоприемного устройства), т.е. на выходе функционального элемента Z_{10} . Время контроля в этой точке составит 30 с; для всех остальных контрольных точек — 100 с.

Вероятность отказа: $Z_{12} = 12P_0$, $Z_{4-6} = 9P_0$, $Z_8 = Z_{13} = 8P_0$, $Z_2 = 4P_0$, $Z_{10-11} = 3P_0$, $Z_9 = 2P_0$, $Z_1 = Z_3 = Z_7 = Z_{14} = Z_{15} = P_0$, т.е. имеем соотношения:



Если, например, отказал усилитель промежуточной частоты Z_8 , то поиск такого отказа будет производиться по схеме: $Z_7 \rightarrow Z_{11} \rightarrow Z_8$. За три измерения будет найден отказавший элемент.

Случай 2. Рассмотренный алгоритм поиска неисправностей может быть существенно упрощен, если принять, что вероятности отказов равномерно распределены по всем функциональным элементам. Такой подход оправдан, если неизвестна принципиальная схема РЭС. Тогда, если считать, что вероятность отказа одного функционального элемента 1/15, алгоритм поиска неисправностей будет выглядеть так:



Теперь, отказавший элемент Z_8 (УПЧ) будет найден по следующей схеме: $Z_7 \rightarrow Z_{10} \rightarrow Z_9 \rightarrow Z_8$. Потребуется четыре контрольных замера для определения отказавшего функционального элемента.

Обозначение	Наименование	Краткая характеристика
ХЖ2.761.007	СТОР РС-46М-1	Обеспечивается проверка и ремонт приемопередаточных трактов, антенно-согласующих устройств и вторичных источников питания радиостанции РС-46М. Состав: стенд КИС РС-46М, стенд КИС АНСУ, универсальный стенд, комплект приборов
ХЖ2.761.007-01	СТОР РС-46М-2	Обеспечивается проверка и ремонт приемопередаточных трактов радиостанции РС-46М без возможности проверки и ремонта антенно-согласующих устройств и вторичных источников питания. Состав: стенд КИС РС-46М, комплект приборов
ХЖ2.761.007-02	СТОР РС-46М-3	Обеспечивается проверка и ремонт антенно-согласующих устройств радиостанции РС-46М без возможности проверки и ремонта приемопередаточных трактов и вторичных источников питания. Состав: стенд АНСУ, комплект приборов
ХЖ2.761.007-03	СТОР РС-46М-4	Обеспечивается проверка и ремонт вторичных источников питания радиостанции РС-46М без возможности проверки и ремонта приемопередаточных трактов и антенно-согласующих устройств. Состав: универсальный стенд, комплект приборов

Стенд КИС РС-46М предназначен для проверки параметров радиостанции РС-46М и настройки и ремонта блоков, входящих в ее состав. Стенд генерирует необходимые для проверки и ремонта радиостанции РС-46М низкочастотные сигналы, формирует посылки сигналов необходимой длительности для проверки устройства АГУ, имитирует сигналы распорядительной станции СР-234М при проверке устройства ППС, имитирует блок управления БУП при проверке режима управления постоянным током. Для проверки пультов управления (ПУС) в состав стенда КИС РС-46М входит эквивалент линии 15 км.

Режимы проверки вводятся с пульта ПУТ аналогично вводу параметров в конфигуратор радиостанции РС-46М. Результаты на конкретном этапе проверки выводятся на индикатор ПУТ.

Стенд КИС РС-46М позволяет производить проверку приемопередатчиков УПП1М, УПП1МВ, УПП2М, УПП2МВ. В состав стенда КИС РС-46М для проверки приемопередатчиков УПП входят нагрузки с КСВ = 1, КСВ = 2, КСВ = 4.

$$\left(\frac{Z_{12}}{t_{12}} = \frac{12P_0}{100} \right) > \left(\frac{Z_{10-11}}{t_{10-11}} = \frac{3P_0}{30} \right) > \left(\frac{Z_{4-6}}{t_{4-6}} = \frac{9P_0}{100} \right) > \left(\frac{Z_{4-6}}{t_{4-6}} = \frac{8P_0}{100} \right) > \left(\frac{Z_8}{t_8} = \frac{8P_0}{100} \right) > \left(\frac{Z_2}{t_2} = \frac{4P_0}{100} \right) > \left(\frac{Z_9}{t_9} = \frac{2P_0}{100} \right) > \left(\frac{Z_{15}}{t_{15}} = \frac{Z_{14}}{t_{14}} = \frac{Z_7}{t_7} = \frac{Z_3}{t_3} = \frac{Z_1}{t_1} = \frac{P_0}{100} \right)$$

При равенстве отношений в контрольных точках применим метод последовательного функционального анализа — с выхода по входу, т.е. определения последовательности контрольных точек сначала с большими номерами, затем с малыми. Тогда последовательность контроля определяется как



Для определения отказавшего элемента, в нашем примере (ИЧП) Z_8 , нужно произвести замеры: $Z_{12} \rightarrow Z_{10, 11} \rightarrow Z_{4, 6} \rightarrow Z_{13} \rightarrow Z_8$, т.е. произвести пять контрольных измерений.

28.3. Комплекс СТОР (система технического обслуживания и ремонта)

Для контроля, диагностики и ремонта радиостанций РС-46М Владимирский завод «Электроприбор» выпускает ремонтный комплекс СТОР РС-46М.

Комплекс СТОР РС-46М предназначен для выполнения технологических процессов по техническому обслуживанию и ремонту радиостанции РС-46М и входящих в ее состав блоков. Он устанавливается в помещениях контрольно-ремонтных пунктов радиосвязи (КРП) для обеспечения подразделений, занимающихся техническим обслуживанием и ремонтом радиостанций РС-46М.

Особенности вариантов исполнения сведены в табл. 28.5.

Условное обозначение комплекса — комплекс СТОР РС-46М ХЖ2.761.007.

В состав комплекса СТОР РС-46М входят: стенд КИС РС-46М ХЖ2.778.064; универсальный стенд ХЖ2.778.047; стенд КИС АНСУ ХЖ2.778.019.

При установке устройств УК ПУС, УК ПГС, УК УПП в серийную радиостанцию РС-46М с соответствующей заменой программного обеспечения возможна работа такой радиостанции в качестве стенда КИС РС-46М.

Стенд КИС РС-46М обеспечивает контроль основных параметров:

а) *тракт передачи радиоканала*: мощность несущей частоты, отклонение несущей частоты от номинального значения, коэффициент нелинейных искажений, отклонение амплитудно-частотной модуляционной характеристики от характеристики с предкоррекцией, проверка девиации частоты, чувствительность модуляционного входа тракта передачи радиоканала;

б) *тракт приема радиоканала*: чувствительность ПРМ, коэффициент нелинейных искажений, отклонение амплитудно-частотной модуляционной характеристики от характеристики с послекоррекцией, уровень напряжения выходного сигнала и уровень фона;

в) *тракт передачи дуплексного окончания*: уровни выходного сигнала, коэффициент нелинейного искажения, психометрическое напряжение собственных шумов;

г) *тракт приема дуплексного окончания*: эффективность работы АРУ, порог срабатывания АРУ, время восстановления АРУ, время сбывания АРУ;

д) *тракт приема/передачи для четырехпроводного окончания*: номинальные уровни входных и выходных сигналов, коэффициент нелинейных искажений;

е) *тракт передачи с пультами ПУС*: уровни выходного сигнала, наклон АЧХ-корректора, коэффициент нелинейных искажений, ток короткого замыкания;

ж) *тракт приема с пультов ПУС*: номинальный уровень сигнала, коэффициент нелинейных искажений;

з) *тракт формирования тональных частот в проводном и радиоканале* (устройство ПГС): номинальные частоты сигналов.

Стенд КИС РС-46М представляет собой центральный блок с набором кабелей. При проверке или ремонте кабели подключаются от стенда к внешним разъемам радиостанции РС-46М.

Ремонт и настройка блоков радиостанции РС-46М производится в составе стенда КИС РС-46М через ремонтные кабели.

Стенд выполнен в прочном металлическом исполнении, позволяющем устанавливать приборы или проверяемую станцию непосредственно на крышку стенда.

Температурный диапазон работы стенда $-10... +50$ °С.

Габаритные размеры стенда 520×70×280 мм. Масса 8 кг.

При работе со стендом КИС РС-46М используются стандартные измерительные приборы:

— вольтметр универсальный В7-58;

— генератор сигналов высокочастотный Г4-164;

— генератор сигналов низкочастотный ГЗ-118;

— измеритель модуляции вычислительный СКЗ-45;

— измеритель мощности МЗ-56;

— измеритель нелинейных искажений автоматический С6-11;

— источник питания постоянного тока Б5-71;

— милливольтметр ВЗ-38;

— осциллограф двухлучевой С1-127/1;

— псофометр П-323ИП;

— цифровой мультиметр АМ-645;

— частотомер электронно-счетный 43-63/1;

— генератор высокочастотный Г4-158;

— милливольтметр ВЗ-52/1.

Стенд КИС АнСУ ХЖ2.778.019 предназначен для выполнения технологических процессов по техническому обслуживанию и ремонту антенно-согласующего устройства АнСУ-С. Стенд обеспечивает проверку:

— согласования входного сопротивления приемопередатчиков УПП с различными дискретными значениями эквивалентов нагрузки;

— КПД АнСУ;

— затухания гармоник передатчика в АнСУ.

Стенд обеспечивает, проверку антенно-согласующего устройства при различных дискретных значениях индуктивных и емкостных эквивалентов нагрузок.

Габаритные размеры стенда 266×266×190 мм. Масса стенда 3,1 кг.

Стенд универсальный обеспечивает контроль основных параметров источников питания:

— выходные напряжения по цепям при изменении входного напряжения и токов нагрузки;

— пульсации выходных напряжений по цепям при изменении входного напряжения и токов нагрузки;

— проверка схем защиты по цепям;

28.4. Перечень отказов в радиостанции РВ-2

Таблица 28.6

Наименование неисправности, внешнее проявление и дополнительные признаки	Вероятная причина	Метод устранения
1	2	3
При включении питания радиостанции не горит индикатор номера канала на пульте ПУ-ЛВ	Вышел из строя предохранитель блока питания. Обрыв в кабеле, соединяющем пульт ПУ-ЛВ и шкаф. Неисправен переключатель включения радиостанции на пульте ПУ-ЛВ. Неисправен блок питания	Заменить предохранитель. Проверить кабель. Неисправный кабель заменить. Проверить переключатель. Неисправный переключатель заменить. Проверить блок питания. При необходимости заменить
При снятии микрофона радиостанция не переходит в режим присма, а при установке в трубокдержателе не переходит в режим дежурного приема	Неисправен переключатель под трубокдержателем. Ослабли пружины под трубокдержателем	Проверить переключатель, при необходимости заменить. Проверить пружины, при необходимости заменить
При снятии микрофона не прослушиваются шумы	Обрыв в шнуре микрофона, отсутствие контакта в разъеме соединения микрофона с пультом ПУ-ЛВ	Проверить шнур и контакт в разъеме. При необходимости шнур заменить
При нажатии кнопки КОНТР не светится индикатор ПЕРЕДАЧА	Неисправна кнопка	Проверить кнопку, при необходимости заменить
При нажатии педали радиостанция не переходит в режим передачи	Обрыв в шнуре педали. Неисправна педаль	Проверить шнур, устранить обрыв. Проверить педаль, при необходимости заменить
При нажатии педали не включается микрофон	Неисправен микрофон. Обрыв в шнуре микрофона, обрыв в шнуре педали	Проверить микрофон, при необходимости заменить. Проверить шнур, устранить обрыв
При установке переключателя РЕЖИМ на пульте ДПУ в положение ПРИЕМ радиостанция не переходит в режим приема	Обрыв кабеля. Неисправна кнопка	Проверить кабель, соединяющий пульт ДПУ и шкаф, устранить обрыв. Проверить кнопку, при необходимости заменить

— проверка цепей индикации;
 — проверка токов потребления по входным цепям и др.
 При проверках обеспечивается изменение входного напряжения сети ~220 В от 0 до 240 В и его контроль.
 Стенд универсальный представляет собой центральный блок с набором кабелей. При проверке или ремонте кабели подключаются ко внешним разъемам проверяемых устройств.

Конструктивно стенд выполнен в виде переносной настольной конструкции в прочном металлическом корпусе. Все коммутационные и контрольные элементы имеют гравировки.

При работе со стендом используются стандартные измерительные приборы:

- вольтамперметр М253;
- вольтметр Э515/3;
- амперметр Э538;
- осциллограф С1-96;
- милливольтметр ВЗ-38;
- источник питания ТЭС 5010.

Данные приборы могут быть заменены на аналогичные, соответствующие указанным по диапазону измерений и классу точности.

Габаритные размеры стенда 538×240×206 мм. Масса стенда 10 кг.

В соответствии с условиями размещения по допустимым механическим и климатическим воздействиям изделия относятся к классификационной группе 1, степень жесткости II по ГОСТ 16019—78.

По безопасности изделия соответствуют требованиям ГОСТ 12251—86.

По способу защиты человека от поражения электрическим током — ГОСТ 12.2.007.0—75 для первого класса.

Аналогичный СТОР создается для радиостанции РС-46МУ Ижевского радиозавода и для РВ-1.1.М Воронежского завода.

Для каждой радиостанции завод-изготовитель приводит примерный перечень наиболее часто встречающихся отказов с определением вероятной причины и методом устранения. В качестве примера в разд. 28.4 и 28.5 приведем образцы таких сведений.

1	2	3
При работе радиостанции не включается громкоговоритель	Обрыв в кабеле, соединяющем пульт ПУ-ЛВ и шкаф	Проверить кабель, при необходимости заменить
Отсутствие связи при исправной радиостанции	Обрыв центральной жилы кабеля антенны. Нарушение контакта ВЧ-разъема антенного кабеля	Проверить соединение и кабель, при необходимости заменить кабель
При проведении общего контроля индикатор ПЕРЕДАЧА светится прерывистым свечением	Обрыв центральной жилы кабеля антенны. Нарушение контакта в ВЧ-разъеме антенного кабеля. Неисправен приемопередатчик УПП2-1	Проверить соединение и кабель, при необходимости заменить кабель

Примечание. Возможные неисправности и их устранение для приемопередатчика, антенн и блоков питания приведены в технических описаниях и инструкциях по эксплуатации на эти блоки.

28.5. Неисправности портативных радиостанций GP-300 и порядок их поиска

Наиболее характерной, часто повторяющейся неисправностью радиостанций этого типа является излом пружинных контактов аккумулятора отсекa, ремонт которых целесообразно производить наиболее более мощных аналогов отечественного производства.

28.5.1. Неисправности приемного устройства

Для поиска неисправностей приемного устройства фирма—разработчик радиостанции предлагает методику, представленную на рис. 28.15.

28.5.2. Неисправности передающего устройства

При рассмотрении неисправностей передающего устройства носимой радиостанции «Транспорт» основными внешними признаками неисправности передатчика радиостанции GP-300 являются:

- отсутствие выходной мощности f ;
- отсутствие модуляции при наличии несущей;
- отсутствие несущей.

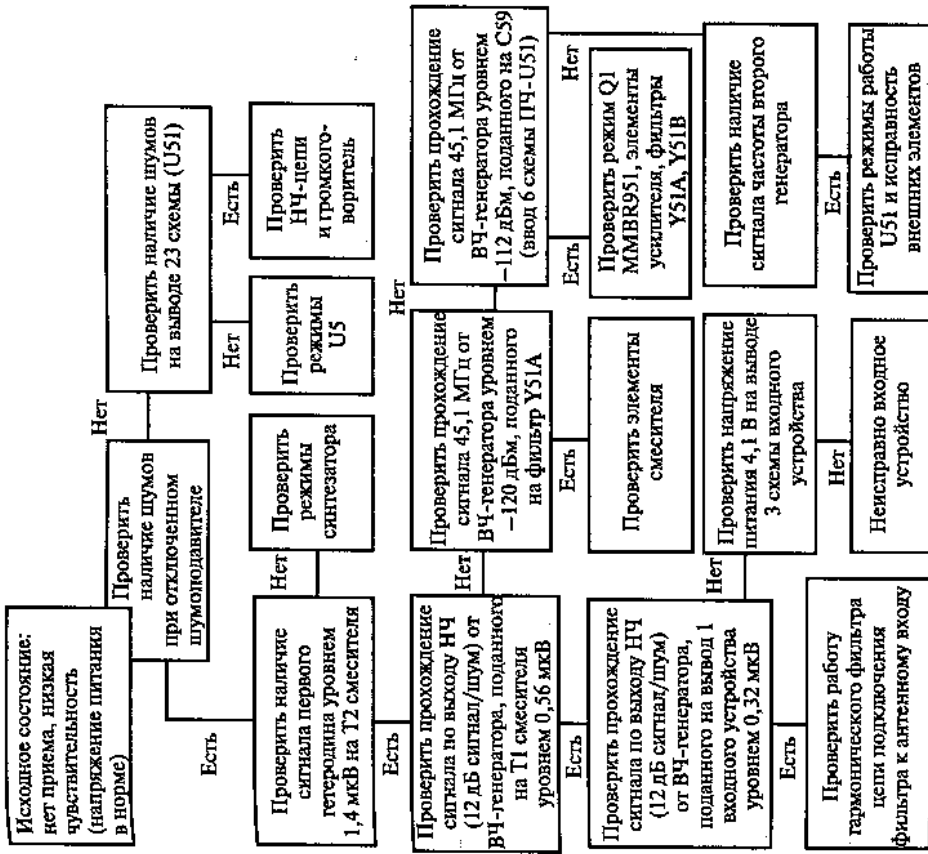


Рис. 28.15. Методика обнаружения неисправностей приемника

При отсутствии выходной мощности передатчика фирмой—разработчиком радиостанции предлагается методика обнаружения неисправности, представленная на рис. 28.16.

При отсутствии модуляции и наличии несущей передатчика порядок поиска неисправности, предлагаемый фирмой—разработчиком радиостанции, представлен на рис. 28.17.

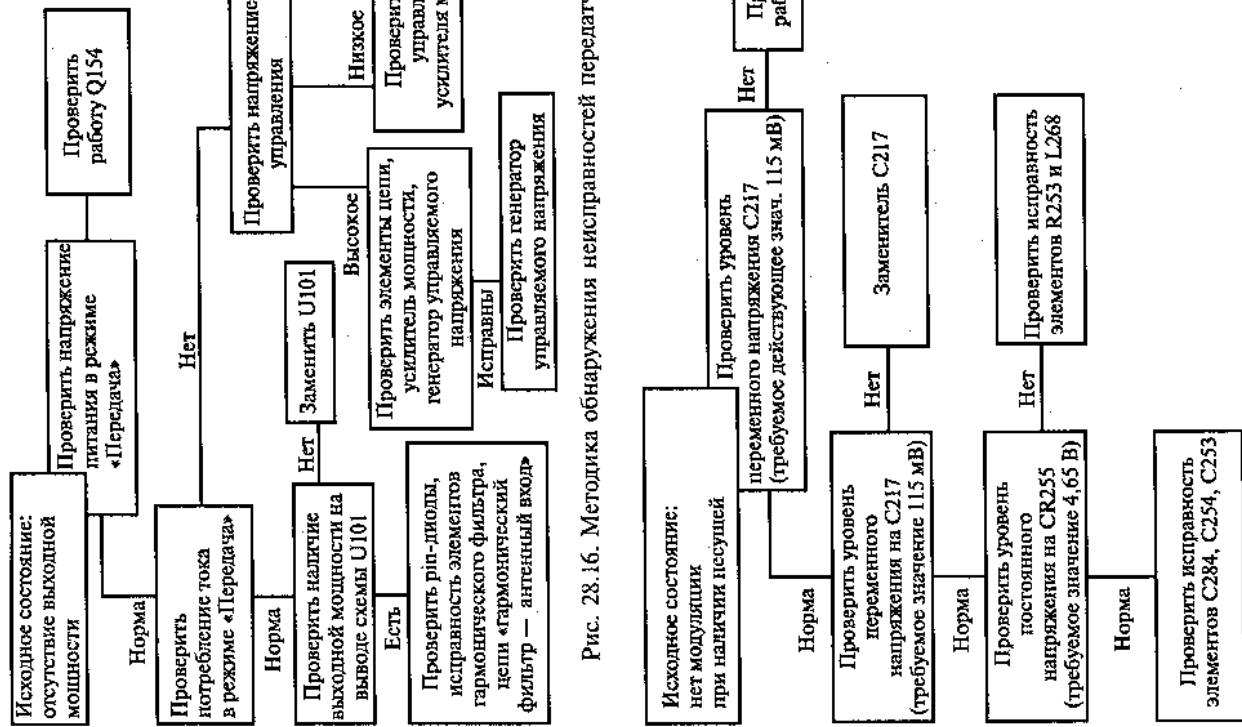


Рис. 28.16. Методика обнаружения неисправностей передатчика

Рис. 28.17. Методика обнаружения неисправностей передатчика

28.5.3. Неисправности микропроцессора, генератора управляемого напряжения и синтезатора

Как указывалось при описании радиостанции GP-300, микропроцессор, ГУЧ и синтезатор являются общими устройствами радиостанции и используются как при работе приемника, так и при работе передатчика.

Следовательно, неисправность в любом из названных устройств является причиной отказа в работе и приемника, и передатчика.

Поэтому вести поиск неисправностей в названных устройствах необходимо в случае, когда внешние признаки указывают на то, что не работает радиостанция в целом, а не приемник или передатчик в отдельности.

На рис. 28.18 представлена методика обнаружения неисправности в микропроцессоре, предлагаемая фирмой—разработчиком радиостанции.

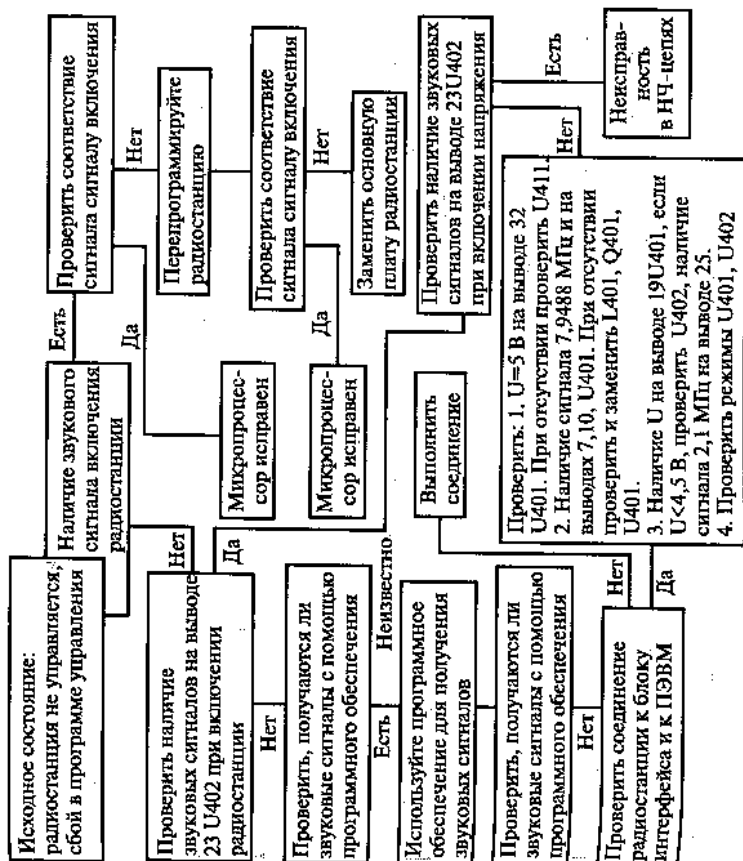


Рис. 28.18. Методика обнаружения неисправностей микропроцессора

29.1. Линейная поездная симплексная радиосвязь (ПРС-С)

Поездная симплексная связь с машинистом локомотива на перегонах (ПРС-С) осуществляется в диапазоне 1 на частотах 2,13 МГц — для связи с поездным диспетчером и дежурными по станциям и 2,15 МГц — для связи с дежурными по делу и электромеханиками контрольных пунктов на станциях с основными и оборотными депо. Используются стационарные радиостанции РС-6, РС-46, (ЖР-УК-СП); возимые радиостанции РВ-1, (ЖР-УК-ЛП), РК-1В; распорядительные станции СР-234 (или СР-34 для радиостанций ЖР-УК). Радиоволны гектометрового диапазона $l \approx 140$ м распространяются вдоль земной поверхности.

Линейные радиосети ПРС-С строятся по радиопроводному принципу с установкой стационарных радиостанций на всех промежуточных пунктах, где и осуществляется постоянное дежурство работников службы движения. Стационарные радиостанции подключаются к специально выделенному проводному каналу связи.

При организации линейных сетей ПРС должны удовлетворять требованиям п. 6.40 правил технической эксплуатации железных дорог (ПТЭ): «Поездная радиосвязь должна обеспечивать непрерывную на дежурную двустороннюю связь машинистов поездных локомотивов: с поездным диспетчером — в пределах диспетчерского участка; с дежурными по станциям — в пределах смежных перегонов; с машинистами других локомотивов, находящимся на одном перегоне».

В соответствии с этим требованием расчет высокочастотной части канала линейных сетей ПРС гектометрового диапазона ведется из условия

$$r_1 + r_2 \geq l_{\text{п}} + 3 \text{ км},$$

где r_1 и r_2 — дальности уверенной радиосвязи между возимой радиостанцией (РВ) и стационарными радиостанциями (РС), ограничивающими перегон;

$l_{\text{п}}$ — длина перегона или расстояние между соседними радиостанциями, км.

Таким образом, машинист может связаться надежно (с перекрытием в 3 км) с необходимыми абонентами через одну из радиостанций, ограничивающих перегон.

Если перегон имеет значительную протяженность, превышающую дальность связи подвижной радиостанции машиниста, устанавливают дополнительные радиостанции на перегоне, имеющие ретрансляционную связь или четырехпроводную связь с ближайшими стационарными радиостанциями. Контроль напряженности поля производится вагоном-

29. ОРГАНИЗАЦИЯ ПОЕЗДНОЙ РАДИОСВЯЗИ

Поездная радиосвязь предназначена для служебных переговоров поездного (ДНЦ), локомотивного (ТНЦ) и энергодиспетчеров (ЭЦ), а также дежурных по станциям (ДСП) с машинистами локомотивов (ТЧМ). Кроме того, следует обеспечить связь машинистов со службами станций, охраной, делом, с внутрипоездными абонентами. В зависимости от территориального размещения абонентов связи относительно подвижного локомотива поездная радиосвязь подразделяется на два вида: линейную и зонную радиосвязь, которые могут организовываться в симплексном и дуплексном режимах.

Диспетчерские участки в зависимости от технической оснащенности и размеров движения оборудуются системой ПРС, организованной в диапазоне волн: гектометровом (2,130; 2,150 МГц), метровом (160 МГц) и дециметровом (330 МГц); метровом и дециметровом.

Радиосети, организованные в гектометровом и метровом диапазонах волн, работают в симплексном режиме, в дециметровом — в дуплексном.

При оснащении диспетчерских участков радиостанциями трех диапазонов дециметровый и гектометровый диапазоны волн используются для организации линейных радиосетей, причем дециметровый диапазон служит для организации основного канала связи, а гектометровый — резервного.

Гектометровый диапазон используется в линейных и зонных радиосетях для радиосвязи с локомотивами, не оборудованными радиостанциями дециметрового диапазона. Метровый диапазон предназначен для организации зонных радиосетей. При оснащении диспетчерских участков двухдиапазонными радиостанциями, работающими в гектометровом и метровом диапазонах волн, дециметровый диапазон используется для организации линейных радиосетей, гектометровый — линейных и линейно-зонных, метровый — зонных.

При оснащении диспетчерских участков однодиапазонными радиостанциями гектометрового диапазона волн линейные и зонные радиосети организуются в одном диапазоне.

лабораторией. Правильнее измерять напряженность поля у стационарной радиостанции при излучении с подвижной (отмечено на Юго-Восточной ж.д., старший механик Овчинников В.И.).

Требования к проводному каналу радиосети ПРС-С включают в себя требования к аппаратуре линейного канала связи и требования к параметрам линейного тракта. В состав аппаратуры входят: распорядительная станция СР; устройство сопряжения УС-2/4; блоки управления постоянным током (БУП), устройства обхода дуплексных усилителей ОУ-ДУ, вводно-защитные устройства (ВЗУ), собственно радиостанции. Аппаратура ПРС-С должна обеспечивать заданное входное сопротивление (не менее 200 кОм для каналов НЧ, пультизированных линий и не менее 10 кОм для непультизированных), 600 Ом для каналов ТЧ), затухание асимметрии входа и выхода (не менее 74 дБ относительно земли для каналов НЧ и не менее 57 дБ — для каналов ТЧ), регулировку уровней не менее 19 дБ, среднее значение коэффициентов шумов — не более 0,1 мВ для СР.

Управление для пультизированных линий НЧ используется по постоянному току, для непультизированных линий НЧ — кодовое управление, для каналов ТЧ — тональное управление.

При организации проводного канала радиосети ПРС-С должны использоваться те же принципы построения каналов связи, что и для ОТС. При этом могут использоваться различные сочетания каналов НЧ и ТЧ. Примерный вид организации проводного канала связи ПРС-С показан на рис. 29.1.

Радиоволновой участок ПРС-С между стационарными радиостанциями, устанавливаемыми на ж.-д. станциях и, если необходимо, на перегонах, устанавливаемыми (возимыми) радиостанциями обеспечивается организацией радиопроводного канала на рабочей частоте 2,150 (2,130) МГц.

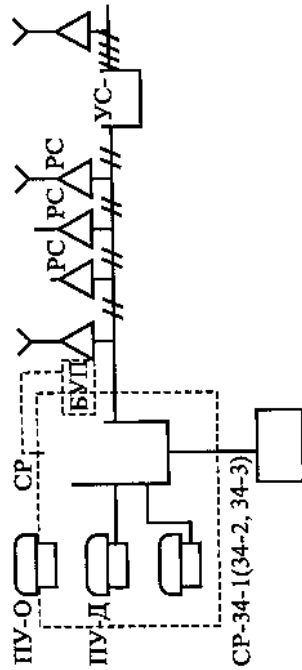


Рис. 29.1. Проводной канал ПРС-С

Для концентрации электромагнитной энергии вдоль железнодорожного пути используются направляющие «волноводы» — токопроводящие линии, расположенные вдоль пути (обычно их подвешивают на опорах контактной сети) или линий связи СЦБ.

Излучающая антенна длиной $l/4 = 35$ м располагается рядом с горизонтальным проводом — «волноводом» — и возбуждает электрические колебания вдоль этого «волновода», который вторично излучает электромагнитную волну. Протяженность «волновода» желательнее иметь на всю длину от одной радиостанции к другой.

Однако ввиду того что на «волновод» наводится переменное напряжение частотой 50 Гц от контактной сети, длину «волновода» нужно ограничивать. Поэтому его разбивают на секции, каждая длиной 1...1,2 км, с наведением промышленного напряжения до 300 В.

Для усиления действия «волновода» его дублируют таким же проводом, получается двухпроводный «волновод» (могут подвешивать как с одной, так и с другой стороны пути). В качестве «волновода» можно использовать другие проводящие системы, имеющиеся вдоль пути. Это могут быть воздушные линии связи, электроэнергетические линии небольшой мощности (вспомогательные линии) и т.д.

29.2. Расчет дальности действия линейной поездной радиосвязи

Дальность действия радиосвязи между стационарной и возимой радиостанциями при применении направляющих линий

$$r = \frac{A_{п.рд} - U_{\min} - A_{пер} - \sum a_{ст} - \sum a_{лин} - \sum a_{лок}}{a_{н}}$$

где $A_{п.рд}$ — выходной уровень сигнала передатчика радиостанции, дБмкВ,

$A_{п.рд} = \sqrt{\frac{P_{ст} \cdot R_{вых}}{R_{вх}}}$ = 148 дБмкВ для большинства действующих радиостанций; при работе радиостанций на две нагрузки (например, на направляющую линию и антенну) $A_{п.рд}$ снижается до 145 дБ;

U_{\min} — минимально допустимый уровень полезного сигнала с учетом минимально допустимого отношения сигнал/помеха на входе радиоприемной части в 6 дБ и волнообразного изменения уровня напряженности поля; зависит от примененной схемы направляющего «волновода» и энергоснабжения подвижного состава, определяющего уровень помех;

$A_{пер}$ — переходное затухание между направляющей линией и антенной возимой радиостанции; зависит от типа направляющей линии и типа энергоснабжения;

$\Sigma a_{\text{лин}}$ — суммарное затухание сигнала в линейных устройствах, связанных с высокочастотной обработкой силовых линий, изменением схемы направляющих линий на перегонах;

$\Sigma a_{\text{лок}}$ — суммарное затухание сигнала в локомотивных устройствах, связанных с затуханием в АСУ, типом подвижной единицы;

a_n — постоянная затухания направляющей линии на перегоне $a_n = 2$ дБ.

Расчетные данные, полученные для стандартного перегона (в среднем), приведены в табл. 29.1.

Таблица 29.1

Тяга	Тип направляющих линий	$U_{\text{мин}}^{\text{РВ}}$	$U_{\text{мин}}^{\text{РС}}$	Потери, дБ	Расчетная дальность, км
Электрическая переменного тока 25 кВ	Провода ДПР, подвешенные с одной стороны путей	72	70	47	7
	Провода ДПР, подвешенные с разных сторон путей	72	68	42	11
	Двухпроводный волновод	72	68	34	14
Электрическая постоянного тока	Однопроводной волновол, подвешенный под проводом ДПР	72	66	47	8
	Двухпроводной волновол	70	58	34	15
	Однопроводной волновол	70	58	40	12
	Цветные сети	70	52	58	6
Автономная	Два провода 3 _ф ВЛ	47	59	54	15
	Цветные цепи	47	39	58	14

29.3. Зонная (станционная) радиосвязь гектометрового диапазона

Зонная радиосвязь организуется на станциях, крупных узлах, на промежуточных пунктах перегонов. В качестве стационарных антенн применяются Г-образные или Т-образные антенны. Основные параметры антенн: КПД — η_a , зависящий от высоты установки антенны Н и коэффициента направленности $D = 1,5$.

Для расчета дальности радиосвязи определяют минимально доступную напряженность поля сигнала $E_{\text{доп}}$, мкВ/м, в точке приема и напряженность поля E_a , создаваемую антенной передатчика в зависимости от расстояния между антенной и местом приема. Допустимая напряженность поля в точке приема зависит от уровня помех и определяется видом тяги подвижного состава. Напряженность поля антенны передатчика зависит от типа антенны, высоты установки, электропроводимости почвы и др.

30. ОРГАНИЗАЦИЯ СТАНЦИОННОЙ РАДИОСВЯЗИ

Сети стационарной радиосвязи организуются по радиальному принципу в полосах частот 151,725 МГц ... 156,000 МГц с использованием одной несущей частоты. Связь осуществляется в симплексном режиме.

Все стационарные радиосети можно разделить на три группы по степени важности и, соответственно, по уровню надежности и времени ожидания установления связи:

- 1) сети маневровой и горочной станционной радиосвязи (СРС-МГ) с допустимым временем ожидания 1...3 с;
- 2) сети технологических абонентов, не связанных непосредственно с маневровой работой, но обеспечивающих обработку составов, обслуживания устройств автоматики, телемеханики и связи (СРС-Т) с допустимым временем ожидания связи до 10...20 с; радиосеть пунктов технического обслуживания вагонов и тормозов (ПТО); радиосеть пунктов коммерческого осмотра (ПКО); радиосеть объединенной технической конторы операторов (ОТК); радиосеть СЦБ и связи.
- 3) сети управления (СРС-У) крупных железнодорожных станций и узлов (радиосети ШЧ, ПЧ, ЭЧ, ТЧ, ВЧД), все эти сети характеризуются наличием подвижной связи.

30.1. Расчет системы станционной радиосвязи

Дальность эффективной связи СРС зависит от многих факторов, которые следует учитывать веномательными коэффициентами, но главные параметры системы, во многом определяющие дальность связи, — это мощность передатчика и высота установки антенны. Далее приведем выдержку из [14], где наиболее точно и сжато предложена методика расчета СРС.

В основу расчета дальности станционной радиосвязи положены графические зависимости изменения напряженности электромагнитного поля от расстояния при заданных высотах установки передающей h_1 и приемной h_2 антенн (рис. 30.1). Далее индекс 1 всегда относится к пере-

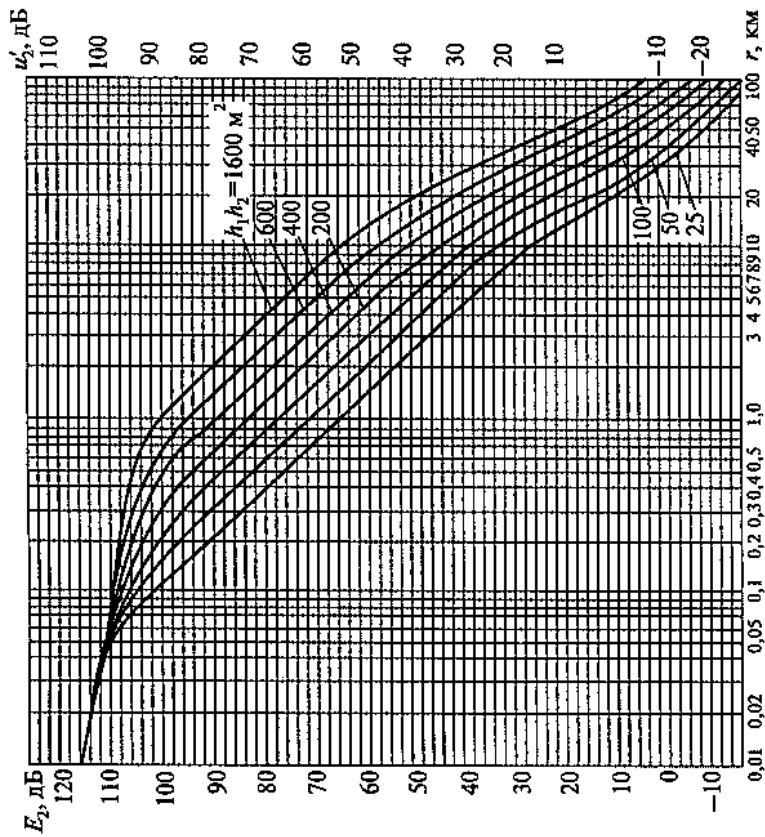


Рис. 30.1. К расчету систем связи

дающей стороне, а индекс 2 — к приемной. За нулевой уровень для E_2 и u'_2 приняты соответственно 1 мкВ/м и 1 мкВ. Графики построены на основе статистических данных измерений с учетом особенностей распространения радиоволн в условиях железнодорожного транспорта.

- Кривые на рис. 30.1 построены при следующих исходных данных:
- мощность передатчиков «Транспорт», имеющих 50-омный выход, равна 12 Вт, передатчиков ЖР-У с 75-омным выходом — 8 Вт, что соответствует уровню напряжения на выходе тех и других $u_1 = -148$ дБ;
 - коэффициент усиления передающей и приемной антенн $G_1 = G_2 = 0$ дБ (используются полуволновые вибраторы);
 - затухание приемного и передающего фидеров $V_{\Phi} = 0$ дБ;
 - значения напряженности поля полезного сигнала имеют место в течение 50 % времени и в половине точек приема ($p = 50\%$). Надежность

канала радиосвязи по полю выбирается не менее 95 %. Это значит, что по крайней мере в 95 % случаев из большого числа измерений напряженности поля в точке приема не меньше наименьшего допустимого значения даже при самых неблагоприятных условиях.

На рис. 30.1 наряду с напряженностью поля E_2 для упрощения расчета приведены значения полезного сигнала на входе приемника и u'_2 , соответствующие при указанных условиях уровню напряженности поля полезного сигнала в точке приема. Значения u'_2 даны для приемников радиостанций «Транспорт», имеющих 50-омный вход. Для приемников ЖРУ значение u'_2 в той же точке приема на 2 дБ больше.

Ожидаемая дальность радиосвязи определяется по кривым для заданных высот установки антенн u_1 и u_2 и заданного значения u'_2 в точке приема.

В реальных условиях при расчете канала необходимо учитывать фактические параметры рассчитываемой системы: мощность передатчика, электрические данные используемых антенн, затухания приемного и передающего фидеров, ослабление электромагнитного поля вследствие влияния контактной сети, корпуса локомотива, а также явления интерференции. Учет перечисленных факторов достигается введением следующих поправочных коэффициентов:

$V_{\Phi} = a_1 L + a_2 L$ — коэффициент ослабления поля в результате потерь энергии в антенно-фидерных устройствах передатчика и приемника (a_1 и a_2 — постоянные затухания фидеров, определяемые по табл. 6.12; L , L_1 и L_2 — длины фидеров);

$V_K = 8$ дБ — коэффициент ослабления поля контактной сетью, учитывается только на электрифицированных участках при расчете дальности связи между стационарной радиостанцией и локомотивной или носимой;

$V_{\Pi} = 9$ дБ — коэффициент ослабления поля корпусом локомотива, учитывается при расчете дальности связи между локомотивной радиостанцией и любой другой;

$V_{\text{и}}$ — коэффициент ослабления поля в результате интерференции сигнала, зависящий от требуемой надежности канала связи (рис. 30.2). Мешающий сигнал определяется с вероятностью $p = 5...10\%$, полезный сигнал — с вероятностью $p = 95...99\%$;

V_M — поправочный коэффициент, учитывающий отличие мощности передатчиков «Транспорт» от 12 Вт (для одноваттных передатчиков ра-

Таблица 30.1

$h_1 h_2, \text{ м}^2$	2	3	4	5	6	8	10	15	20
$V_{\text{н}}, \text{ дБ}$	22	18	16	14	12	10	8	4	2

Таблица 30.2

Участок	$V_{\text{рн}}, \text{ дБ}$, в каналах связи			
	РН-РН; РН-РВ		РН-РС	
	Открытая трасса	Закрытая трасса	Открытая трасса	Открытая трасса
Неэлектрифицированный	4		10	4
Электрифицированный: на постоянном токе	0		2	0
	0		0	0

Примечание. Под открытой трассой понимается равнинная или слабо холмистая местность, под закрытой — сильно холмистая и горная местность.

При этом

$$\Sigma V = V_{\Phi} + V_{\kappa} + V_{\text{л}} + V_{\text{и}} - V_{\text{в}} + V_{\text{м}} + V_{\text{h}} + V_{\text{рн}};$$

$$\Sigma G = G_1 + G_2.$$

Для обеспечения уверенной радиосвязи выполняется условие

$$u_2 \geq u_{2\text{min}}$$

где $u_{2\text{min}}$ — реализуемая чувствительность приемника, определяемая наименьшим значением полезного сигнала на его входе, при котором обеспечивается заданная разборчивость речи.

Значение $u_{2\text{min}}$ на входе приемника соответствует соотношению сигнал/помеха на выходе приемника, равному 12 дБ. Значение $u_{2\text{min}}$ приведены в табл. 30.3.

Таблица 30.3

Участок	$U_{2\text{min}}, \text{ дБ}$	$U_{2\text{min}}, \text{ мкВ}$
Неэлектрифицированный	4	1,5
Электрифицированный: на постоянном токе	6	2
	14	5

На границе зоны обслуживания (при максимальной дальности связи) напряжение на входе приемника должно быть равно $u_{2\text{min}}$.

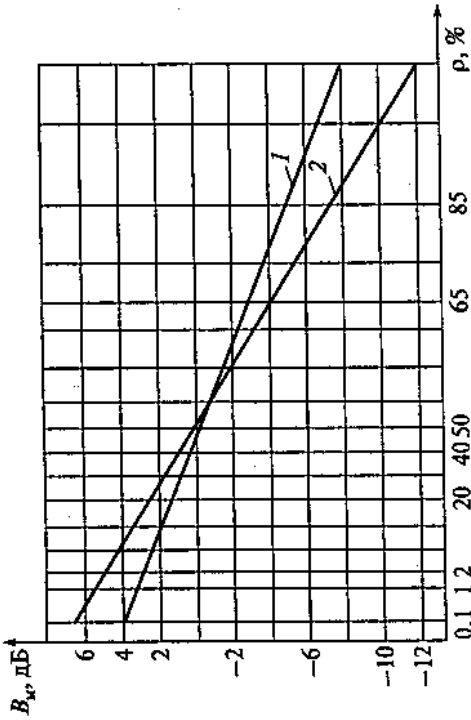


Рис. 30.2. Поправочный коэффициент V_{κ} :

1 — неэлектрифицированный участок; 2 — электрифицированный участок

диостанций РН $V_{\text{м}} = 10 \lg(12/1) = 11$ дБ, для УПП-2 в режиме пониженной мощности $V_{\text{м}} = 10 \lg(12/0,35) = 15$ дБ, для ЖР-У и УПП-2 в режиме полной мощности $V_{\text{м}} = 0$;

$V_{\text{h}} = 20 \lg \frac{25}{h_1 h_2}$ — коэффициент ослабления поля, учитывающий низкое расположение антенн носимых радиосредств (табл. 30.1). Используются только при $h_1 h_2 < 25 \text{ м}^2$. Расчет дальности связи в этом случае проводится по кривой $h_1 h_2 = 25 \text{ м}^2$.

$V_{\text{рн}}$ — коэффициент ослабления поля (табл. 30.2), учитывающий ухудшение условий передачи информации в каналах с носимыми радиосредствами (закрытие на трассах, увеличение глубины флуктуации и т.д.); G_1, G_2 — коэффициенты усиления соответственно передающей и приемной антенн.

При заданных высотах антенн, надежности канала радиосвязи и применительно к конкретным условиям

$$u_2 = u_2 + \Sigma V - \Sigma G,$$

где u_2 — значение полезного сигнала на входе приемника.

При этом

$$u'_2 = u_{2\text{min}} + \Sigma B - \Sigma G.$$

Вычислив значение u'_2 для конкретных условий организации каналов радиосвязи, по графикам рис. 30.1 определяют необходимую высоту установки антенн h_1 и h_2 исходя из заданной дальности связи. Для этого на оси ординат откладывается расчетный уровень полезного сигнала, а на оси абсцисс — требуемая дальность связи r . Место пересечения перпендикуляров, восстановленных из намеченных на осях точек u'_2 и r , определяет произведение высот антенн $h_1 h_2$, необходимое для обеспечения требуемой дальности связи. Аналогично решается обратная задача — определение возможной дальности связи исходя из заданного значения высот установки антенн h_1 и h_2 .

Пример расчетов

Определить высоту установки антенны АС-1/2 стационарной радиостанции РС-2, при которой обеспечивается устойчивая радиосвязь с машинистом локомотива и абонентом носимой радиостанции.

Исходные данные. Максимальное удаление возимой и носимой радиостанций от стационарной соответственно $r_{\text{рв}} = 4$ км и $r_{\text{рн}} = 2$ км. Вероятность надежной работы канала радиосвязи $p = 95\%$. Постоянная затухания антенных фидеров стационарной и возимой радиостанций (кабель РК-50-7-11) $a = 0,1$ дБ/м. Длина фидера стационарной и возимой радиостанций соответственно $l_{\text{рв}} = 20$ м и $l_{\text{рн}} = 4$ м. Мощность передатчиков стационарной и возимой — $P_{\text{рв}} = P_{\text{рн}} = 12$ Вт, а носимой радиостанции $P_{\text{рн}} = 1$ Вт. Высота установки антенны АС-1/2 локомотивной радиостанции $h_{\text{лрв}} = 5$ м; высота установки антенны носимой радиостанции $h_{\text{нрн}} = 1,5$ м. Участок железной дороги электрифицирован на переменном токе.

Порядок расчета. Исходя из заданных условий, имеем: $u_{2\text{min}} = 14$ дБ; $B_{\text{л}} = 7$ дБ; $B_{\text{л}} = 9$ дБ. Коэффициент усиления антенны стационарной радиостанции $G_{\text{рв}} = 0$ дБ; возимой $G_{\text{рв}} = -0,5$ дБ, носимой $G_{\text{рн}} = -2$ дБ. Поправочный коэффициент, учитывающий мощность передатчика, для стационарной и возимой радиостанций $B_{\text{лрв}} = B_{\text{лрн}} = 0$ дБ, для носимой $B_{\text{лрн}} = 11$ дБ.

Для канала радиосвязи «стационар — локомотив» вычисляются ΣB и ΣG , для чего предварительно рассчитывается $B_{\text{ф}} = a l_{\text{рв}} + a l_{\text{рн}} = 2,4$ дБ:

$$\Sigma B = B_{\text{ф}} + B_{\text{л}} + B_{\text{л}} + B_{\text{л}} = 2,4 + 8 + 9 - (-7) + 0 = 26,4 \text{ дБ};$$

$$\Sigma G = G_{\text{рв}} + G_{\text{рв}} = 0 - 0,5 = -0,5 \text{ дБ}.$$

Затем находят

$$u'_2 = u_{2\text{min}} + \Sigma B - \Sigma G = 14 + 26,4 - (-0,5) = 40,9 \text{ дБ}.$$

По полученному значению u'_2 и заданному $r_{\text{рв}}$ равному 4 км, по графику рис. 30.1 определяется произведение высот стационарной и возимой радиостанций $h_{\text{рв}} h_{\text{рн}} = 60 \text{ м}^2$. При заданной высоте установки локомотивной антенны $h_{\text{лрв}} = 5$ м расчетная высота установки стационарной антенны получается равной 12 м.

При $h_{\text{рв}} = 12$ м определяется дальность связи в направлении «носимая радиостанция — стационарная радиостанция», для чего вначале по табл. 30.1 и 30.2 определяются коэффициенты $B_{\text{л}} = 4$ дБ, $B_{\text{л}} = 0$ дБ и рассчитывается значение $B_{\text{ф}} = a l_{\text{рв}} = 0,1 \cdot 20 = 2$ дБ.

Тогда

$$\Sigma B = B_{\text{ф}} + B_{\text{л}} + B_{\text{л}} + B_{\text{л}} + B_{\text{рн}} = 2 + 8 - (-7) + 11 + 4 + 0 = 32 \text{ дБ};$$

$$\Sigma G = G_{\text{рв}} + G_{\text{рн}} = 0 + (-2) = -2 \text{ дБ};$$

$$u'_2 = u_{2\text{min}} + \Sigma B - \Sigma G = 14 + 32 - (-2) = 48 \text{ дБ}.$$

По рис. 30.1 для $h_1 h_2 = 25 \text{ м}^2$ и $u'_2 = 48$ дБ получаем дальность связи с носимой радиостанцией около 1,6 км, т.е. установка антенны на высоте 12 м не обеспечивает заданной дальности связи в канале «носимая радиостанция — стационарная радиостанция».

Для увеличения дальности связи необходимо антенну радиостанции РС-2 поднять выше. Принимая $B_{\text{л}} = 0$ дБ (т.е. считая, что произведение $h_{\text{л}} h_{\text{рн}} \geq 25 \text{ м}^2$) и, следовательно, $\Sigma B = 28$ дБ и $u'_2 = 44$ дБ по графику (см. рис. 30.1) для $r = 2$ км и $u'_2 = 44$ дБ, получаем $h_{\text{л}} h_{\text{рн}} = 25 \text{ м}^2$.

При высоте антенны носимой радиостанции 1,5 м антенна стационарной радиостанции должна устанавливаться на высоте $h_{\text{л}} = 17$ м.

31. ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ СОВМЕСТИМОСТЬ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

В соответствии с ГОСТ Р-50397—92 электромагнитная совместимость (ЭМС) радиоэлектронных средств (РЭС) — способность РЭС одновременно функционировать в реальных условиях эксплуатации с требуемым качеством при воздействии на них непреднамеренных радиопомех и не создавать недопустимых радиопомех другим РЭС. Для железнодорожного транспорта характерно весьма плотное и насыщенное оборудование радиосредствами железнодорожных станций, высокий уровень электрических помех и металлическое окружение, приводящее к многочисленным перестраиваниям и рефракции радиоволн. Высокий уровень помех не позволяет в полной мере реализовать высокую чувствительность радиоприемных устройств. Спектральный состав помеховых сигналов, как известно, спадает в сторону высоких частот со скоростью ~6 дБ на октаву, что объясняет стремление к развитию средств связи в высокочастотных диапазонах дециметровых радиоволн. Однако близкое размещение значительного числа радиосредств в условиях железнодорожных станций выводит на первый план взаимное влияние радиостанций. Это в основном влияние основного и побочного излучения передатчиков на основном и побочных каналах приема радиоприемников. Из всего многообразия путей и методов влияния можно выделить несколько наиболее важных и значительных проблем обеспечения электромагнитной совместимости, существенных для железнодорожного транспорта:

1. Обеспечение нормальной работы радиостанций, функционирующих на одной частоте, т.е. определение координатных расстояний (пространственный разнос) между радиостанциями.
2. Планирование сетки совместимых рабочих частот в станционной радиосвязи для предотвращения помех от интермодуляции.
3. Определение минимально необходимого пространственного разноса антенны радиостанций, работающих на разных частотах, но размещенных территориально близко, для предотвращения явления блокирования.

Приведем методику расчета ЭМС (с примерами).

Проблема электромагнитной совместимости РЭС, работающих на одной железнодорожной станции, решается путем частотного, пространственного и направленного разносов между антеннами радиостанций. Расчет минимально необходимых разносов ведется в предположении, что радиостанции работают непрерывно; вероятность превышения мешающим сигналом допустимого уровня $P = 5...10\%$, соотношение сигнал/помеха на выходе радиоприемника станции, относительно которой ведется расчет, превышает 6 дБ.

Для обеспечения нормальной работы радиостанций необходимо, чтобы на входе приемника уровень сигнала от мешающей радиостанции $U_{2\text{меш}}$ не превышал допустимого для данного вида влияния уровня мешающего сигнала $U_{2\text{меш.доп}}$, т.е.

$$U_{2\text{меш}} \leq U_{2\text{меш.доп}} \quad (31.1)$$

Значение $U_{2\text{меш.доп}}$ определяется параметрами защищенности приемника по конкретному виду влияния. Значение $U_{2\text{меш}}$ может быть найдено:

$$U_{2\text{меш}} = U_2' - \Sigma B + \Sigma G. \quad (31.2)$$

При этом U_2' устанавливается по графику (рис. 31.1) для заданных высот установки антенн и расстояния между ними.

В случае когда антенны радиостанций находятся на небольшом расстоянии друг от друга (до 30 м), уровень мешающего сигнала определяется уровнем выходного сигнала мешающего передатчика и затуханием электромагнитного поля между антеннами. Уровень мешающего сигнала на входе приемника от близкорасположенного передатчика

$$U_{2\text{меш}} = 148 - B_M - B_\Phi - B_a + \Sigma G. \quad (31.3)$$

В выражения (31.2) и (31.3)

$$\Sigma B = B_\Phi + B_k + B_n - B_h + B_h + B_{\text{рн}};$$

$$\Sigma G = G_1 + G_2 \quad (31.4)$$

где B_Φ — потери в фидерах $B_\Phi = \alpha_1 l_1 + \alpha_2 l_2$, α_1 и α_2 — постоянные затухания фидеров;

$B_k = 8$ дБ — коэффициент ослабления поля контактной сетью, учитывается только на электрифицированном участке ж.д.;

B_n — коэффициент ослабления поля в результате интерференции сигнала, зависящий от требуемой надежности канала связи, определяется из графика (рис. 30.2), для вероятности мешающего сигнала $P = 5...10\%$, надежность связи $P = 95...99\%$;

V_M — поправочный коэффициент, учитывающий отличие мощности передатчиков «Транспорт» от 12 Вт (для одноваттных передатчиков радиостанций РН $V_M = 10\lg(12/1) = 11$ дБ; для УПП-2 в режиме пониженной мощности $V_M = 10\lg(12/0,35) = 15$ дБ; для ЖРУ и УПП-2 в режиме полной мощности $V_M = 0$);

V_A — зависимость переходного затухания между антеннами, находящаяся из графика (рис. 31.1).

Расчет координационных расстояний

Координационным расстоянием называется минимально допустимое расстояние между антеннами радиостанций, работающих на одной частоте без взаимных мешающих влияний.

Допустимый уровень мешающего сигнала, частота которого совпадает с частотой настройки приемника для УПП-2, $U_{2\text{меш.доп}} < -10$ дБ мкВ (0,3 мкВ). При таком уровне входного сигнала исключается срабатывание шумоподавителя. Координационное расстояние между двумя стационарными радиостанциями находится по графику рис. 30.1, для чего предварительно находится величина из формулы (31.2) при $U_{2\text{меш.доп}} = -10$ дБ, т.е.:

$$U'_2 = \Sigma B - \Sigma G - 10. \quad (31.6)$$

Пример 1. Определить координационное расстояние между радиостанциями РС-6 и ЖР-У-СС, работающими на электрифицированном участке железной дороги.

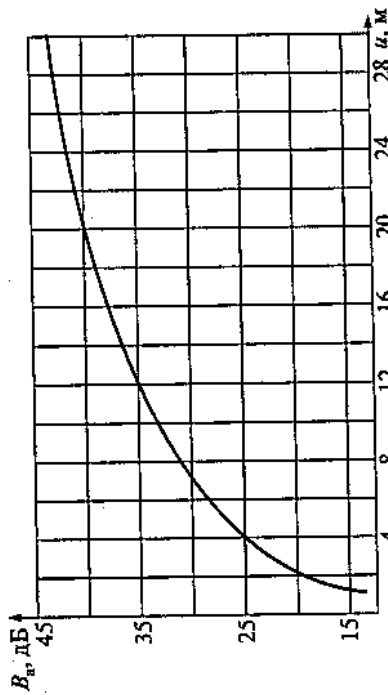


Рис. 31.1. Зависимость переходного затухания между антеннами АС-1/2 от расстояния между ними по горизонтали

Исходные данные:

Высота установки антенны АС-1/2 радиостанции РС-6 $h_1 = 10$ м, высота установки антенны радиостанции ЖР-У-СС $h_2 = 15$ м. Длина антенных фидеров обеих радиостанций $l_1 = l_2 = 20$ м, постоянные затухания антенного фидера радиостанции РС-6 (кабель РК-50-7-1) и ЖР-У (кабель РК-75-4-12) соответственно равны $a_1 = 0,1$ дБ/м и $a_2 = 0,15$ дБ/м. Надежность связи 95 %.

Порядок расчета:

Определяем U'_2 по формуле (31.6): $U'_2 = \Sigma B - \Sigma G - 10$, для чего рассчитываем ΣB по формуле (31.4).

$$V_H = a_1 l_1 + a_2 l_2 = 0,1 \cdot 20 + 0,15 \cdot 20 = 5 \text{ дБ.}$$

$V_K = 8$ дБ для электрифицированного участка ж.д.;

$$V_{\text{П}} = 0 \text{ дБ;}$$

$V_{M1} = 0$ дБ, так как радиостанции стационарные РС-46М $P_{\text{вых}} = 12$ Вт;

$V_{M2} = 1,8$ дБ, так как мощность ЖР-У-СС = 8 Вт; $V_{M2} = 10 \lg(12/8) = 1,8$ дБ;

V_H определяется при нахождении координационного расстояния по графику (рис. 30.1);

$$V_{\text{РН}} = 0 \text{ (учитывается только для носимых радиостанций).}$$

Итак, $\Sigma B = V_{\text{Ф}} + V_K + V_{\text{П}} + V_M = 5 + 8 - 7,5 + 0 = 6,5$ дБ, ΣG находится из формулы (31.5) = 0. Тогда $U'_2 = 6,5 - 0 - 10 = -3,5$ дБ.

Из графика (рис. 30.1) для $h_1/h_2 = 150 \text{ м}^2$ и $U'_2 = -3,5$ дБ находим координационное расстояние для радиостанции ЖР-У-СС (равно 50 км).

Для радиостанции РС-6 (при $V_{M2} = 1,8$ дБ) $U'_2 = -1,7$ дБ, координационное расстояние между радиостанциями РС-6 и ЖР-У-СС равно 50 км.

Уменьшать координационное расстояние можно за счет применения направленных антенн, заменив антенну АС-1/2 на АС-2/2.

При автономной тяге координационное расстояние в среднем на 2 км меньше.

Блокирование

Определение блокирования приведено в п. 25.2.

Параметром, определяющим степень восприимчивости приемника по блокированию, является его избирательность по соседнему каналу, измеряемая двухсигнальным методом. Для приемников стационарных и возимых радиостанций «Транспорт» (УПП-2) она равна 75 дБ, ЖР-У и носимых РН — 70 дБ.

Увеличение частотного разнеса между полезным и мешающим сигналами ведет к повышению защищенности приемника от мешающего сигнала. Увеличение полезного сигнала на входе приемника также повышает защищенность приемника от помех.

Зависимость защищенности приемников УПП-2 и РН от частотного разнеса, характеризующая допустимый уровень мешающего сигнала $U'_{2\text{меш.доп}}$ на входе приемника при обеспечении соотношения сигнал/шум на входе низкочастотного тракта приемника 12 дБ при полезном сигнале 1 мкВ, представлена на графиках (рис. 31.2). На этих графиках кривая 1 соответствует УПП-2, кривая 2 — для РН.

Определенное по этим кривым значение избирательности по соседнему каналу для УПП-2 составит 80 дБ (кривая 1), а для РН — 75 дБ (кривая 2), т.е. превышает паспортное значение избирательности на 5 дБ (это увеличение избирательности произошло потому, что в первом случае ее значение определяется при полезном сигнале, равном номинальной чувствительности 0,6 мкВ, а во втором — при полезном сигнале 1 мкВ).

При увеличении уровня полезного сигнала на входе приемника от 0 до 20 дБ МкВ (от 1 до 10 МкВ) защищенность приемников от мешающего сигнала возрастает на такое же значение, при дальнейшем увеличении полезного сигнала защищенность растет не столь значительно.

По кривым графиков рис. 31.2 значение $U'_{2\text{меш.доп}}$ может быть определено для частотных разнесов, не превышающих 700 кГц. При увеличении частотной отстройки мешающего передатчика от частоты соседнего канала приема защищаемой радиостанции следует принимать $U'_{2\text{меш.доп}} = 98$ дБ для УПП-2, а для РН $U'_{2\text{меш.доп}} = 91$ дБ.

В правильно рассчитанных радиосетях полезный сигнал на входе радиосредств должен быть не менее заданного для данного вида тяги. Чувствительность приемников в зависимости от вида тяги приведена в табл. 30.3. Избирательность приемников увеличивается на это значение, т.е.

$$U'_{2\text{меш.доп}} = U'_{2\text{меш.доп}} + U_{2\text{мин}} \quad (31.7)$$

Исходя из расчета $U_{2\text{меш.доп}}$ для заданного частотного разнеса, определяют минимальной пространственный разнос (МНПР) между антеннами соседних радиостанций по графику (см. рис. 31.1).

Пример 2. Определить МНПР между антеннами АС-1/2 двух установленных в одном здании радиостанций РС-6.

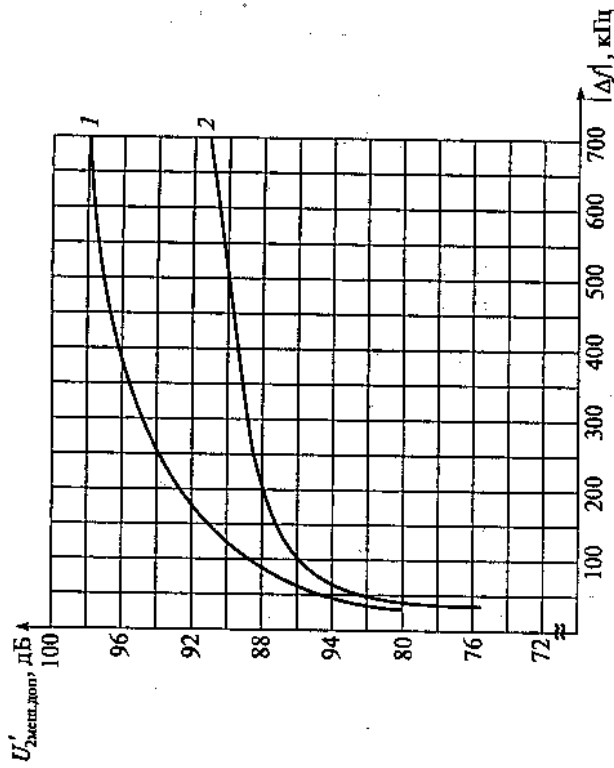


Рис. 31.2. Защищенность приемника по блокированию от частотного разнеса при полезном сигнале 1 мкВ (1-УПП-2, 2-РН)

Исходные данные:

Суммарная длина антенных фидеров $l_1 + l_2 = 40$ м. Постоянная затухания кабеля (РК-50-7-11) $\alpha_1 = \alpha_2 = 0,1$ дБ/м. Мощность передатчиков РС-6 $P_1 = P_2 = 12$ Вт. Частотный разнос между рабочими частотами радиостанций $\Delta f = |f_2 - f_1| = 625$ кГц. Урасток электрифицирован на постоянном токе.

Порядок расчета:

Определяем $U_{2\text{мин}}$ из табл. 30.3. $U_{2\text{мин}} = 6$ дБ.

Коэффициент $B_{\text{д1}} = B_{\text{д2}} = 0$, $G_1 = G_2 = 0$, $B_{\text{ф}} = \alpha_1 (l_1 + l_2) = 4$ дБ.

Определяем $U'_{2\text{меш.доп}}$ из графика (см. рис. 31.2) для частотного разнеса $\Delta f = |f_2 - f_1| = 625$ кГц $U'_{2\text{меш.доп}} = 97,5$ дБ.

Далее из формулы 31.7 следует

$$U_{2\text{меш.доп}} = U'_{2\text{меш.доп}} + U_{2\text{мин}} = 97,5 + 6 = 103,5 \text{ дБ.}$$

Определяем переходное затухание между антеннами из формулы (31.3) при $U_{2\text{мин}} = U_{2\text{меш.доп}}$; $B_{\text{д}} = 148 - B_{\text{м}} - B_{\text{ф}} + \sum G = U_{2\text{меш.доп}} - 148 - 0 - 4 + 0 = 103,5 = 40,5$ дБ. Теперь по графику (см. рис. 31.1) определяем МНПР = 22 м.

Сетка частот диапазона 2

Номер канала	Частота, МГц	Номер канала	Частота, МГц	Номер канала	Частота, МГц	Номер канала	Частота, МГц	Номер канала	Частота, МГц	Номер канала	Частота, МГц
1	151,725	36	152,600	71	153,475	106	155,325	141	154,225		
2	151,750	37	152,625	72	153,500	107	155,350	142	154,250		
3	151,775	38	152,650	73	153,525	108	155,375	143	154,275		
4	151,800	39	152,675	74	153,550	109	155,400	144	154,300		
5	151,825	40	152,700	75	153,575	110	155,425	145	154,325		
6	151,850	41	152,725	76	153,600	111	155,450	146	154,350		
7	151,875	42	152,750	77	153,625	112	155,475	147	154,375		
8	151,900	43	152,775	78	153,650	113	155,500	148	154,400		
9	151,925	44	152,800	79	153,675	114	155,525	149	154,425		
10	151,950	45	152,825	80	153,700	115	155,550	150	154,450		
11	151,975	46	152,850	81	153,725	116	155,575	151	154,475		
12	152,000	47	152,875	82	153,750	117	155,600	152	154,500		
13	152,025	48	152,900	83	153,775	118	155,625	153	154,525		
14	152,050	49	152,925	84	153,800	119	155,650	154	154,550		
15	152,075	50	152,950	85	153,825	120	155,675	155	154,575		
16	152,100	51	152,975	86	153,850	121	155,700	156	154,600		
17	152,125	52	153,000	87	153,875	122	155,725	157	154,625		
18	152,150	53	153,025	88	153,900	123	155,750	158	154,650		
19	152,175	54	153,050	89	153,925	124	155,775	159	154,675		
20	152,200	55	153,075	90	153,950	125	155,800	160	154,700		
21	152,225	56	153,100	91	153,975	126	155,825	161	154,725		
22	152,250	57	153,125	92	154,000	127	155,850	162	154,750		
23	152,275	58	153,150	93	155,000	128	155,875	163	154,775		
24	152,300	59	153,175	94	155,025	129	155,900	164	154,800		
25	152,325	60	153,200	95	155,050	130	155,925	165	154,825		
26	152,350	61	153,225	96	155,075	131	155,950	166	154,850		
27	152,375	62	153,250	97	155,100	132	155,975	167	154,875		
28	152,400	63	153,275	98	155,125	133	154,025	168	154,900		
29	152,425	64	153,300	99	155,150	134	154,050	169	154,925		
30	152,450	65	153,325	100	155,175	135	154,075	170	154,950		
31	152,475	66	153,350	101	155,200	136	154,100	171	154,975		
32	152,500	67	153,375	102	155,225	137	154,125	172	156,000		
33	152,525	68	153,400	103	155,250	138	154,150				
34	152,550	69	153,425	104	155,275	139	154,175				
35	152,575	70	153,450	105	155,300	140	154,200				

Таким образом, для исключения взаимного блокирования между двумя радиостанциями РС-6, установленными в одном здании с частотным разнесом в 625 кГц, их антенны должны иметь пространственный разнос в 22 м.

Пример 3. Определить МНПР между двумя радиостанциями РС-2, работающими на соседних каналах (частотный разнос $\Delta f = 25$ кГц).

Исходные данные:

Высоты установки антенн $h_1 = 10$ м, $h_2 = 15$ м. Надежность связи 80 %.

Остальные данные берем из предыдущего примера.

Порядок расчета:

Исходя из условий, имеем: $U_{2\text{min}} = 6$ дБ, $B_M = 0$ дБ, $B_{\Phi} = 4$ дБ, $\Sigma G = 0$ дБ, $B_M = 3,5$ дБ (из рис. 30.1), $h_1 h_2 = 150 \text{ м}^2$.

По графику (см. рис. 31.1) $U'_{2\text{меш.доп}} = 80$ дБ, по формуле (31.7)

$U_{2\text{меш.доп}} = 80 + 6 = 86$ дБ, из формулы (31.2) $U_{2\text{меш.доп}} = U'_{2\text{меш.доп}}$

$$U'_2 = U'_{2\text{меш.доп}} + \Sigma B + \Sigma G = 86 + 0,5 - 0 = 86,5 \text{ дБ.}$$

По графику (см. рис. 30.1) для $U'_2 = 86,5$ дБ и $h_1 h_2 = 150 \text{ м}^2$ находим НПР = 330 м.

Таким образом, при работе двух радиостанций РС-2 на соседних каналах и при приведенных условиях для устранения взаимного блокирования между радиостанциями расстояние между их антеннами должно быть не менее 330 м.

Интермодуляция

Интермодуляцией называется возникновение помех на входе приемника при действии на его входе двух и более радиосигналов, частоты которых не совпадают с частотами основного и побочных каналов приема радиоприемника. Интермодуляция обусловлена нелинейными эффектами преобразования колебаний двух и более помех в смесителе или в каскадах, предшествующих смесителю.

Параметром, определяющим степень восприимчивости приемника к интермодуляционному воздействию, является его интермодуляционная избирательность, измеренная трехсигнальными методами. Для приемников УПП-2 она равна 70 дБ, УПП-1 — 50 дБ, РН — 65 дБ.

Интермодуляция второго порядка вида $2f_1 - f_2 = f_3$ определяет возможность влияния двух работающих радиостанций на третью.

Задача планирования частот выполняется по специальной программе, и на их основе разработаны комплекты совместимых частот (КСЧ).

Каждый комплект в качестве обязательных включает в себя частоты поездной радиосвязи ПРС и линейной ремонтно-оперативной радиосвязи РОРС-Л. Подобранные комплекты, содержащие частоты вызывных локомотивов, начальника пассажирского поезда, дежурного по депо.

К большинству КСЧ дополнительно подобраны поочередно совместимые с ними группы частот станционной радиосвязи I, II, III, т.е. при использовании любого КСЧ для станционной связи могут быть использованы также частоты из I, II, III группы. Выбор того или иного комплекта частот определяется номером используемой на данном участке частотной группы и зависит от уже имеющихся на станции частот радиосредств.

Комплекты совместимых частот диапазона 2 (УКВ) приведены в [14]. Расшифровка каналов приведена в табл. 31.1.

32. ГРОМКОГОВОРЯЩАЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ СВЯЗЬ

Громкоговорящая технологическая связь (ГС) находит широкое применение на железнодорожном транспорте. По характеру использования ее можно разделить на следующие виды: парковая громкоговорящая связь на открытых пространствах, цеховое и вокзальное громкоговорящее оповещение, радификация пассажирских поездов. По принципу действия ГС разделяется на одно- и двустороннюю.

Односторонняя ГС предназначена для передачи сообщений в одном направлении со стороны командного пульта управления — ПУ (рис. 32.1, а),

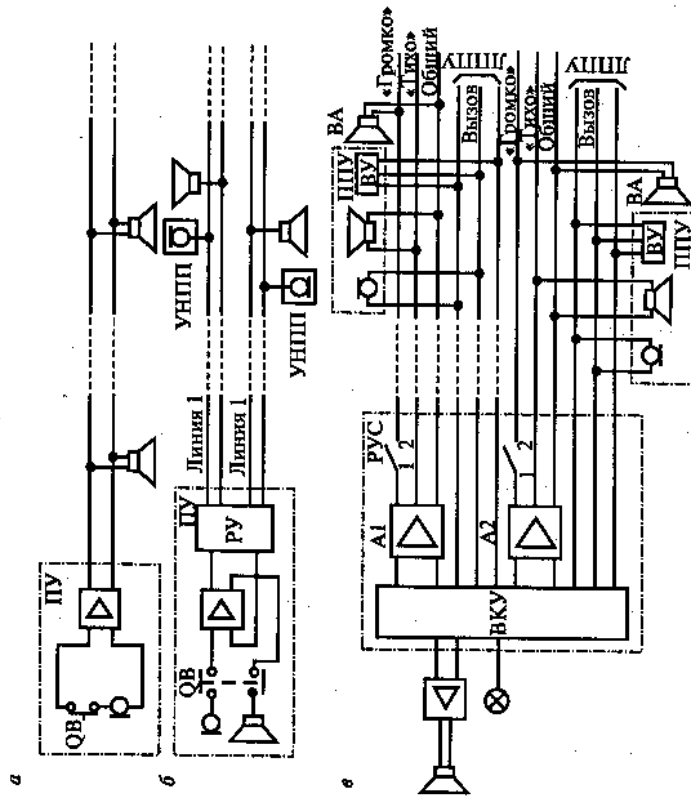


Рис. 32.1. Громкоговорящая технологическая связь

двухсторонняя ГС позволяет вести взаимные переговоры командира с исполнителями в симплексном режиме (рис. 32.1, б). К усилителю через распределительные устройства (РУ) подключаются четырехпроводные фидеры.

Микрофоны в парке подключаются к соответствующему фидеру через упрощенные наружные парковые пункты УНПП.

Схема двухсторонней ГС с индивидуальными усилителями в каждом фидере приведена на рис. 32.1, в. Коммутациями в распределительном усилительном устройстве РУС осуществляется связь командира по всем фидерам, автономная связь — по одной или нескольким линиям. С первого переговорного устройства ППУ можно вызвать одного или несколько командиров; ППУ кроме микрофона и маломощного динамика имеет вызывное устройство ВУ. Мощные головки ВА размещаются отдельно на опорах и рассчитаны для озвучивания прилегающей территории. Схема позволяет вести переговоры в режиме «Тихо» на маломощные динамики в ППУ и «Громко» через мощные динамики ВА.

32.1. Усилители низкой (звуковой) частоты

Главным ядром громкоговорящей связи является мощный усилитель. Мощности усилителей, применяемых в ГС на железнодорожном транспорте, 50...600 Вт. Основные характеристики распространяемых усилителей приведены в табл. 32.1.

Таблица 32.1

Тип усилителя	Выходная мощность, Вт	Номинальное напряжение выхода, В	Рабочий диапазон частот, Гц	Неравномерность АЧХ, дБ	Коэффициент нелинейных искажений, %
УМ-50	50	240/120	100...10 000	3	3
УМ-100	100	240/120	100...10 000	3	3
УМ-100К	100	240/120	100...6300	3	4
УМ-200	200	240/120	100...6300	3	4
БУУ-П	20	10/1	300...4000	4	5
БУУ-В	50	10/1	300...4000	4	5
БЛУ	100	10/1	300...4000	4	5
У-100	100	120	40...16 000	2	1
БУ-50	50	120/30	50...10 000	3	4
У-200	200	120/30	20...20 000	3	3

Тип усилителя	Выходная мощность, Вт	Номинальное напряжение выхода, В	Рабочий диапазон частот, Гц	Неравномерность АЧХ, дБ	Коэффициент нелинейных искажений, %
УСТ-120	120	120/30	40...12 000	3	4
УМ100/120 ВС-II	100	120	40...16 000	1	0,5
УТ-100	100	130/115	300...4000	2	5

32.2. Аппаратура громкоговорящей связи

1. Аппаратура стационной двухсторонней парковой связи (СДПС.М) предназначена для организации громкоговорящей парковой связи на железнодорожных станциях, имеющих один или несколько технологических парков, на грузовых дворах, вокзалах, депо, промышленных предприятиях. СДПС.М обеспечивает взаимный вызов и переговоры командиров железнодорожной станции с исполнителями технологических процессов в парках, в том числе с машинистами маневровых (горочных) локомотивов, и исполнителей между собой. Основные технические эксплуатационные показатели аппаратуры:

— применение специального усилительного оборудования для каждой фидерной линии (пять усилителей и один резервный усилитель типа УТ-100);

— обеспечение двухсторонних переговоров исполнителей и командиров без трансляции по громкоговорящей сети;

— выход с парковых переговорных устройств к нескольким командам и в канал радиосвязи;

— районирование зон оповещения;

— применение автоматической регулировки усиления.

СДПС.М состоит из распределительно-усилительной стойки (РУС), переговорных устройств командиров (ПК), переговорных устройств исполнителей (ППУ).

2. Аппаратура громкоговорящего оповещения (ГГО) и комплекса парковой связи и оповещения (ПСО). Аппаратура комплекса ГГО предназначена для организации сетей громкоговорящего оповещения на железнодорожных вокзалах, пассажирских платформах, грузовых дворах, складах, депо, на предприятиях, строительных площадках и базах, ох-раняемых объектах, на станциях метрополитена и т.д. В состав комп-

лекса входят усилители мощности типа УМ-50, УМ-100, УМ-100К, УМ-200 (в зависимости от условий применения) и пульт ГГО, являющийся абонентским устройством рабочего места оператора — распорядителя комплекса ГГО.

Аппаратура комплекса ПСО предназначена для организации на базе единого усилительного и коммутационного оборудования сетей двухсторонней парковой связи и громкоговорящего оповещения пассажиров на малых железнодорожных станциях с одним руководителем технологического процесса работы станции, а также для организации аналогичных по структуре сетей на грузовых дворах и складах и на других объектах.

В состав комплекса ПСО входят:

- коммутационные усилительные станции шести исполнителей: СКУ-50, СКУ-100, СКУ-200, СКУ-50Д, СКУ-100Д, СКУ-200Д, различающиеся по основному параметру (номинальной выходной мощности усилителей звуковых частот 50, 100 или 200 ВА) и по наличию буквы «Д» в обозначении — устройств сопряжения ПРС, которое осуществляется по принимаемому из канала коду избирательного соединения и обеспечивает передачу из канала громкоговорящих сообщений;
- пульт парковой связи и оповещения (пульт ПСО);
- пульт громкоговорящего оповещения (пульт ГГО);
- парковое переговорное устройство (ППУ1), которое обеспечивает возможность установления соединения с ПСО и передачу по ним речевых сообщений в режиме «Громко», возможность речевого вызова руководителя у пульта ПСО и ведения переговоров симплексным способом в режиме тихой связи без трансляции переговоров по ПСО.

3. Система двухсторонней громкоговорящей связи (СДГС) и система громкоговорящего оповещения — СГГО «ПАРК-1М». Состоит из аппаратной стойки СА-01, включающей два фидерных усилителя мощности УМ-200.2, блок управления БУ-02, блок питания БП-400, а также содержит пульт командира переговорной ПКП-4М, парковых переговорных устройств ППУ.М2, громкоговорителей серии ГР и вспомогательных устройств.

Система «ПАРК-1М» обеспечивает ведение переговоров между командиром станции и исполнителями технологических процессов, а также исполнителей между собой в режиме двухсторонней симплексной связи, предусматривающей: голосовой вызов участников переговоров;

громкоговорящее оповещение пассажиров, предусматривающее возможность адресной трансляции сообщений по независимым фидерам; поддержание диалогового режима «пассажир—пассажир», предусматривающее использование микрофонных цепей и динамика пульта командира. Суммарная мощность системы 400 Вт.

4. Усилительно-трансляционные станции (SM) серии «Перрон» имеют выходную мощность от 200 до 800 Вт, несколько микрофонных и линейных выходов, широкий частотный диапазон передачи от 40 до 18 000 Гц при малых нелинейных искажениях — 0,5 %.

5. Усилительно-трансляционные станции (SM) серии «Юнг» также обладают высокими техническими характеристиками при выходной мощности 100 Вт; предусматривается использование их в составе комплекса «Полустанок», в который входит также комплект аппаратуры двухсторонней связи «пассажир — пассажир» серии «Диалог». Комплекс «Полустанок» предназначен для озвучивания вокзалов и перронов небольших станций.

6. Аппаратура громкоговорящего оповещения системы внутренней ремонтно-оперативной радиосвязи «Транспорт РОРС.В» предназначена для организации оперативной радиосвязи и громкоговорящего оповещения исполнителей внутриремонтных подразделений в процессе выполнения работ по ремонту и восстановлению железнодорожного пути и сооружений.

В состав аппаратуры входят изделия:

- устройства громкоговорящего оповещения УГО-В (возимые), УГО-С (стационарные) и УГО-П (переносные);
- манипулятор типа МЗ, применяемый совместно с радиостанцией РН-12Б.

— устройство УГО, основывается на применении усилителей БУУ-В, БУУ-С, БУУ-П, мощностью 50, 100 и 20 В-А. Возможна передача речевых сообщений с манипулятора МЗ и с радиостанций РН-12Б.

7. Трансляционная усилительная установка ГУУ-600Т может быть использована в радиорелейной сети для озвучивания больших промышленных предприятий, железнодорожных вокзалов и парков, площадок. Представляет собой мощную усилительную установку, созданную на базе параллельной работы шести транзисторных усилителей мощности по 100 Вт и предназначена для озвучивания открытых и закрытых пространств. Все шесть усилителей работают параллельно. Их входы соединены прямо параллельно, а выходы — посредством системы параллельной работы, которая выравнивает коэффициенты усиления мощных усилителей посредством сравнения выходных токов усилителей.

8. Трансляционные узлы установки поездного радиовещания предназначены для трансляции радиопрограмм, местного вещания с магнитолы и внешнего источника, а также передача информации через микрофон в пассажирских поездах и других объектах.

8.1. Система «Рейс» поездного радиовещания содержит четыре усилителя типа БУ-50 общей мощностью 200 В·А, магнитолу типа «Урал» и микрофон типа МД-380А. В состав установки также входят антенны ДВ, СВ и антенна УКВ. В усилителе предусмотрены плавные регуляторы уровня и тембра по низким и верхним частотам, а также визуальный (по группе светодиодов) и звуковой контроль передаваемой информации, защита от переплюсовки, от коротких замыканий на линейном выходе, от недопустимого повышения напряжения питания.

Система «Компакт-Р» кроме трансляционного назначения имеет возможность организовывать радиосвязь между бригадиром и машинистом, бригадиром и пассажирскими службами через радиостанцию *Motorola* (типа GM-350). Аппаратура содержит:

- усилитель низкой частоты типа У-200 с выходной мощностью 200 В·А;
- автомагнитолу;
- два ДС-преобразователя для питания усилителя, автомагнитолы и радиостанции;
- усилительно-микшерное устройство для работы с микрофоном;
- согласующий трансформатор, контрольный динамик;
- микрофон.

Система «Союз-Р» с выходной мощностью 300 В·А на усилителе У-300 имеет в отличие от других систем две магнитолы типа «Звезда РМ-204»; регуляторы уровня и тембра; защитные устройства от перегрузок и изменения питания; визуальный и звуковой контроль передаваемой информации; антенны ДВ, СВ и УКВ; возможность включения внешнего сигнала.

Все системы поездного радиовещания рассчитаны на аккумуляторное вагонное питание 55 В. Система «Рейс» требует подключения, кроме всего, средней точки аккумулятора.

32.3. Расчет системы громкоговорящего оповещения для открытой местности

В районах станции, где проектируется связь громкоговорящего оповещения, уровень звуковой мощности должен быть на 4 дБ выше уровня шумов, что соответствует 94 % разборчивости речи. Усредненные экспериментальные величины уровней шумов приведены ниже (в дБ):

- в торловине станции — 80;
- в средней части парков — 76;
- на платформе при отсутствии (пассажиры ждут) поезда — 30...40;
- на платформе (поезд прибывает или отправляется) — 60...80;
- на платформе (поезд останавливается, пассажиры входят и выходят из вагонов) — 50...60.

Звуковое давление убывает в зависимости от расстояния до источника звука: чем точка ближе к источнику, тем звуковое давление больше:

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{R_2}{R_1},$$

где P_1 — звуковое давление на расстоянии R_1 от источника звуков;
 P_2 — звуковое давление на расстоянии R_2 от источника звука.

Любое звуковое поле характеризуется эффективным звуковым давлением, выраженным в Н/м². Эффективное звуковое давление на пороге слышимости на средних частотах звукового диапазона 600...1500 Гц равно $P_0 = 12 \cdot 10^{-5}$ Н/м², а на пороге болевого ощущения — 20 Н/м².

Звуковое поле также характеризуется уровнем звукового давления, выраженным в логарифмических единицах — децибелах (дБ):

$$N = 20 \lg \frac{P}{P_0}$$

где P — эффективное звуковое давление в данной точке поля;

P_0 — эффективное звуковое давление, принятое за нулевой уровень (давление на пороге слышимости).

1. Расчет озвучения начинают с определения минимального уровня звукового давления, который должен превышать уровень шумов на $N_{\text{п}}$:

$$N_{\text{мин}} = N_{\text{ш}} + N_{\text{п}}$$

2. Считая, что динамический диапазон речи диктора $D = 20$ дБ, находим максимальный уровень звука

$$N_{\text{макс}} = N_{\text{ш}} + N_{\text{п}} + D,$$

который не должен превышать 110 дБ, т.е. не приближаться к порогу болевого ощущения. Если это условие не соблюдено, то уровень перекрытия можно уменьшить.

3. Для озвучения открытых пространств на железнодорожном транспорте применяются рупорные громкоговорители или звуковые колонки, так как зона озвучения должна быть резко ограничена.

В первом приближении можно считать, что характеристика направленности рупорного громкоговорителя имеет форму эллипсоида, в вершине которого расположено выходное отверстие рупора. Направленность громкоговорителя определяется эксцентриситетом этого эллипсоида. Обычно он равен 0,8...0,9.

4. Дальность действия громкоговорителя по его акустической оси зависит от высоты подвески и угла подвески (угла, образуемого акустической осью громкоговорителя и вертикалью — углом α на рис. 32.2). Зная минимальное звуковое давление для данного объекта, рассчитанное по формулам, и данные громкоговорителя, определим величину r_2 из соотношения

$$\frac{P_c}{P_2} = \frac{r_2}{r_1},$$

где P_c — звуковое давление стандартное;

P_2 — звуковое давление, соответствующее минимальному для озвучиваемого объекта;

r_1 — 1 м;

r_2 — расстояние по акустической оси рупора громкоговорителя до точки с минимальным звуковым давлением.

Диаграмму направленности громкоговорителя определяет выражение:

$$r = r_2 \lambda(\theta) = r_2 \left(\frac{P}{P_c} \right) = r_2 \frac{(1 - \epsilon^2) \cos \theta}{1 - \epsilon^2 \cos^2 \theta},$$

где P и P_c — звуковое давление по акустической оси и под углом θ к ней на одном и том же расстоянии от рупора; ϵ — эксцентриситет эллипсоида.

Площадь, озвученная одним громкоговорителем, — это проекция эллипсоида на плоскость, параллельную земной поверхности на уровне ушей слушателей. Проеция берется на плоскость, находящуюся на расстоянии 1,6 м от

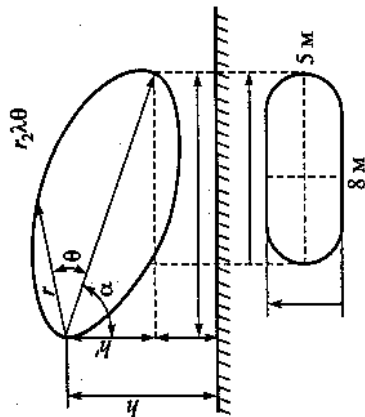


Рис. 32.2. Геометрические характеристики рупорного измерителя

земли, по среднему росту человека (так как люди на платформе стоят). Выберем высоту подвеса $h = h' + 1,6$:

$$2h = h' \rightarrow 1,6; \quad h' = 2h - 1,6,$$

где h — высота подвеса громкоговорителя;

h' — теоретическая (расчетная) высота подвеса.

Рассчитаем угол подвеса α и расстояние до самой удаленной точки на проекции эллипсоида 1 (см. рис. 32.2):

$$\cos \alpha = \frac{h'}{r}; \quad 1 = r_2 \sin \alpha.$$

Определим оси эллипса (проекция эллипсоида в плоскости озвучения):

$$\alpha = \frac{1(1 - \epsilon^2)}{1 - \epsilon^2 \sin^2 \alpha}, \quad \epsilon = \frac{1(1 - \epsilon^2)}{\sqrt{1 - \epsilon^2 \sin^2 \alpha}}$$

Если в точке на расстоянии 1 уровень звукового давления при нормальной мощности громкоговорителя равен минимальному, то в любой точке внутри эллипса уровень будет больше на основании:

$$P = P_2 \frac{r_2}{r} \frac{(1 - l^2) \cos \theta}{1 - l^2 \cos^2 \theta},$$

что вызывает неравномерность поля озвучивания в пределах эллипса. Неравномерность озвучивания определяется по формуле

$$\Delta N = 20 \lg \frac{1 + \sqrt{1 + (1 - l^2) \operatorname{ctg}^2 \alpha}}{2}$$

и для железнодорожных объектов не должна превышать 8...8,5 дБ.

Если ΔN велика или эллипс очень велик и перекрывает слишком большую площадь, то следует изменить высоту или угол подвески и провести расчет в обратном порядке.

Расчет в закрытых помещениях (в залах ожидания, в цехах и депо, в кассовых залах и т.д.) усложняется необходимостью учета реверберации (многократного отражения от стен, потолка и предметов в зале) и требует тщательного акустического расчета для повышения условий разбираемости сообщений. Расчет громкоговорящей поездной связи упрощается наличием прототипа и стандартизированного расположения громкоговорителей, расчету подлежат потери в фидерной линии и определения акустических требований к размещению усилительной установки.

33. ТЕЛЕВИЗИОННЫЕ СИСТЕМЫ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

Основной принцип телевизионной передачи изображения заключается в следующем: подлежащее передаче изображение, сфокусированное на оптико-электрическом преобразователе (это чаще всего матрица ПЗС — матрица из приборов с зарядовой связью), раскладывается на отдельные элементы (матрицы) и превращается в электрический сигнал.

ПЗС-матрица состоит из большого количества элементарных фотоприемников — пикселей, каждый из которых представляет собой миниатюрный конденсатор, накапливающий заряд в зависимости от освещенности. Следуя сигналам опроса пикселей по строкам, эти заряды разряжаются на нагрузочные сопротивления, и тем самым образуются напряжения на выходе ПЗС-матрицы, развернутое по строкам.

Изображение передается по строкам при перемещении точки опроса элементов матрицы слева направо; весь кадр (фиксированное изображение) раскладывается на 625 строк (стандарт Росени), причем сначала рассматриваются (передаются) нечетные строки, затем четные.

Получается чересстрочная развертка (мелкий пунктир — обратный ход) (рис 33.1). Аналогично развертывается изображение на воспроизводимом экране видеоприемника. Во время движения изображающей

точки сигнал изображения изменяется вдоль строки в зависимости от освещенности отдельных частей изображенного объекта (рис 33.2). Развертка изображения должна производиться настолько быстро, чтобы восприятие изображения сохранялось глазом до тех пор, пока не будет построено передан весь кадр. При этом в силу ряда причин (в частности, для устранения возможного электрического фона — 50 Гц) необходимо, чтобы частота повтора кадра (мелькания)

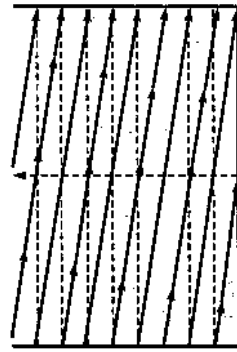


Рис. 33.1. Строчно-кадровая развертка изображения

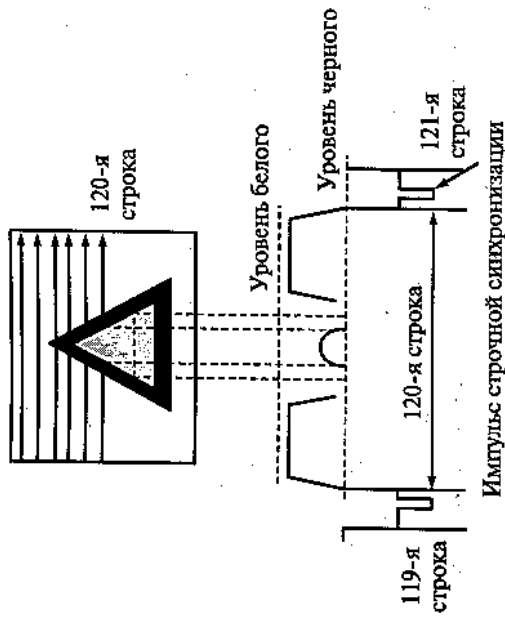


Рис. 33.2. Образование электрического сигнала изображения

была кратна промышленной частоте питающей сети, т.е. 25, 50 Гц.

Для того чтобы начать передачу строки всегда в электрическом сигнале, передают сначала импульс синхронизации строк (рис. 33.2 и рис. 33.3), от которого начинается строка, а переход от полукадра к полукадру также синхронизируется отдельными импульсами (они более широкие по сравнению со строчными) кадровой синхронизации.

Нарушение кадровой синхронизации приводит к постоянному перемещению изображения по вертикали (и его мельканию); нарушение строчной синхронизации приводит к изменению картины по горизонтали (двоение, утроевание изображения). В целом телевизионный сигнал представлен на рис. 33.3.

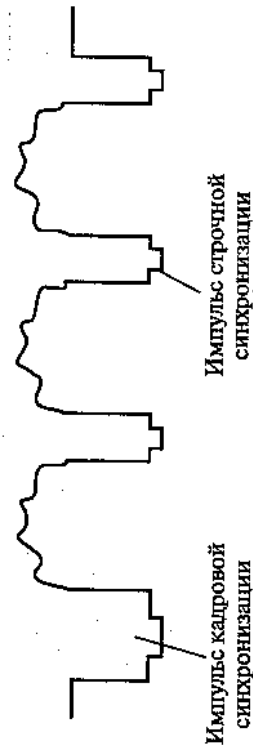


Рис. 33.3. Импульсы синхронизации

Приведенный на рисунке сигнал изображения является видеосигналом, так как представляет собой сигнал со спектром от постоянного тока. Учитывая весьма малые интервалы времени для передачи элементов изображения в строке (частота передачи строк: $625 \text{ строк} \times 25 \text{ кадров} = 15,525 \text{ Гц}$, а число растровых элементов в одной строке ~ 400), верхняя частота спектра сигнала должна составить $15,525 \text{ Гц} \times 400 = 6,21 \text{ МГц}$ (обычно допускают для верхней частоты спектра $6,5 \text{ МГц}$).

Нижняя частота спектра телевизионного видеосигнала составит 50 Гц (частота кадровой синхронизации как самая низкая частота в сигнале изображения).

Ограничение полосы сигнала в верхней части спектра приводит к исчезновению мелких деталей — изображение «смазывается», ограничение в нижней части спектра приводит к повышению контраста изображения, превалированию мелких деталей над крупными и даже срыву синхронизации по кадрам.

Таким образом, полоса телевизионного видеосигнала равна $50 \text{ Гц} \dots 6,5 \text{ МГц}$. При передаче такого сигнала по радиоканалу используют амплитудную модуляцию с частичным подавлением нижней боковой полосы, а возможный канал звука определяют на поднесущей частоте $6,5 \text{ МГц}$ и используют для передачи звуко-частотную модуляцию. Поэтому спектр радиосигнала, передающего сигналы изображения и звука, можно представить рис. 33.4 (полная полоса телевизионного сигнала — $8,0 \text{ МГц}$).

Передача телевизионного сигнала по радиоканалу осуществляется обычными способами радиосвязи. Отличие состоит лишь в том, что в приемнике разделяют сигналы изображения, звука и синхронизации по кадрам и строкам. Кроме того, для съемки и воспроизведения изображения (создания полного кадра) применяются электрические развертки по строкам (горизонтали) и кадрам (вертикали) (требуется уменьшение отдельных генераторов пилообразного напряжения для разверток и синхронизация их).

Все системы видеонаблюдения можно свести в единую структурную схему (рис. 33.5).

Рассмотрим основные принципы формирования системы видеонаблюдения и его аппаратную базу.

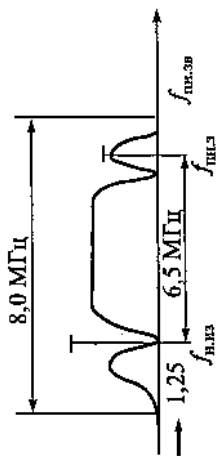


Рис. 33.4. Спектр радиосигнала: $f_{нз}$ — несущая частота звука, $f_{из}$ — несущая частота изображения

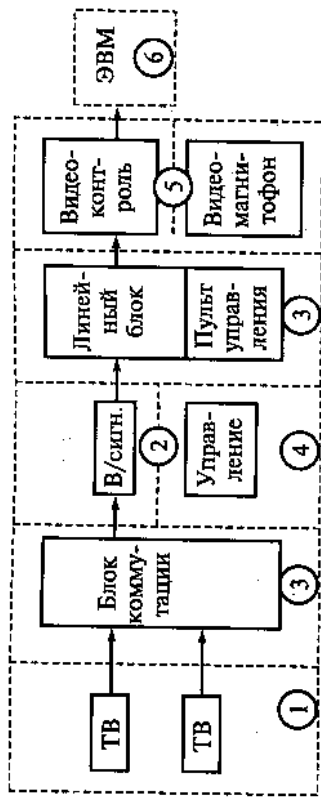


Рис. 33.5. Структурная схема систем видеонаблюдения

Первым и исходным элементом системы является первичный преобразователь — изображение — сигнал — телевизионная видеокамера — ТВК. Сегодня на рынке видеотехники существует большой объем различных телекамер импортного и отечественного производства. Отметим специальные технические требования к видеокамерам.

Телевизионная камера состоит из двух узлов: собственно видеокамеры на ПЗС-матрице и объектива. Рассмотрим параметры видеокамер:

1. *Формат* — относительный размер (по диагонали) ПЗС-матрицы в дюймах ($1", 2/3", 1/2", 1/3", 1/4"$), наибольшее распространение получили камеры размера $1/2"$ и $1/3"$ (камеры $1/2"$ имеют большую площадь ПЗС-матрицы, большое количество пикселей и поэтому лучшее изображение). Формат камеры важен для сопряжения с объективом для достижения требуемого угла обзора (несоответствие формата камеры и объектива вызывает искажения видеокартинки).

2. *Чувствительность*, характеризующую способность видеокамеры работать в условиях низкой освещенности, измеряют в люксах (при фиксированной светосиле объектива, обычно $F=1,4$). Чувствительность большинства современных видеокамер составляет $0,01 \dots 1$ люкс для черно-белых и $1,5 \dots 2$ люкса для цветных видеокамер. Следует отметить восприимчивость камер к инфракрасному (невидимому глазу человека) освещению, что позволяет создавать скрытые системы видеонаблюдения.

3. *Разрешение* — способность различно наблюдать близкие элементы, измеряется в телевизионных линиях (ТВЛ). Обычно разрешение в $38 \dots 420$ ТВЛ достаточно для нормальной работы системы наблюдения (с увеличением формата камеры разрешение увеличивается), для цветных камер разрешение, как правило, ниже.

4. *Автодиаграмма, электронный затвор.* Электронный затвор — изменяющаяся длительность импульса, на время которого открывается (электрически) затвор камеры, позволяя поддерживать постоянный уровень видеосигнала при изменении освещенности объектива в определенных пределах. Эта функция также позволяет снимать движущиеся объекты без «смазывания» картинки ввиду кратковременной засветки ПЗС-матрицы за время, в которое движущийся объект переместится незначительно. Сегодня практически все видеокамеры имеют электронный затвор. Для регулировки засветки ПЗС-матрицы при больших изменениях освещенности объекта и получения максимальной глубины резкости следует применять объективы с автоматической диафрагмой, управляемой от сигналов видеокамеры.

5. *Гамма-коррекция* — это коррекция амплитудной характеристики для компенсации нелинейной зависимости яркости от уровня видеосигнала, свойственная всем видеомониторам, компенсация этого эффекта достигается предискажением амплитуды видеосигнала еще на формировании его в видеокамере. Обычно встроенный гамма-корректор имеет характеристику $\Gamma = 0,45$, некоторые камеры имеют возможность изменения коэффициента коррекции в пределах $0,45 \dots 1,0$, что приводит к субъективному повышению контрастности изображения (большей «четкости» картинки).

6. *Компенсация заднего света (BLC)* — определение диафрагмы и состояния электрического затвора, регулирующих освещение ПЗС-матрицы не по интегральному освещению всей картинки, а только по освещенности центрального объекта за счет некоторого ухудшения засвеченной области заднего фона.

7. *Сочленения видеокамеры с объективом* регулируются стандартом крепления объектива («С» или «СS»). Камеры стандарта «С» могут применяться только с объективом стандарта «С», камеры стандарта «СS» могут применяться с объективом стандарта «СS» или с объективом стандарта «С», но при этом требуется применить переходные кольца.

Сменные объективы к видеокамерам различаются по классам:

- с постоянной диафрагмой;
- с ручным управлением диафрагмы;
- с автоматической диафрагмой;
- с изменяемым фокусным расстоянием (трансфокаторы).

Фокусное расстояние объектива определяет угол обзора видеокамеры (чем меньше фокусное расстояние, тем больше угол обзора, и на-

оборот); в системах видеонаблюдения обычно используют объективы с фокусным расстоянием $f = 3 - f = 12$ мм.

Светосила объектива характеризует долю световой энергии, пропускаемой объективом. Светосила обозначается F , большей светосиле соответствует меньшее число F , при большей светосиле лучше используется чувствительность видеокамеры.

Объективы с постоянной и ручной диафрагмой применяются в условиях малого изменения освещенности (обычно в помещениях). Объективы с ручным управлением диафрагмы позволяют подобрать минимально возможную диафрагму и тем самым увеличить глубину резкости.

Автоматическая диафрагма позволяет получить качественное изображение при значительных изменениях освещенности на объекте, что особенно важно при наружной установке видеокамеры. Существуют два способа управления диафрагмой: прямое (*Direct Drive — DD*) и с управлением от видеосигнала (*Video Drive — VD*), второй способ качественнее удерживает уровень видеосигнала.

Трансфокатор — объектив с изменяющимся фокусным расстоянием. Существуют объективы с ручным и дистанционным управлением. Трансфокаторы с ручным управлением позволяют при установке видеокамеры выбрать (установить) требуемый угол обзора (по месту), это очень удобно, но дорого, так как трансфокатор-объектив на порядок дороже обычного объектива. Трансфокаторы с дистанционным управлением позволяют изменять фокусное расстояние непосредственно в процессе наблюдения, «приближая» или «удаляя» картинку при управлении с пульта ($f = 6 \dots 72$ мм). Обычно видеокамера с трансфокатором устанавливается на поворотном устройстве, что позволяет обозревать большие пространства с возможностью детального изучения выбранного объекта наблюдения.

Камеры стандартного дизайна в пластмассовом или металлическом корпусе имеют стандартное крепление для монтажа в кожухе или на кронштейны. Они также имеют стандартное крепление для установки объектива. Основные параметры стандартных видеокамер:

- формат: $1/3", 1/2"$ ПЗС-матрица; чувствительность $0,01 \dots 0,07$ люкс (лк) для черно-белых и $1,2 \dots 1,4$ лк для цветных; разрешение $400 \dots 600$ ТВЛ, гамма-коррекция $0,45$; автодиафрагма *DD, VD*; функция *BLC*; электрический затвор $1/50 \dots 1/10\ 000$; F (светосила) $= 1,2 \dots 1,4$;
- питание: 12 VDC (*direct current* — постоянный ток) или 220 VAC (*alternating current* — переменный ток).

Кроме видеокамер со сменными объективами в последнее время появились видеокамеры со встроенными объективами:

- видеокамеры в корпусе с объективом предназначены для внутренней и внешней установки, чаще всего входят в состав стандартных комплектов со своим монитором, имеют параметры: чувствительность 0,1 лк; разрешение 380 ТВЛ; $F = 1,8$; $f = 2,1 \dots 4,3$ мм, с подсветкой ИК-лучами и со звуковым каналом. Обычно входят в системы охраняемых комплексов.

Модульные видеокамеры — бескорпусные, представляют собой одноплатные камеры со встроенными объективами. Размеры плат: 30×30 мм, 35×35 мм; $F = 2,0$; $f = 3,6$ мм. Могут встраиваться в интерфейс или миниатюрные корпуса.

Миниатюрные видеокамеры — камеры в корпусах со встроенными объективами; чаще всего встроены в дверные глазки. Параметры таких камер: $0,05 \dots 1,5$ лк, $380 \dots 420$ ТВЛ, $F = 2,0$; $f = 3,6 \dots 4,3$; диаметр значка $0,6 \dots 1,2$ мм, угол обзора $72 \dots 74^\circ$, питание $10 \dots 15$ ВДС.

Купольные видеокамеры — камеры, встроены в потолочные купольные светильники, имеют параметры: $0,01 \dots 0,05$ лк; 400 ТВЛ; $F = 2,0$; $f = 3,6$ мм, $1/3''$, $1/60 \dots 1/100$ 000; диаметр $1,2$ мм; угол обзора $72 \dots 74^\circ$; питание 18 ВДС.

Климатические и механические требования к видеокамерам определяются условиями их эксплуатации с учетом протяженности железных дорог с севера на юг и с запада на восток. При наружной (уличной) установке эти требования можно сформулировать следующим образом:

- диапазон рабочих температур от -50 до $+50$ °С (с запасом);
- диапазон изменения влажности от 50 до 100 %;
- диапазон вибрационных нагрузок до 3 г при частотах от 20 до 100 Гц;
- диапазон ударных нагрузок до 2 г.

Такие видеокамеры (из имеющейся номенклатуры) использовать практически невозможно. Поэтому приходится применять защитные кожуха для видеокамер. Эти кожуха должны создавать внутренний «микроклимат» для видеокамеры за счет внутреннего подогрева. Желательно иметь подогрев стекла кожуха для борьбы с обледенением и налипанием мокрого снега, а также «лворники» (или облуд) стекла с обмыванием для устранения осадков сажи, копоти, пыли, грязи, что имеется в избытке в железнодорожных парках и на путях. Кожух должен также защитить камеру от излишней влаги и прямого воздействия дождя и снега.

Вся аппаратура, устанавливаемая вне мест постоянного контроля обслуживающего персонала, должна обладать вандалостойкостью. Обычно эту проблему решают двумя путями: либо увеличением прочностных характеристик, либо маскировкой. Оптимальный вариант должен соответствовать обоим способам защиты. Для неуязвимых камер одного направления можно рекомендовать их размещение в корпусах светодиффузоров, специально переоборудованных для этих целей. Они имеют высокие прочностные характеристики, их можно закрывать прочными замками. Они сами могут использоваться как защитные кожухи, т.е. их можно дооборудовать дополнительно нагревательными приборами, оптическое окно можно выполнить достаточно малого размера для защиты от ручного доступа. Наличие козырьков обеспечивает защиту от интенсивной засветки. Другой путь защиты предполагает маскировку видеокамер наблюдения. Чрезвычайно малые габариты современных ПЗ-камер позволяют встраивать их в фонари освещения, рупорные громкоговорители, другие бытовые приборы и устройства. Сложнее обстоит дело с подвижными камерами. Однако они обычно устанавливаются в местах малодоступных (высоких мачтах, в устройствах подвески высоковольтного контактного провода и т.д.) и на участках, находящихся под контролем персонала станций.

Вторым важнейшим элементом систем видеонаблюдения является канал передачи телевизионного сигнала. Видеосигнал для черно-белого телевидения при четкости $400 \dots 450$ ТВЛ занимает полосу частот порядка 50 Гц... 5 МГц. Следовательно, аппаратура передачи и линия связи должны обладать соответствующей полосой частот пропускания. Простейшим методом передачи можно считать применение коаксиального кабеля. Так как в железнодорожных парках и объектах железнодорожного транспорта ранее не предусматривалась прокладка такого кабеля, то его приходится прокладывать заново. Прокладка такого кабеля в земле сопряжена со значительными трудностями при переходе путей и при выплывании траншей на железнодорожных станциях с учетом пересечения имеющегося кабельного хозяйства. Поэтому в большинстве случаев использование коаксиального кабеля затруднительно и редко используется. Гораздо проще для передачи телевизионного сигнала использовать оптоволоконный кабель, имеющий существенные преимущества перед коаксиальным: повышенная прочность, широкая полоса пропускания, независимость от электромагнитных наводок. Однако ему также присущ целый ряд недостатков: высокая стоимость кабеля и оконечной аппаратуры.

Гораздо проще использовать существующие на железнодорожных станциях телефонные линии связи. Следует отметить, что нормативная полоса частот телефонной линии 300...3400 Гц, что значительно меньше требуемой для передачи изображения. Однако при глубокой коррекции верхних частот и применении симметрирования линий связи удается получить достаточную для практики четкость изображения при длине линии связи до 700...800 м. Другой способ использования телефонного канала основан на передаче оцифрованного сигнала с применением алгоритмов сжатия сигнала изображения. Отображаемая «картинка» на экране монитора ПЭВМ имеет, к сожалению, «прерывистый» характер (похожий на «мультипликацию»), т.е. происходит задержка во времени. Изображение передается не в реальном масштабе времени. Это создает значительные неудобства для оператора, оценивающего изображение в движении, например, движущийся состав. С другой стороны, такое «скачкообразное» движение изображения с кратковременной остановкой кадра может оказать крайне полезным для фиксации изображения и его дальнейшего анализа, например, ручной или автоматической идентификации номеров вагонов и состояния подвижного состава.

Еще одним методом передачи сигнала изображения в реальном масштабе времени может служить радиоканал, рабочая частота 2410 МГц ($\lambda = 12,45$ см) используется в качестве несущей частоты телевизионного радиоканала. Электромагнитная энергия этого диапазона распространяется прямолинейно в пределах прямой видимости, что требует организации такого прямого канала. Это требование достаточно легко реализуется в условиях железнодорожных станций, на которых имеется значительное количество достаточно высоких (20...30 м) осветительных вышек, где можно устанавливать передающие и принимающие системы. Достаточно малые размеры длины волны (12,45 см) позволяют построить антенные системы небольших габаритов с усилением до 12 дБ, что позволяет применить передающие устройства мощностью до 100 мВт при обеспечении дальности до 5 км. С учетом невысокой стоимости и несложной установки радиоканала представляется предпочтительным при организации линии связи. Для повышения надежности канала передачи можно применить полное его резервирование.

Радиоканал для передачи видеоизображения в пределах железнодорожной станции используется на дальностях 1...5 км, что удовлетворяет большинству задач локального наблюдения на ж.-д. станциях.

Намного сложнее решать задачу передачи видеоизображения на большие расстояния, например, поезвному диспетчеру. В этом случае воз-

можно использование существующих магистральных сетей — оптоволоконных, радиорелейных или спутниковых. Для оптоволоконной системы связи потребуются выделение отдельной жилы кабеля, организация введения видеосигнала на необорудованных участках трассы (например, на необслуживаемых переездах), синхронизация возможно большего количества источников видеосигнала, что потребует дополнительной линии управления. Использование радиорелейной линии связи возможно при сравнительно небольших расстояниях от ретранслятора, организация процедуры ввода сигнала изображения и его выделение потребует, вероятно, отдельного ствола для его передачи. Доставка сигнала изображения от пункта съема до ретранслятора тоже представляет непростую задачу с техническими сложностями, описанными выше. Спутниковая система передачи видеосигнала хороша своей мобильностью, автономностью, однако обладает высокой стоимостью обслуживания. Сейчас при участии ВНИИУП разработана спутниковая система передачи видеоизображения для ремонтно-оперативной радиосвязи (РОРС). Для передачи видеоизображения можно также воспользоваться существующей сетью проводной технологической связи, например ПДС. Узкополосность тракта передачи не позволяет передать видеоизображение в «реальном» масштабе времени. Однако для поездного диспетчера (или оператора, контролирующего участок движения) нет необходимости наблюдать изображение в реальном масштабе времени, достаточно обновлять изображение со скоростью от 1 до 4 с. Это означает, что для этих целей возможно использование (при необходимости) канала поездной диспетчерской связи.

Третьим элементом систем видеонаблюдения следует считать систему управления видеокамерами и каналами передачи изображения. Обычно на стационарных постах наблюдения устанавливаются несколько видеокамер, поэтому их необходимо переключать на один канал передачи изображения. Кроме того, при установке обзорных видеокамер необходимо передавать команды управления исполнительным двигателям для поворота камер и регулирования трансфокатора. Применение резервированных радиоканалов видеосигнала потребует сигнала управления на переключение передатчиков. Отдельный сигнал может потребоваться для включения автономных осветительных устройств. Общее число команд, передаваемых по линии управления, может достигать 8...10, что оправдывает применение кодовых сигнальных последовательностей для управления. На пульте управления следует приме-

сти — 256; число входов — 4...16; число выходов — 1...2, входы «*alarm*», электронный меню, муммер.

Детектор движения обеспечивает анализ изменений, произошедших в видеосигнале, и выработку сигнала тревоги на основе анализа этих изменений. По принципу действия детекторы движения могут быть аналоговые и цифровые, по количеству контролируемых видеоканалов — однозональные и мнгозональные. Согласно ГОСТ Р15558—2000, технические характеристики детекторов движения следующие:

1. Характеристика видеовходов (количество и стандарт видеосигнала) — PAL, SECAM, NTSC и др.
2. Чувствительность, определяемая порогом срабатывания, который зависит от минимального размера оцениваемой детали изображения, градаций изменения яркости оцениваемой детали, скорости перемещения детали изображения. В целом структурная схема детектора движения представлена на рис. 33.6.
3. Количество, размер и форма зон обнаружения.
4. Полоса частот видеосигналов, пропускаемых детектором, характеризует параметры разрешения.
5. Количество, тип и параметры выходных сигналов тревоги.
6. Дополнительные функции: знакогенератор, указатель времени и даты, экранное меню и т.д.

Устройства записи видеосигнала. Для регистрации изображения в системах видеонаблюдения используются специальные видеоматрифоны длительной записи, которые позволяют на трехчасовую видеокассету записать до 960 часов видеоинформации. При этом производится запись кадров с «прореживанием». Вход «*alarm*» позволяет временно перевести запись в режим без прореживания кадров для получения более качественной записи динамических процессов. Экранное меню и сервисные функции повышают оперативность управления и качество записи. Основ-

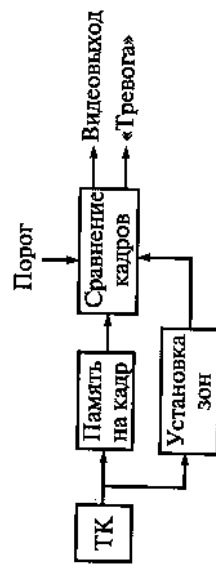


Рис. 33.6. Структурная схема детектора движения

нить шифратор, на блоке коммутации исполнительными механизмами — дешифратор. Пятым элементом системы видеонаблюдения будем считать отображение информации в месте ее использования. Представителями наиболее оптимальным использованием черно-белого видеомонитора в паре с видеоматрифоном.

В системах видеонаблюдения используются специальные мониторы, рассчитанные на длительную эксплуатацию в условиях непрерывной работы. Мониторы различаются размером экрана (по диагонали 5"…12"), разрешением — 600…1000 ТВЛ, по градации яркости (в числе градаций) и другим параметрам. Мониторы включаются в системы обработки изображений, круг которых постоянно расширяется, телевизионные системы приобретают качества «интеллектуальности». Рассмотрим некоторые устройства обработки изображений.

Видеоконмутаторы (свитчеры) — устройства, обеспечивающие поочередный вывод на экран монитора сигналов от нескольких видеоканалов. Коммутация может осуществляться вручную или автоматически, поочередно через заданный (регулируемый) интервал времени. Входы «*alarm*» (тревоги) позволяют выводить на экран изображения от соответствующей видеокамеры при срабатывании датчика тревоги или от любого другого источника сигнала. В некоторые коммутаторы встроены знакогенераторы, которые выводят на экран номер камеры, дату, время или другие сообщения. Основные параметры: число входов от 4 до 12 в простых устройствах, до 64 — в сложных; число выходов от 1 до 4, входы тревоги, знакогенераторы, возможен звуковой выход на динамики.

Кадраторы обеспечивают вывод на экран монитора изображений от четырех видеокамер в режиме мультикартинки, могут иметь вход «*alarm*», функцию видеоконмутатора, «кадр в кадре» и т.д. Основные параметры: разрешение (в точках, пикселях — 1024(2048)×512) и градации яркости (в числе градаций — 256).

Мультиплексоры — устройства объединения сигналов, обеспечивают высококачественную запись сигналов от нескольких видеокамер (обычно до 16) на один видеоматрифон. Кадры записываются последовательно без потери качества при воспроизведении на другой камере. Мультиплексор может использоваться для получения мультикартинки для оперативного наблюдения одновременно с записью. «Стоп-кадр» позволяет рассмотреть подробно изображения, знакогенератор зафиксировать данные по камерам и времени. Основные параметры: разрешение (в пикселях — 730(1024)×464(576)); число градаций ярко-

ные параметры специальных видеомагнитофонов: формат записи VHS, S-VHS, время записи на S-VHS: 3-12-24-48-72-120-240-360-480-600-720-960 часов; на VHS: 3-12-24-72-96-120-168 (на кассету E180) и 8-24-40-64-94-128-160-224 (на кассету E240); запись звука: 3, 12, 24, 40 (E240); разрешения 350...400 ТВЛ для ч/б и 250 ТВЛ — для цветных.

В последнее время в связи с увеличением памяти жестких дисков ЭВМ появилась возможность одновременной записи видеоизображений в память ЭВМ. При использовании системы сжатия MPEG-2 (на основе экономного кодирования Хаффмена) для 24-часовой записи понадобится 24 Гб цифровой памяти жесткого диска, с дополнениями в виде операционной системы в 1 Гб и других сервисных целей необходим запас дискового пространства в 30 Гб. В качестве примера можно применить жесткий диск фирмы MAXTOR с системой защиты от ударов (*Shock Protection System*) — MAXTOR GL03052.

Твердотельные устройства видеопамати способны запомнить непрерывное видеоизображение до 1 мин, что недостаточно для применения в системах мических процессов, но вполне достаточно для применения в системах обработки видеосигналов, например в детекторах движения.

ИК-осветители — инфракрасные осветители, используются для подсветки ввиду чувствительности видеокамер к инфракрасному спектру. Основные параметры: мощность излучения (иногда для простоты приводят дальность подсветки при условии чувствительности видеокамер 0,02...0,05 лк); длина волны: 880 нм, 930 нм; полный угол $160 \pm 10^\circ$; напряжение питания — 12 В; ток потребления 0,1...5 А.

34. РАДИОЛОКАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

Под радиолокацией понимается способ определения параметров облученного радиоволной объекта по отражению волны от этого объекта. Чаще всего в радиолокации определяется расстояние до объекта (по времени прохождения радиоволны от излучателя до объекта к точке излучения). Но возможно определение скорости и других параметров, например благодаря эффекту Доплера определить скорость и направления движения объекта. (Эффект Доплера — это изменение длины волны при отражении от движущегося объекта, при приближении объекта радиоволна «сжимается» — увеличивается частота колебаний волны, при отдалении объекта волна «растягивается» — частота колебаний волны уменьшается). Отражение радиоволны происходит от металлической поверхности объекта за счет наведенных в ней электрических токов от падающей радиоволны. Эта поверхность «переизлучает» радиоволну в обратном направлении. При соизмеримости геометрических размеров объекта и падающей радиоволны действуют законы оптики по отражению. В радиолокации обычно используется сантиметровой и миллиметровой диапазон радиоволн. Форма отраженной радиоволны зависит от величины отражающего объекта, неоднородности поверхности, электрических потерь в металле отражающего объекта и др. В условиях отражения можно внести дополнительные искусственные свойства, несущие дополнительную информацию об объекте отражения, например идентификацию излучаемого объекта.

34.1. Системы радиолокационной идентификации железнодорожных объектов

Системы радиолокационной идентификации построены на основе внесения информационных признаков в отраженный радиосигнал. При этом используются специальные отражающие устройства (пассивные — на основе электрических резонаторов, активные — на основе переизлу-

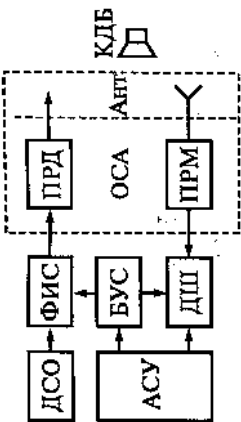


Рис. 34.1. Структурная схема радиолокатора:

АСУ — автоматизированная система управления, БУС — блок управления и синхронизации, ФИС — формирователь излучаемого сигнала, ПРД — передающее устройство, Ант — антенна, КДБ — кодовый датчик бортовой, ПРМ — приемное устройство, ДЦП — дешифратор принятых сигналов, ДСО — датчик счета осей, ОСА — обучающая считывающая аппаратура

ТСК СВ ПАВ. Сравнительная характеристика этих систем, составленная ведущим специалистом отдела программных и технических средств ЦИС МПС РФ В.Л. Романовым, приводится в табл. 34.1.

Таблица 34.1

№ п/п	Наименование параметра	САИД «Пальма»	СИБ «Лотос»	ТСК СВ ПАВ
1		3	4	5
1	Облучающая считывающая аппаратура: изготовление документация патентная чистота	ОСА Литер 01 Имеет патент	Малая серия Без литеры нет	Макетно-опыт. Без литеры Имеет патент
1.1	Рабочий диапазон облучения, МГц по ISO 10374 Примечание. ГКРЧ — Госкомитет по радиочастотам по ГКРЧ России, МГц	850...950 МГц, 2,4...2,5 ГГц 880...900	Не соответств. Не соответств. 135 (ГКРЧ)	Не соответств. Не соответств. 400 (ГКРЧ)
1.2	Мощность излучения, Вт, мВт: для КБД-1, КБД-3 для КБД-2, КБД-4	Непрерывно 150 мВт 2,0 Вт	Параметр не измерялся	2,0 Вт в импульсе

1	2	3	4	5
1.3	Достоверность идентификации	0,9999	Не хуже 0,999	Недостаточно данных испытаний
1.4	Способ идентификации и отображения данных	Прямой, прямое	Косвенный, прямое	Косвенный, через ПЭВМ
1.5	Вероятность ошибки считывания	1 необнаруженный бит на 1 млн считываний	Параметр не измерялся	Параметр не измерялся
1.6	Предельно допустимая плотность потока энергии при 8-часовой рабочей смене: для КБД-1, КБД-3 КБД-2, КБД-4, 5	ГОСТ 12.1.006-84 25 мкВт/см ² 1,5 мкВт/см ² 15,4 мкВт/см ²	Параметр не измерялся	Расчетные значения удовлетворяют ГОСТ
1.7	Объем памяти считывателя, объемы	512 объектов, возможно увеличение до 1024	≈ 300 вагон	800 датчиков
1.8	Радиус действия антенны, м: для КБД-1, КБД-3 КБД-2, КБД-5 КБД-4	> 13,0 > 5,0 > 2,0	0,9	1,0
1.9	Расположение антенны: для КБД-1, 2, 3, 5 КБД-4	Вдоль ж.-д. пути, под путевой решеткой	Только под путевой решеткой	Только под путевой решеткой
1.10	Управление включением считывателя Примечание. ДФПО — датчик фиксации прохода оси	Через ДФПО, рельсовую цепь	Через ДФПО	Считыватель включен постоянно
1.11	Наличие выходных портов	RS-232, ИРПС	RS-232, ИРПС	Спец. интерфейс для ПЭВМ
1.12	Расстояние от считывателя до концентратора (АПД) или СПДЛП	До 5 км	100 м	Частотный (коаксиальный) кабель
1.13	Стыковка с концентраторами СПД ЛП	Имеется	Нет	Нет
1.14	Скорость обмена между ОСА и СПД ЛП	50...28800 бит/с	1200 бит/с	9600 бит/с

1	2	3	4	5
1.15	Необходимость работы аппаратуры считывания с ПЭВМ	Нет необходимости	Нет	Да, только с ПЭВМ
1.16	Централизованная диагностика и сквозной контроль аппаратуры через СПД ЛИН	Имеется	Нет	Нет
1.17	Возможность управления режими работы оборудования через центральную ЭВМ	Имеется	Нет	Нет
1.18	Разрешающая способность антенны по горизонтали, м: для ДИ ($r = 1,0$ м); для КБД-1, -2, -3, ($r = 1,5$ м); $V = 70$ км/ч; $V = 140$ км/ч; для КБД-4 ($r = 1,0$ м), $V = 45$ км/ч	— 2,0 4,0 0,5	Параметр не измерялся	Параметр не измерялся
1.19	Антенна, количество	От 1 до 4	1	1 (3)
1.20	Рабочая зона антенны по вертикали, м	$\pm 1,0$	Не работает	Не работает
1.21	Скорость объекта идентификации, км/ч	140,0 (max 200)	200 — расчетно	400 — расчетно
1.22	Электропитание по ГОСТ 12.2.007—75	220 В, 50 Гц	220 В, 50 Гц	220 В, 50 Гц
1.23	Наличие аппаратуры бесперебойного питания (АБП) в составе системы считывания	АБП в основной комплект не входит	Нет	АБП обязательна для ПЭВМ
1.24	Температурный диапазон работы ОСА	$-50...+70$ °С	$-10...+40$ °С	$+10...+40$ °С
1.25	Потребляемая мощность, Вт	30,0	$-50,0$	30,0
1.26	Габаритные размеры, мм	$320 \times 287 \times 204$	Не определены, опытные образцы — № 1	Не определены, макетные образцы
2	Кодовый бортовой датчик (КБД), модификация Примечание. ДИ — датчик информации	Пять: КБД-1, КБД-2, КБД-3, КБД-4, КБД-5	Одна ДИ — пассивный	Одна ДИ — пассивный
2.1	КБД-1, активный, с источником питания (пальчиковая батарейка), для конгейеров, соответствие ISO 10374—1991	Есть	Нет	Нет
		Да	Нет	Нет

1	2	3	4	5
2.2	КБД-2, пассивный, без источника питания; для подвижных средств ж.-д. транспорта	Есть	Есть	Есть
2.3	КБД-3, активный, источник питания от объекта, для локомотивов, с занесением переменной информации (№ поезда и др.)	Есть	Нет	Нет
2.4	КБД-4, пассивный, без источника питания для тележек, колесных пар и др.	Есть	Нет	Есть
2.5	КБД-5, пассивный, без источника питания для запорно-пломбировочных устройств, соответствие ISO 10374—1997	В стадии разработки	Нет	Нет
2.6	Информационная емкость датчика, бит	128	32	32 (64 в перспективе)
2.7	Возможность увеличения емкости КБД, бит	В перспективе до 1024	Нет	Нет
2.8	Возможность перепрограммирования в условиях эксплуатации на дорогах	До 6 раз, в перспективе до 30 тыс. раз	Нет	Нет
2.9	Рабочие диапазоны частот КБД, кГц по ISO 10374 КБД-1 КБД-2, -3, -4, -5	0,85...0,95; 2,4...2,5 880...900	135 (ГКРЧ) Нет	400 (ГКРЧ) Нет
2.10	Температурный диапазон работы КБД	$-50...+70$ °С	$-50...+70$ °С	$-50...-70$ °С
2.11	Габаритные размеры, мм	$270 \times 60 \times 20$	$180 \times 150 \times 150$	$300 \times 40 \times 20$
2.12	Программирование через программатор	Заводское и местное (лепо) через ПЭВМ	Только заводское при изготовлении	Только заводское при изготовлении
2.13	Способ занесения информации в КБД	Прямой	Косвенный, присвоение номера через ПЭВМ	Косвенный, присвоение номера через ПЭВМ
3	Программатор датчика, модификация Примечание. ПКБД программатор для КБД	два: ПКБД-1, ПКБД-3	Нет	Нет

1	2	3	4	5
3.1	Способ программирования КБД: место программирования КБД — 1, 2, 3, 4, 5 <i>Примечание.</i> БД — база данных	Прямой, заводское или местное (лепо), через ПКБД-1 и ПЭВМ из БД ГВЦ заносится истинный номер вагона	Прямой, только при изготовлении датчика на заводе	Косвенный, на дороге (лепо) ПЭВМ (лепо) ПЭВМ программно из БД ГВЦ соединяет номер вагона и заводской номер датчика
3.2	Программирование переменной составляющей информации в КБД-3 (№ поезда, таб. № машиниста и помощника, индекс поезда и др.) <i>Примечание.</i> РС — поездная радиостанция РВ-1М	Диспетчер через ПКБД-1, РС РВ-1М, считыватель смарт-карт	Нет	Нет
4	Носимый (портативный) прибор считывания (НПС) данных датчика непосредственно обходчиком на станции	В стадии разработки	Нет	Есть
4.1	Объем памяти НПС, объектов	1024	Нет	512 (1024)
4.2	Интерфейс связи с АПД СПД ЛП и ПЭВМ	RS 232, в перспективе Ethernet	Нет	Спец. интерфейс
4.3	Источник питания	Автономный	Нет	Автономный
4.4	Вид корпуса	Носимый	Нет	Носимый
4.5	Габаритные размеры, мм: корпус антенна + интерфейс	150×50×100 200×150 + 1500	Нет Нет	≈150×100×150 ≈200×200×2500

34.2. Радиолокационные измерители скорости

Как отмечалось выше, радиолокационные системы с учетом эффекта Доплера могут определять радиальную скорость облучаемого объекта, что нашло применение в горочном производстве. В автоматизированных горках имеет важное значение информация о скорости движения отцепы на разных позициях торможения. На железных дорогах РФ применяются радиолокационные измерители скорости (РИС) сантимет-

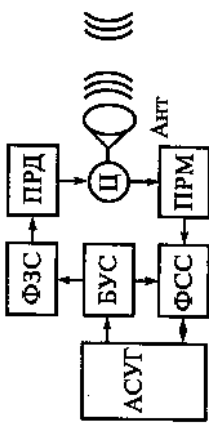


Рис. 34.2. Структурная схема РИС: АСУГ — автоматизированная система управления горкой; БУС — блок управления и синхронизации; ПРД — передающее устройство; Ц — циркулятор, разделяющий направления передачи и приема сигналов; Ант — антенна; ПРМ — приемник; ФСС — формирователь сигнала скорости движения отцепы; ФЭС — формирователь зондирующего сигнала

рового и миллиметрового диапазонов нескольких разработчиков. Структурная схема РИС для всех систем одинакова и приведена на рис. 34.2. Ускорительные параметры РИС:

- диапазон измеряемых скоростей: 3...30 км/ч;
- дальность измерений: 5...30 м;
- точность измерения скорости: 0,3...0,5 км/ч.

Радиолокационные измерители скорости разрабатываются также для локомотивных скоростометров для измерения пройденного пути, скорости и ускорения движения, а также для предотвращения буксования и юза локомотивов.

В начале 1990-х гг. специалистами МИИТа совместно с НПП «Исток» разработано новое поколение горочных измерителей РИС-В3 с повышенной дальностью действия, большим диапазоном измеряемых скоростей, высокой точностью. С 2001 г. НПП «Исток» начал серийный выпуск горочного индикатора скорости РИС-В3М. Последнее поколение горочных измерителей реализовано с применением микропроцессорной элементной базы в каналах обработки сигналов. РИС-В3М устойчиво работает в условиях воздействия вибрационных нагрузок в диапазоне частот от 10 до 70 Гц с ускорением до 3,8 g при неблагоприятных атмосферных условиях: дождь, туман, иней, роса. Диапазон измеряемых скоростей от 1,5 до 3,5 км/ч (4...46 км/ч). Частота излучаемого сигнала 37,5 ГГц ± 1%, мощность излучения 10...20 МВт, мощность потребления от сети 25 Вт.

Первые для класса радиолокационных горочных измерителей в индикаторе РИС-В3М реализованы: цифровой канал передачи информации по стандартному стыку RS-485, режимы непрерывного дистанционного контроля, встроенного самотестирования и самодиагностики. Электронная функциональная схема РИС-В3М представлена на рис. 34.3. Излучаемый сигнал формируется в генераторе 3 и через ферритовый развязывающий модуль 2 передается в антенну 1. Отраженный от движущегося объекта сигнал из антенны после фильтра 2 поступает на сме-

35. ЭЛЕКТРОПИТАНИЕ РАДИОУСТРОЙСТВ

Питание стационарных устройств производится, как правило, от электрической сети 220 В, 50 Гц с применением выпрямителей. Кратко рассмотрим схемы и принципы построения выпрямителей.

35.1. Выпрямители

Однополупериодная схема выпрямителя показана на рис. 35.1. Ее достоинство — простота, в частности, наличие только одного вентиля. Недостатки — низкое использование трансформатора по мощности и большие пульсации выпрямленного напряжения.

Однополупериодная схема выпрямителя применяется в тех случаях, когда требуется небольшая мощность выпрямленного тока при сравнительно высоком напряжении, а нормы допустимых пульсаций не очень жесткие.

Двухполупериодная схема выпрямителя (рис. 35.2) широко применяется в выпрямителях малой и средней мощности. Для построения такого выпрямителя требуется трансформатор с выводом от середины вторичной обмотки.

Мостовая схема выпрямителя (рис. 35.3) применяется преимущественно в выпрямителях малой и средней мощности. Достоинством мостовой схемы выпрямителя является упрощение трансформатора при высоком его использовании.

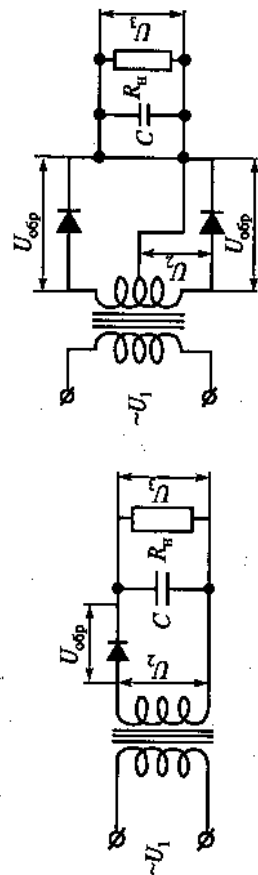


Рис. 35.1. Однополупериодная схема выпрямителя

Рис. 35.2. Двухполупериодная схема выпрямителя

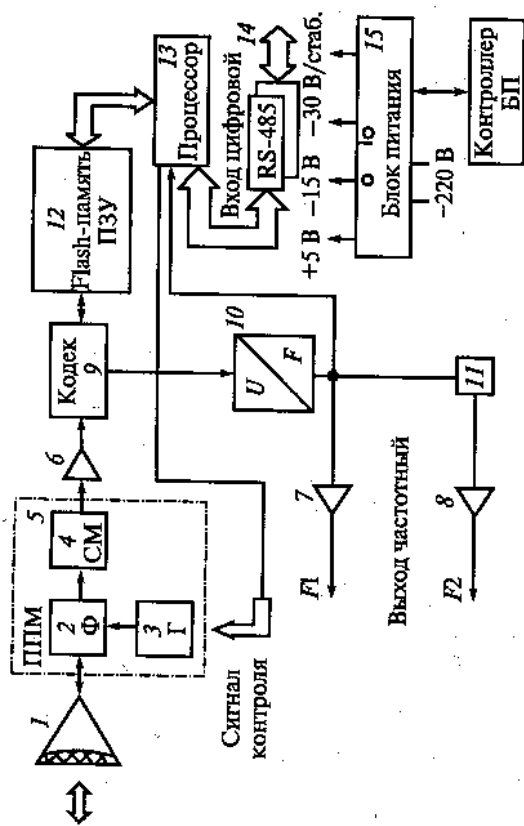


Рис. 34.3. Функциональная схема РИС-В3М

сигнал 4, где смешивается с сигналом генератора 3, выделяется сигнал разностной доплеровской частоты в диапазоне от 0...3200 Гц, после фильтра в кодеке 9 усилителя 6 происходит оцифровывание принимаемого сигнала. Здесь он преобразуется в 16-разрядный двоичный код, и после запоминания в ПЗУ 12 обрабатывается в процессоре 13 с помощью программы БПФ и в цифровом виде выводится на стик RS-485 для дальнейшей обработки. Одновременно снимаемый с кодека сигнал после преобразования в 10 и 11 в симметричном виде после усиления в 7 и 8 поступает на выходы F1 и F2 для индикации скорости движения отцепы.

Радиолокационная часть размещается в герметизированном корпусе и комплектуется поворотным устройством. Масса РИС-В3М — 12 кг, габаритные размеры 480 × 220 × 210 мм.

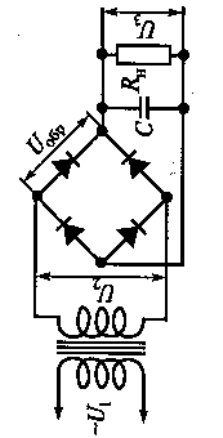


Рис. 35.3. Мостовая схема выпрямителя

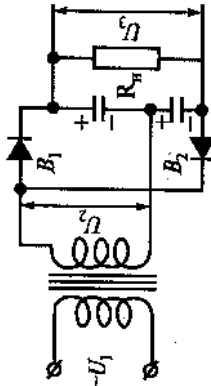


Рис. 35.4. Параллельная схема выпрямителя с удвоением напряжения

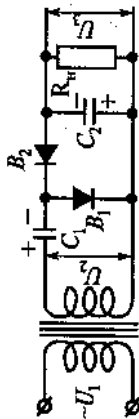


Рис. 35.5. Последовательная схема выпрямителя с удвоением напряжения

Схемы выпрямителей с умножением напряжения применяются для повышения выпрямленного напряжения при заданном напряжении на вторичной обмотке трансформатора.

Принципиально можно получить большую кратность умножения, однако практически ограничиваются умножением в 2, 3 и 4 раза.

Наиболее часто встречается параллельная схема выпрямителя с удвоением напряжения (рис. 35.4); последовательная (рис. 35.5) применяется редко. Преимущество параллельной схемы — меньшие пульсации выпрямленного напряжения и возможность применения конденсаторов с рабочим напряжением, равным половине выходного.

35.2. Сглаживающие фильтры

Сглаживающие фильтры применяются для сглаживания пульсаций выпрямленного напряжения. Способность фильтра уменьшать пульсации принято оценивать коэффициентом сглаживания:

$$K_c = \frac{P_{вх}}{P_{вых}}$$

где $P_{вх}$ и $P_{вых}$ — коэффициенты пульсации на входе и на выходе фильтра.

Коэффициент сглаживания многозвенного фильтра равен произведению коэффициентов сглаживания каждого звена.

Коэффициент пульсаций на входе фильтра зависит от режима работы выпрямителя и определяется после расчета выпрямителя по формуле

$$P_{вх} = \frac{H}{rC},$$

где H — коэффициент, определяемый 1 (для однополупериодных схем) и 2 (для других схем);

r — внутреннее сопротивление выпрямителя (в Ом);

C — емкость, включенная на выходе выпрямителя (в мкФ).

Допустимые величины коэффициента пульсаций на выходе зависят от характера нагрузки (табл. 35.1).

Таблица 35.1

Характер нагрузки	Коэффициент пульсации
Первые каскады микрофонных усилителей	0,00001...0,00002
Предварительные каскады УНЧ	0,00001...0,0001
Каскады усиления высокой частоты приемника	0,0001...0,001
Оконечный каскад УНЧ (однотактная схема)	0,001...0,005
Оконечный каскад УНЧ (двухтактная схема)	0,005...0,02
Электронные и газовые стабилизаторы напряжения, аноды электронно-лучевых трубок	0,005...0,03
Обмотки возбуждения динамиков	До 0,2

Г-образный индуктивно-емкостный (LC) фильтр (рис. 35.6) широко применяется в

устройствах электрического питания средней и большой мощности вследствие того, что падение напряжения постоянного тока на фильтре можно сделать сравнительно малым. КПД таких фильтров получается достаточно высоким.

Недостатки LC-фильтров: 1) сравнительно большие размеры и вес; 2) дроссель фильтра является источником помех, создаваемых магнитным полем рассеяния; 3) фильтр не устраняет медленных изменений питающих напряжений; 4) дроссель

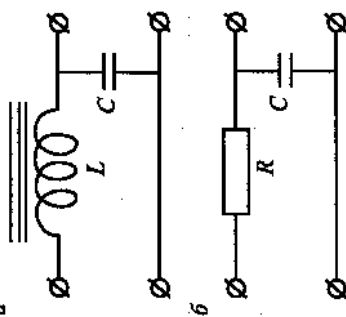


Рис. 35.6. Схемы сглаживающих фильтров: а — LC-фильтр; б — RC-фильтр

фильтра иногда является причиной сложных переходных процессов в цепи питания, приводящих к искажениям в работе питаемых устройств (усилителя, передатчика и т.п.).

Произведение LC (в $\text{Гн} \cdot \text{мкФ}$) в зависимости от необходимого коэффициента сглаживания K_c определяется по формуле

$$LC = \frac{2,5 \cdot 10^4 (K_c + 1)}{m^2 f^2},$$

где f — частота выпрямляемого тока (в Гц);

m — число фаз выпрямления.

Для однополупериодной схемы $m = 1$, для двухполупериодной и мостовой, а также для параллельной схем удвоения $m = 2$.

Для двухполупериодной или мостовой схем при частоте выпрямляемого тока 50 Гц

$$LC = 2,5(K_c + 1).$$

Величины L и C должны быть выбраны так, чтобы выполнялось условие

$$m\omega L > \frac{1}{m\omega C},$$

где ω — круговая частота выпрямляемого тока ($\omega = 2\pi f$).

Если произведение LC получается больше 200—250, то фильтр следует делать двухзвенным. Второе звено может быть выполнено по схеме RC -фильтров.

Γ -образный реактивно-емкостный (RC) фильтр (см. рис. 35.6, б) целесообразно применять при малых выпрямленных токах (менее 15...20 мА) и небольших значениях коэффициента сглаживания. Такой фильтр дешев, имеет малые размеры и вес. Недостатком RC -фильтра является малый КПД вследствие большого падения выпрямленного напряжения на сопротивлении фильтра.

Произведение RC (в $\text{Ом} \cdot \text{мкФ}$) определяется по формуле

$$RC = \frac{1,5 \cdot 10^5 K_c}{mf}$$

Величина сопротивления R выбирается из условия допустимого падения выпрямленного напряжения на фильтре.

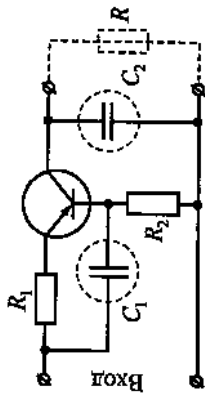


Рис. 35.7. Схема фильтра с полупроводниковым триодом

Триод выбирается так, чтобы ток нагрузки фильтра был не менее чем в 2 раза меньше максимально допустимого тока коллектора. Наибольшее напряжение между коллектором и эмиттером, которое может возникнуть в момент включения выпрямителя, не должно превышать максимально допустимого напряжения на коллекторе для данного типа триода. Мощность рассеяния на триоде не должна превышать допустимой ($P_{\text{кmax}}$).

Величина сопротивления R_1 выбирается в пределах 80...100 Ом, сопротивление R_2 — порядка десятков килоом. Емкость конденсатора

$$C_1 \geq 0,5 \frac{1}{mfR_1}$$

35.3. Стабилизаторы напряжения постоянного тока

Простейшие стабилизаторы построены на стабилитронах, схема представлена на рис. 35.8. Перечень стабилитронов приведен в табл. 14. Выбирается рабочая точка, по току равная половине максимального тока, балластное сопротивление определяется выбранным падением напряжения на нем.

Электронные схемы стабилизации напряжения по-

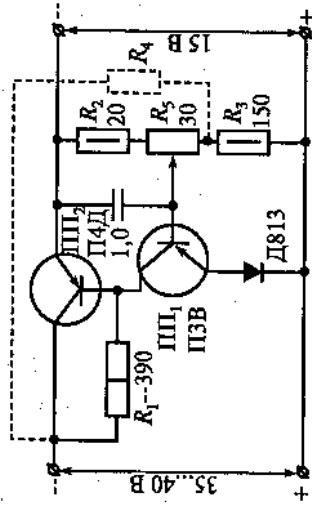


Рис. 35.8. Схема простейшего стабилизатора

звоняют получить высокий коэффициент стабилизации (до 1000) с незначительными потерями мощности. На рис. 35.8 приведена общеупотребительная схема стабилизатора, в котором источником опорного напряжения является кремниевый стабилитрон Д813. Коэффициент стабилизации такого стабилизатора ~20, максимальный ток нагрузки 1 А. Величина стабилизированного напряжения определяется типом примененного стабилитрона. Для увеличения стабилизированного напряжения можно включить последовательно несколько стабилитронов.

Тип регулирующего полупроводникового триода ПП₂ для стабилизатора выбирается в зависимости от тока нагрузки. Коэффициент усиления по току и сопротивление коллектора r_k этого триода должны быть возможно большими. Усилительный полупроводниковый триод ПП₂ должен иметь возмозно большие коэффициенты усиления по току и сопротивление коллектора r_k и возможно меньший обратный ток коллектора $I_{к0}$. Ток через делитель R_2, R_3 следует выбирать в несколько раз больше тока основания усилительного триода, а падение напряжения на сопротивлении R_3 примерно равным напряжению опорной батареи или напряжению на стабилитроне.

Величина сопротивления R_1 обычно лежит в пределах от нескольких сотен ом до нескольких килоом и определяется максимальным током нагрузки. При увеличении сопротивления R_1 растет коэффициент стабилизации, но снижается максимальный ток нагрузки.

35.4. Источники вторичного питания (преобразователи)

В источниках вторичного питания электрическая энергия из сети преобразуется в отдельный источник высокочастотного питания.

Преобразователи постоянного напряжения на полупроводниковых приборах характеризуются повышенной надежностью, большим сроком службы, высоким КПД (до 60...70%), не боятся перегрузок и коротких замыканий и не создают помех радиоприему. Кроме того, такие преобразователи позволяют использовать небольшие сглаживающие фильтры, так как частоты пульсаций могут достигать 3...8 кГц.

Один из вариантов схемы преобразователя приведен на рис. 35.9. Такой преобразователь представляет собой сочетание релаксационного генератора с выпрямителем. Колебательный контур образован индуктивностью коллекторной обмотки L_k трансформатора Тр и собственной емкостью этой обмотки. Обмотка L_0 создает обратную связь. Переменное напряжение вторичной обмотки поступает на выпрямитель, собранный по мостовой схеме. Применение мостовой схемы исключает

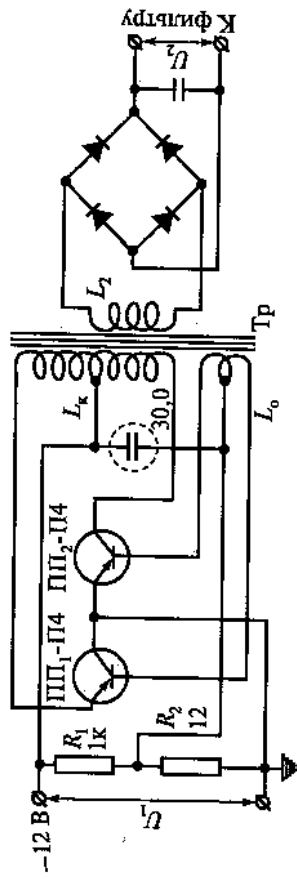


Рис. 35.9. Схема преобразователя постоянного напряжения

подмагничивание сердечника трансформатора постоянным током. Делитель напряжения R_1, R_2 позволяет устанавливать режим полупроводниковых триодов путем изменения смещения на основаниях.

35.5. Промышленные источники постоянного тока общего употребления

Выполнены в виде самостоятельных приборов, обеспечивают высокую точность поддержания выходного напряжения или тока при изменении напряжения питающей сети и сопротивления нагрузки. Позволяют изменять выходное напряжение и ток в широких пределах, имеют малое внутреннее сопротивление, низкий уровень пульсаций. Все источники питания обладают защитой от перегрузки и коротких замыканий.

Источники Б5-29/Б5-32 выполнены по схеме двухступенчатой стабилизации (первая ступень — на тиристорах). Выходное напряжение регулируется от нуля до максимального значения дискретно переключателем на 10 положений и плавно — потенциометром. Предусмотрена защита по максимальному току на отключение. Возможна параллельная работа двух приборов. Основные технические данные приведены в табл. 35.2.

Таблица 35.2

Параметры	Б5-29	Б5-30	Б5-31	Б5-32
Выходное напряжение, В	2...30	2,5...50	3...100	10...300
Ток нагрузки, А	0...2	0...1,2	0...0,6	0...0,2

Нестабильность выходного напряжения $\pm 0,3\%$ (при изменении напряжения сети $\pm 10\%$); эффективное значение пульсации 1 мВ; температурный коэффициент напряжения ТKN 0,02 %/°C; потребляемая мощность 200 ВА; габариты 240x156x91; масса 3,7 кг.

Источники Б5-43/Б5-50 — источники с ручным и дистанционным управлением. Могут работать как в режиме источника напряжения, так и в режиме источника тока, с автоматическим переходом из одного режима в другой. Приборы имеют дистанционную регулировку напряжения и тока с заданной точностью. Обеспечивают последовательную и параллельную работу. Возможно подключение к нагрузке при помощи четырехпроводной линии. Основные технические данные приведены в табл. 35.3.

Таблица 35.3

Параметры	Б5-43	Б5-44	Б5-45	Б5-46	Б5-47	Б5-48	Б5-49	Б5-50
Выходное напряжение, В	0,01... 9,99	0,1... 29,9	0,1... 49,9	0,01... 9,99	0,1... 29,9	0,1... 49,9	0,1... 99,9	1... 29,9
Ток нагрузки, А	0,01... 1,99	0,001... 0,999	0,001... 0,499	0,01... 4,99	0,01... 2,99	0,01... 1,99	0,001... 0,999	0,001... 0,299
Дискретность установки: напряжение, мВ; ток, мА	10; 10	100; 1	100; 1	10; 10	100; 10	100; 10	100; 1	1; 1

Нестабильность (%) при изменении напряжения сети $\pm 10\%$ составляет не более: напряжение — 0,01 %, ток — 0,05 %; эффективное значение пульсации — 1 мВ; потребляемая мощность: 150 (Б5-43/Б5-45), 400 (Б5-46/Б5-50). Габариты: 236×326×93 (Б5-43/Б5-45); 236×326×133 (Б5-46/Б5-50). Масса, кг: 7 (Б5-43/Б5-45), 9 (Б5-46/Б5-50).

35.6. Локомотивные источники питания

Блок питания локомотивный ИП2.087.192 ТО предназначен для совместной работы с радиостанциями РВ1, РВ2, РВ3, РВ4. Основным первичным источником являются бортовые аккумуляторы с буферным зарядом от локомотивной или вагонной электросети. Блок обеспечивает работу при питании радиостанции от сети постоянного тока с напряжением 110, 75 и 50 В с отклонением значения $\pm 20\%$ и коэффициентом пульсации до 5 % с частотой 100 Гц. Блок не выходит из строя при провалах напряжения первичной сети до $0,7 U_{ном}$ длительностью до 0,5 с и выбросах напряжения до $1,3 U_{ном}$ длительностью до 0,5 с. Блок предназначен для эксплуатации при температуре окружающей среды от -50 до $+60$ °С, относительной влажности до 93 % при температуре 40 °С.

Блок питания выдает выходное напряжение $(12 \pm 0,2)$ В со стабильностью $\pm 5\%$ при токе нагрузки 0,05 А (режим 1) и 5 А (режим 2) с пульсацией не более 30 мВ. Минус выходного напряжения заземлен.

Блок питания обеспечивает круглосуточную работу со скважностью 1:3 (отношение времени работы в режиме 2 ко времени работы в режиме 1). При токе в 5 А длительность работы не более 15 мин. Структурная схема блока питания приведена на рис. 35.10.

Максимальный ток, потребляемый от первичного источника напряжением 50 В, не более 2,8 А, напряжением 75 В — не более 2 А, напряжением 110 В — не более 1,3 А. Габариты блока 205×250×85, масса 3,8 кг.

Первичное напряжение сети локомотива подается на выходной сетевой фильтр и после него на выпрямитель 12 В. Выпрямитель питает управляемую транзисторную мостовую схему и пусковое устройство, которое на момент пуска питает задающий генератор в схеме управления (затем, после включения, пусковое устройство отключается). Генератор вырабатывает управляющее напряжение 12 кГц, которое управляет широтно-импульсным модулятором, вырабатывающим управляющие импульсы для транзисторов в управляющем мосту. Транзисторы моста включаются на короткое время с частотой 12 кГц, выдавая импульсы в трансформатор. Выпрямленное напряжение снова поступает в генератор, где происходит сравнение напряжения с опорным. В результате сравнения вырабатывается сигнал рассогласования для управления широтно-импульсным модулятором, поддерживающим напряжение в трансформаторе на стабильном уровне.

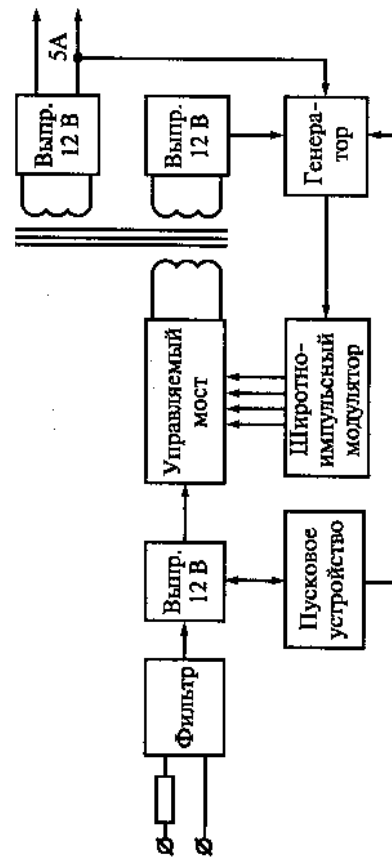


рис. 35.10. Структурная схема локомотивного блока питания

36. РАДИОИЗМЕРЕНИЯ

Измерение — определение количественного значения физической величины экспериментальным путем с помощью специальных технических средств (средств измерения). Под контролем понимается определение соответствия измеряемых величин заданным значениям (допусковому контролю — определение соответствия измеряемых величин заданной области допуска значений измеряемых величин). Измерения могут быть прямыми, косвенные, совокупные и совместимые.

В технике связи в соответствии с ГОСТ 24.204—80 применяется относительная единица — децибел (дБ), которая определяет отношение двух одноименных величин (например, мощностей, напряжений, токов) в масштабе десятичных логарифмов:

$$\text{ХдБ} = 10 \lg \frac{P_1}{P_2} = 20 \lg \frac{U_1}{U_2} = 20 \lg \frac{J_1}{J_2};$$

$$\text{дБр} = \frac{P_1}{P_2} = 10^{0,1} \approx 1,26;$$

$$\text{дБу} = \frac{U_1}{U_2} = 10^{0,05} \approx 1,22.$$

Кроме дБ в связи применялась ранее единица непер:

$$\text{Хнп} = \frac{1}{2} \ln \frac{P_1}{P_2} = \ln \frac{U_1}{U_2} = \ln \frac{J_1}{J_2};$$

$$1 [\text{НП}] = \frac{P_1}{P_2} = e^2 \approx 7,39;$$

$$1 [\text{НП}] = \frac{U_1}{U_2} = \frac{J_1}{J_2} \approx 2,72;$$

$$1 \text{ дБ} = 0,115 [\text{НП}];$$

$$1 [\text{НП}] = 8,69 \text{ дБ}.$$

При определении абсолютного уровня мощности за начало отсчета принимается мощность $P_0 = 1$ мВт. Для напряжения принимается величина U_0 , получаемая на активном сопротивлении $R_0 = 600$ Ом при мощности 1 мВт:

$$U_0 = \sqrt{R_0 \cdot P_0} = \sqrt{600 \cdot 1 \cdot 10^{-3}} \approx 0,775 \text{ В}.$$

36.1. Обработка результатов измерений

Для повышения точности измерений обычно проводят несколько замеров и статистически обрабатывают их результаты.

Различают истинное и действительное значения измеряемой физической величины. Истинное значение предельным образом отражает количественное значение измеряемой величины. Действительное значение находится экспериментально и пользуются им вместо истинного. Так как оно совпадает с истинным значением с некоторой вероятностью (ее называют вероятительной вероятностью), то такое действительное значение называют оценкой истинного значения.

Точность измерений характеризуется близостью оценки к истинному значению измеряемой величины. При определении оценки предполагаются определение погрешности измерения. Погрешности подразделяются на систематические и случайные. Обозначим измеренный результат A , истинное значение x , тогда абсолютная погрешность $\Delta x = A - x$; относительная погрешность $\delta = \Delta x/x$ (обычно в процентах).

Поскольку x неизвестно, вместо него берут действительное значение, которое определяют как среднее значение (математическое ожидание) из большого числа измерений (n):

$$\bar{A} = \sum_{i=1}^n \frac{A_i}{n}$$

Теперь вместо x принимаем значение A . Абсолютная погрешность для i -го измерения $E_i = A - A_i$.

Сумма абсолютных погрешностей всех измерений должна равняться нулю:

$$\sum_{i=1}^n E_i = 0.$$

36.2. Основы технологии контроля

Выделим основные виды технического контроля. Органолептический контроль использует органы чувств человека: зрение, осязание, запах, вкус. Частный случай, когда используется только зрение, — визуальный контроль.

Под техническим осмотром понимается органолептический контроль с привлечением небольшого и регламентированного объема аппаратуры.

Измерительный контроль осуществляется при помощи измерительных приборов. Методика измерений имеет несколько вариантов. Прямые измерения основаны на получении количественных характеристик непосредственно по экспериментально полученному результату (например, вольтметр измеряет напряжение, линейка — длину). Косвенные измерения — числовые характеристики вычисляются на основании известной зависимости между искомой величиной и измеренными величинами (например, измеряя ток и напряжение в цепи, можно по закону Ома вычислить сопротивление). Совокупные измерения представляют собой способ неоднократных прямых измерений при разных параметрах измеряемого объекта и вычисления общего результата по решению системы уравнений (например, измерение взаимоиндукции между двумя катушками проводят путем двукратного измерения общей индуктивности при последовательном соединении так, чтобы поля в одном случае складывались, во втором — вычитались, с последующим вычислением (вычитанием) полученных результатов: $L_{01} = L_1 + L_2 + 2M$, $L_{02} = L_1 + L_2 - 2M$, $M = (L_{01} + L_{02})/4$). Совместные измерения состоят в одновременном измерении двух или более величин с последующим вычислением искомого результата (например, измерение чувствительности микрофона путем измерения одновременного звукового давления и выходного напряжения микрофона).

Подключение измерительных приборов к исследуемому объекту должно предусматривать согласование параметров прибора измеряемым величинам:

1. Тип применяемого вольтметра определяется способом измерения напряжения — среднее, эффективное, амплитудное (пиковое); только для гармонического (синусоидального) сигнала отчет по разным приборам покажет правильный результат, для другой формы сигнала необходимо учитывать метод измерения и форму сигнала.

2. Измеряя случайные процессы и шумы, нужно пользоваться только приборами эффективных значений — квадратичными вольтметрами.

Средняя арифметическая погрешность результата измерений

$$\Theta = \pm \frac{\sum_{i=1}^n |E_i|}{\sqrt{n(n-1)}}$$

Средняя квадратичная погрешность среднего (значения) результата измерений

$$S = \pm \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n E_i^2}{n(n-1)}}$$

Вероятность того, что погрешность результата измерений находится между выбранными значениями Δ_1 и Δ_2 , называется доверительной вероятностью α . Интервал значений $\Delta_1 \dots \Delta_2$ называется доверительным интервалом.

Для нормального закона распределения случайных погрешностей результат измерения

$$x = \bar{A} \pm \Delta \text{ при заданной } \alpha.$$

В случае конечного числа измерений n

$$\Delta = t_{\alpha} S_A^*$$

где t_{α} находится из таблицы Стьюдента:

α	n									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0,98	31,82	6,965	4,541	3,747	3,465	3,143	2,998	2,896	2,821	2,76
0,95	12,706	4,303	3,182	2,776	2,571	2,477	2,365	2,306	2,265	2,23
0,7	1,963	1,336	1,256	1,190	1,156	1,134	1,119	1,108	1,100	1,08

Для стрелочных приборов установлено восемь классов точности: 0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1,0; 1,5; 2,5; 4,0. Каждое число определяет в процентах приведенную погрешность прибора.

3. Точность приборов должна соответствовать требованиям измерений. Например, измерение коэффициента нелинейных искажений должно производиться прибором, имеющим собственный коэффициент на порядок ниже.

4. Входные и выходные параметры измерительных приборов должны соответствовать параметрам измеряемой цепи. Это означает, что подключение измерительных приборов не должно нарушать нормальную работу контролируемых объектов. Желательно, чтобы сопротивление прибора было намного больше сопротивления измеряемой цепи. Это условие особенно важно для высокочастотных цепей с волновым сопротивлением в 50 или 75 Ом. В этих случаях возможно применение дополнительных элементов $R_{доб}$, $C_{доб}$ и K — зависит от схемы, чаще всего $C_{доб}$ и $R_{доб}$ подбирают опытным путем (рис. 36.1). Для этого параллельно выходу объекта контроля подключают вспомогательный измерительный прибор, по которому контролируют эквивалентность замены отключенной схемы измерительным прибором с согласующей цепью. В измерительных генераторах необходимо согласовывать выход генератора и вход исследуемого объекта контроля.

5. При включении приборов необходимо согласовывать условия симметричности цепей, если это необходимо — с помощью симметрирующих трансформаторов, фазоинверсных схем и т.д. — для того, чтобы не нарушалась условия симметрии схемы, в противном случае возможны искажения формы сигнала, величин напряжений и т.д.

6. При измерениях на СВУ следует тщательно следить за согласованием волновых характеристик цепей связи — волноводов, коаксиальных линий, фидеров, следить за отсутствием отражений, вызванных включением измерительных приборов.

7. Правильно выбирать приборы с разной шкалой отсчета: стрелочные и цифровые. Если требуется повышенная точность измерения, то необходимо применять прибор с цифровой шкалой; если этого не требуется, применяют прибор со стрелочным отсчетом, он дает быстрый восприятие измерительной величины, а при измерении показаний лучше показывает, в какую сторону происходит изменение показаний без существенной нагрузки на память оператора.

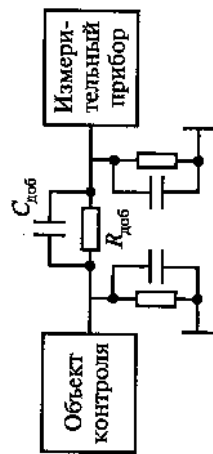


Рис. 36.1. Подключение к высокочастотной цепи

8. В случае контроля параметров удобнее пользоваться методом контроля по контрольному образцу.

Источник испытательных сигналов (ИИС) подает испытательные сигналы на объект контроля (ОК) и контрольный образец (КО), в компараторе (Комп) производится сравнение, и на индикаторе (Инд) отражается результат сравнения параметров ОК и КО (рис. 36.2). В качестве индикатора желательно иметь «ноль-индикатор», особенно при настройке ОК по эталонному КО.

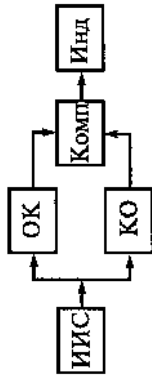


Рис. 36.2. Контроль по контрольному образцу

36.3. Классификация измерительных приборов

Современные измерительные приборы подразделяются на группы в соответствии с назначением и техническими характеристиками, имеют буквенное обозначение:

- Приборы измерения напряжения — вольтметры (В);
- Генераторы измерительные (Г);
- Аттенуаторы (Э);
- Приборы измерения параметров сосредоточенных цепей (Е);
- Приборы изменения импульсных процессов (И);
- Приборы измерения мощности (М);
- Приборы измерения трактов с распределенными параметрами (Р);
- Приборы измерения формы сигналов и спектров (С);
- Измерители амплитудно-частотных характеристик (Х);
- Приборы измерения фазы и запаздывания (Ф);
- Приборы измерения частоты (Ч);
- Функциональные узлы и модули приборов (Я).

36.4. Измерение параметров цепей с сосредоточенными параметрами

Метод вольтметра-амперметра является косвенным методом с последующим расчетом параметров цепей по закону Ома. Измерение активных сопротивлений (рис. 36.3) производят на постоянном токе: $R_x = U/I$.

Измерения полных сопротивлений (рис. 36.4) производят на переменном токе.

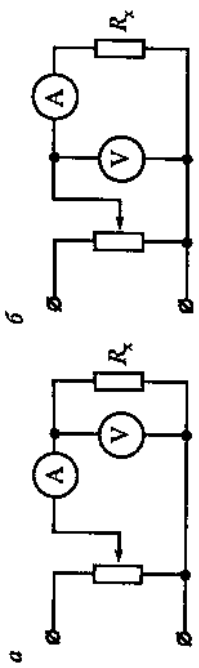


Рис. 36.3. Измерение сопротивления
а — для $R_x \gg R_0$; б — для $R_0 \gg R_x$

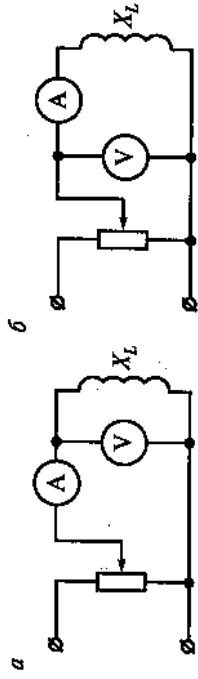


Рис. 36.4. Измерение полного сопротивления
а — для $X_L \ll Z_0$; б — для $X_L \gg Z_0$

В этих схемах измеряется модуль полного сопротивления

$$|Z_x| = \frac{U}{J} = \sqrt{R_x^2 + X_L^2},$$

где U_x, J — измеренные напряжение и ток;
 R_x и X_L — активная и реактивная составляющие, фазовый сдвиг не установлен.
Измерение емкости конденсаторов (рис. 36.5) может быть проведено по методу амперметра-вольтметра при питании схемы переменным током известной частоты.

Емкостное сопротивление конденсатора

$$X_c = \frac{1}{\omega \cdot C_x} = \frac{U}{J},$$

откуда

$$C_x = \frac{J}{\omega \cdot U_c} = \frac{J}{2\pi \cdot f \cdot U_c}.$$

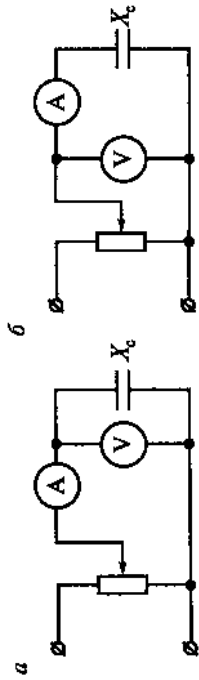


Рис. 36.5. Измерение емкостей
а — для $X_c \ll Z_0$; б — для $X_c \gg Z_0$

Метод непосредственной оценки реализуется в приборах прямого действия, в которых измеряемая величина оценивается непосредственно по шкале, заранее отградуированной в соответствующих единицах, или считывается с электронного табло цифровых приборов (рис. 36.6).

Перед началом измерений ключ K в первой схеме замыкается, во второй — разомкнут, резистором R_0 производится калировка шкалы измерителя U отклонением стрелочного прибора до конца шкалы. Шкала (нелинейная) градуирована в омах. Схема а используется для относительно малых сопротивлений, схема б — для больших (единицы килоом).

Мостовой метод обладает большой точностью, высокой чувствительностью, широким диапазоном измеряемых значений. Мостовая схема (рис. 36.7) основана на симметрии моста: $Z_1 Z_4 = Z_2 Z_3$ и работает с «нуль-индикатором», определяющим точную настройку моста. Одно из плеч используется для подключения измеряемого элемента, другое плеч уравнивает мост и дает по шкале отсчет измерения. Мост может использоваться на постоянном и переменном токе, позволяет измерять активные и реактивные элементы цепи.

Резонансный метод применяется в высокочастотных измерениях индуктивностей, емкостей, сопротивлений (рис. 36.8). Настройка

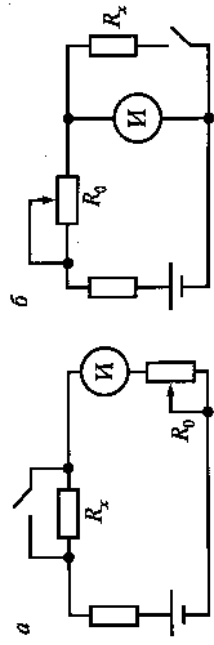


Рис. 36.6. Непосредственное измерение сопротивлений

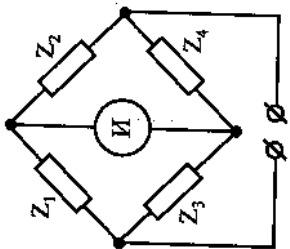


Рис. 36.7. Измерительный мост

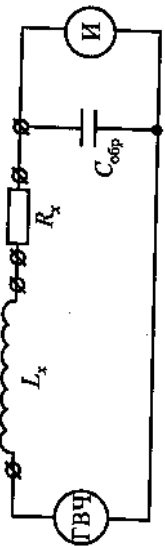


Рис. 36.8. Измерения резонансным способом

схемы в резонанс с помощью образцового конденсатора $C_{обр}$ позволяет на известной частоте сигнала от генератора высокой частоты (ГВЧ) по формуле Томпсона определить параметры измеряемой индуктивности:

$$L_x = \frac{I}{\omega^2 C_{обр}}$$

Большинство современных приборов автоматизированы, иногда с применением микропроцессоров, особенно при уравнивании мостов. Измерительные приборы для определения параметров сосредоточенных цепей имеют согласно ГОСТ 15094—69 буквенное обозначение *E*. В этой группе измерителей подгруппы имеют следующие обозначения:

E1 — меры, приборы для проверки измерителей параметров компонентов и цепей;

E3 — измерители индуктивностей;

E4 — измерители добротности (куметры) (табл. 36.2);

E6 — измерители сопротивлений (табл. 36.1);

E7 — измерители параметров цепи универсальные (табл. 36.1);

E8 — измерители емкости цепи (табл. 36.1).

В табл. 36.1 приводятся данные распространенных универсальных измерительных приборов.

Основные технические характеристики

Тип прибора	Рабочая частота, Гц	Измеряемая величина	Диапазон измерений	Погрешность измерений	Габаритные размеры, мм; масса, кг
1	10 ³	С	5·10 ⁻³ ...10 ⁸ пФ	±(0,05 ... 0,2) % ±[(3...10)·10 ⁻⁴ +(0,01 ... 0,02)гδ]	490×410×130; 15
2	Частота, Гц	гδ	5·10 ⁻² ...1	±(2,5...10) % длины рабочей части шкалы	152×206×290; 5
Е6-13А	Постоянный ток	Р	10 ⁵ ...10 ¹⁴ Ом	±(4...10) % длины рабочей части шкалы	Прибор 320×210×295 Измерительной камеры 380×240×345; 14 (с измерительной камерой)
Е6-14	То же	Р	10 ⁷ ...10 ¹⁷ Ом	±(4...6) % конечного значения участка шкалы	229×208×180; 4,2
Е6-15	78	U	10 ³ ...10 ⁹ В	±1,5 % конечного значения участка шкалы	120×205×90; 1,9
Е6-16	Постоянный ток	Р	2...10 ⁸ Ом	±1,5 % длины рабочей части шкалы	

Таблица 36.1

36.5. Измерение параметров и характеристики трактов с распределенными параметрами

Измерительные приборы для исследования параметров трактов с распределенными постоянными согласно ГОСТ 15094—69 имеют буквенное обозначение Р и включают в себя:

- Р1 — измерительные линии для измерения коэффициента стоячей волны (КСВ), полных сопротивлений, длины волны и других характеристик волновых и коаксиальных трактов в диапазоне частот от 1 Гц;
 - Р2 — измерители КСВ панорамные, в основе которых лежит рефлектометрический принцип измерения, использующий выделение падающей и отраженной от измеряемого объекта волн и определение коэффициента отражения по значению отношения их амплитуд. Некоторые приборы приведены в табл. 36.3;
 - Р3 — измерители полных сопротивлений в виде коаксиального тройника, предназначены для измерения КСВ и фазы коэффициента отражения двухполосников. Некоторые приборы с характеристиками приведены в табл. 36.4;
 - Р4 — измерители комплексных коэффициентов передачи, приборы, основанные на выделении опорного и измеряемого сигнала и наблюдении на экране ЭЛТ соответствующих характеристик. Параметры основных измерителей Р4 приведены в табл. 36.5.

36.6. Атенуаторы и измерение ослаблений

По принципу действия аттенуаторы разделяются на резисторные, поглощающие, предельные, поляризационные, ферритовые; по возможности регулирования — на переменные и фиксированные; по уровню ослабляемой мощности — на аттенуаторы низкого уровня (до 1 Вт) и высокого; по точности — на калиброванные и некалиброванные. Атенуатор характеризуется ослаблением (затуханием), т.е. отношением уровня мощности на входе к уровню мощности на выходе, выраженным в децибелах: $A = 10 \lg(P_{вх}/P_{вых})$, и коэффициентом стоячей волны (КСВ). Атенуаторы имеют буквенное обозначение Д:

- Д1 — образцовые аттенуаторы, применяемые для проверки приборов;
- Д2 — резисторные аттенуаторы широкого диапазона;
- Д3 — поляризационные аттенуаторы, применяемые для калибровки того ослабления энергии электромагнитных волн, действие которых

Характеристика	Диапазон частот	Премья измерения:	добротности	индуктивности	Потеряемость измерения, %	добротности	индуктивности	Пределы измерения емкости конденсатора	Точность измерительного контура, пФ	Потеряемость низкокачественной граунт-повки основного конденсатора	Табаритные размеры, мм:	Масса, кг
Е4-10	1...100 кГц	2...300	25 мкГн... 10 Гн	6 (до 100 МГц), 10 (100...300 МГц)	4	80...110 000	2% (до 500 пФ); 1% (свыше 500 пФ)	430×258×353; 18				
Е4-7	50 кГц... 35 МГц	5...1000	5-10 ⁻⁸ ... 0,4 Гн	3(Q < 300); 50 кГц - 25 МГц); 6 - (Q > 300); 50 кГц - 3,5 МГц)	4...6	25...450 (1 000 пФ)	1 пФ (до 100 пФ); 1% (свыше 100 пФ)	490×235×475; 26				
Е4-11	30...300 МГц	10...1 000	-	10...25	10...105	8...105	0,005×0,5 пФ	100×355×490; 13, 95				

Таблица 36.2

Тип прибора	Диапазон частот, ГГц	Пределы измерения КСВ, %	Порешность измерения		ВЧ-тракт, мм	Таблица, мм; масса, кг
			Фазы коэффициента отражения, град			
РЗ-2	0,02...0,15	7	7	16/7	285x200x130; 3,8	
РЗ-3	0,02...0,15	7	7	16/4,6	285x200x130; 3,8	
РЗ-4	0,15...1,0	7	7	16/7	175x100x70; 2,8	
РЗ-5	0,15...1,0	7	7	16/4,6	175x100x70; 2,8	
РЗ-9	12...16,67	4	4	17x8	265x170x170; 4,2	
РЗ-240	8,24...12,05	4	4	23x10	265x170x170; 5	
РЗ-3241	6,85...9,93	4	4	28,5x12,6	265x170x170; 5,5	
РЗ-242	5,64...8,24	4	4	35x15	265x170x170; 6,3	
РЗ-243	4,8...6,85	4	4	40x20	282x144x143; 6,8	
РЗ-244	3,94...5,64	4	4	48x24	297x173-157; 8,8	
РЗ-245	3,2...4,8	4	4	58x25	284x207x157; 9,3	
РЗ-246	2,59...3,94	4	4	72x34	340x248x187; 12,8	
РЗ-247	2,14...3,2	4	4	90x45	390x303x210; 17	
РЗ-248	1,72...2,59	4	4	110x55	450x375x240; 25,5	

Таблица 36.4

Тип прибора	Диапазон частот, ГГц	Пределы измерения КСВ	Порешность измерения КСВ, %	ВЧ-тракт, мм	Таблица, мм; масса, кг
Р2-73	0,01...1,25	1,03...5	4...10	3,5/1,5; 7,3; 16/4,6; 16/7	488x475x93; 15; 488x537x253; 25
Р2-74	0,01...1,25	1,07...5	5...10	3,5/1,5	488x475x93; 15; 488x537x253; 25
Р2-75	0,01...1,25	1,03...5	4...7	7/3	488x475x93; 15; 488x537x253; 25
Р2-76	0,01...1,25	1,03...5	4...7	16/4,6	488x475x93; 15; 488x537x253; 25
Р2-77	0,01...1,25	1,03...5	4...7	16/7	488x475x93; 15; 488x537x253; 25

Таблица 36.3

Основные технические характеристики измерителей комплексных коэффициентов передачи и отражения

Тип прибора	Диапазон частот, ГГц	Размер тракта, мм	КСВ	Пресель измерения		Полнота измерения		Табличные размеры, мм; масса, кг
				коэф-фициента отражения, дБ	КСВ, дБ	модуля коэффициента передачи, дБ	фазы коэффициентов, град	
P4-11	0,001...1,25	16/7; 16/4,6	1,05...1,22	+10...+40	±5K*	±(0,05A** + 0,4)	±(0,2A + 0,02φ*** + 5)	ГКЧ — 480×160×420; 18; индикатор
P4-23	1...4	7/3	1,05...1,2	+10...+70	±5K*	±(0,03A + 0,7)	±(0,1A + 0,02φ + 5)	ГКЧ — 480×160×420; 23; индикатор
P4-36	4...12,0	7/3	1,1...1,2	+30...+60	±4K*	±(0,03A + 0,5)	±(0,1A + 0,02φ + 3)	Блока измерительного тракта 500×536×295; 31; преобразователь частоты 480×475×95; 11
P4-37/1	0,01...1,25	7/3; 16/7; 16/4,6	1,03-2	+30...+80	±2,4K*	±(0,01A + 0,3)	±(0,05A + 2)	ГКЧ — 488×475×93; 17; блок измерительного тракта 488×536×253; 28; преобразователь частоты 488×475×93; 12
P4-38	0,25...5	7/3	1,04...1,2	+30...+80	±3,2K*	±(0,02A + 0,3)	±(0,07A + 2,5)	ГКЧ — 488×475×93; 13; блок измерительного тракта 488×536×253; 28; преобразователь частоты 488×475×93; 11

* K — измеренное значение КСВ

** A — измеренное значение коэффициента передачи

*** φ — измеренное значение фазы коэффициента передачи

основано на зависимости поглощения электромагнитных волн от плоскости их поляризации;

D4 — предельные аттенюаторы, основанные на использовании явления затухания электромагнитной энергии в запердечном волноводе (при $l > l_{пр}$);

D5 — аттенюаторы поглощающие, основанные на затухании электромагнитной энергии в поглощающих материалах.

В табл. 36.6 приведены сведения о некоторых аттенюаторах типа Д2 и Д5.

36.7. Измерение напряжений

Измерение напряжений — наиболее распространенный вид измерений. Приборы, измеряющие напряжение, имеют буквенное обозначение В.

B1 — приборы для проверки вольтметров (прецезионные);

B2 — вольтметры постоянного тока;

B3 — вольтметры переменного тока;

B4 — вольтметры импульсного тока;

B6 — вольтметры селективные;

B7 — вольтметры универсальные;

B8 — измерители отношения напряжений;

B9 — преобразователи напряжений.

В табл. 36.7 приведены технические характеристики вольтметров постоянного тока. В табл. 36.8. — переменного тока. В табл. 36.9 — вольтметров универсальных.

36.8. Измерение частоты

Приборы, измеряющие частоту, имеют буквенное обозначение Ч.

Ч1 — стандарты частоты;

Ч2 — частотомеры резонансные, работают в основном на частотах выше 1 ГГц;

Ч3 — частотомеры электронно-счетные, широко применяются для контроля и измерений частотно-временных параметров радиосигналов в широком частотном диапазоне;

Ч4 — частотомеры генераторные, емкостные, мостовые, в настоящее время вытеснены электронно-счетными частотомерами;

Ч5 — преобразователи частоты, синхронизаторы для частот выше 10 ГГц;

Ч6 — синтезаторы частоты, делители и умножители частот, используются автономно и в составе других радиотехнических устройств;

Основные технические характеристики резисторных и потенциальных аттенуаторов

Наименование	Тип	Диапазон частот, ГГц	Диапазон ослабления, дБ	Порешность уставки ос-лабления, дБ	КСВ	ВЧ-тракт, мм	Допустимая входная мощность, Вт	Масса, кг
Аттенуатор резисторный переменный	П2...13	0,5...3	9...40	±0,5	1,4...1,5	16/4,6	3	2,5
Аттенуатор резисторный переменный	П2...14	1...3	9...40	±0,5	1,4	16/7	3	2,5
Аттенуатор резисторный	П2...22	0...1,5	0...109	±(0,06...1)	—	16/7	1	—
Аттенуатор резисторный	П2...23	0...1,5	0...109	±(0,06...2)	—	16/4,6	1	—
Аттенуатор резисторный	П2...24	0...1,5	0...59	±(0,06...1)	—	16/7	1	—
Аттенуатор резисторный	П2...25	0...1,5	0...59	±(0,06...1)	—	16/4,6	1	—
Аттенуатор резисторный	П2...26	0...3	2	±(0,4...0,5)	1,15...1,5	7/3	2	0,15
Аттенуатор резисторный	П2...27	0...3	3	±(0,4...0,5)	1,15...1,5	7/3	1,5	0,15
Аттенуатор резисторный	П2...28	0...3	4	±(0,4...0,5)	1,15...1,5	7/3	1	0,15
Аттенуатор резисторный	П2...29	0...3	6	±(0,4...0,5)	1,15...1,5	7/3	1	0,15
Аттенуатор резисторный	П2...31	0...3	10	±(0,4...0,5)	1,15...1,5	7/3	1,5	0,15
Аттенуатор резисторный	П2...33	0...5	3	±1	1,2...1,45	16/7	1	0,15
Аттенуатор резисторный	П2...34	0...5	5	±1	1,2...1,45	16/7	1	0,15
Аттенуатор резисторный	П2...36	0...5	10	±1	1,2...1,45	16/7	1	0,15
Аттенуатор резисторный	П2...37	0...5	15	1,5	1,2...1,45	16/7	1	0,15
Аттенуатор резисторный	П2...38	0...5	20	1,5	1,2...1,45	16/7	1	0,15
Аттенуатор резисторный	П2...40	0...5	40	1,5	1,2...1,45	16/7	1	0,15
Аттенуатор потенциальный	П5...17	1,5...3	1...30	—	1,3	16/4,6	1	1,6
Аттенуатор потенциальный	П5...18	3...7	1...20	—	1,4	10/4,34	1	1,5
Аттенуатор потенциальный	П5...20	11,5...17,15	1...30	±(0,5...1,5)	1,08	17×8	0,5	0,9
Аттенуатор потенциальный	П5...21	8,3...11,55	1...30	±(0,5...1,5)	1,08	23×10	0,5	0,95
Аттенуатор потенциальный	П5...22	7,15...10,2	1...30	±(0,5...1,5)	1,8	28,5×12,6	0,5	0,95

Таблица 36,6

Таблица 36,7

Основные технические характеристики вольтметров постоянного тока

Тип, наимено-вание прибора	Диапазон измере-ний напряжений, В	Основная погрешность измерения, %	Диапазон изме-рений прира-рений напря-жения, В	Предел основной погрешности измерений при-ращения, %	Автоматизация
В2-34, вольт-метр постоян-ного тока	$10^2 \dots 1000$, (поддиапазоны: 1; 10; 100; 1000)	$\pm(0,005 + 0,0003U/U_0)$	$0,7 \pm 10^{-1} U_0$	$0,4 + 0,3 \Delta U/U_0$	Автоматическая проверка и калибровка с блоком переки. Выход на самописец
В2-34, вольт-метр постоян-ного тока	$5 \cdot 10^4 \dots 19,999$, (поддиапазоны: 10^4 ; 10^3 ; 10^2 ; 10^1 ; 1; 10)	$\pm(0,005 + 0,0003U/U_0)$	—	—	Автоматическое определение и индикация погрешности и индикация погрешности. Дистанционное управление запуском цикла измерения и выбором поддиапазона измерения. Выход зондатом измерения на ЦИУ в коде 8-4-2-1
В2-38, нано-вольтметр цифровой постоянного тока	$10^2 \dots 2$ В, (поддиапазоны: 10^2 ; 10^1 ; 10^0 ; 10^{-1} ; 10^{-2} ; 10^{-3} ; 10^{-4} ; 10^{-5} ; 10^{-6} ; 10^{-7} ; 10^{-8})	$\pm(0,005 + 0,001U/U_0)$	—	—	Программирование всех органов управления с передней панели (кроме выключателя СЕТЬ). Выход на КОП с полным набором интерфейсных функций (кроме функции контроля)

Тип, наименование прибора	Измеряемая величина	Диапазон измерений	Основная погрешность измерения	Автоматизация	Примечание
В7-21А, вольтметр универсальный цифровой	$U_{\text{н}}$ $I_{\text{н}}$	$10^{-6} \dots 1000 \text{ В}$ $10^{-11} \dots 10 \text{ А}$	$\pm [0,06 + 0,03 (U_{\text{н}}/I_{\text{н}}) - 1] \%$ $\pm [0,1 + 0,04 (I_{\text{н}}/I_{\text{н}}) - 1] \%$ $\pm [0,2 + 0,05 (U_{\text{н}}/I_{\text{н}}) - 1] \%$ $\pm [0,4 + 0,05 (I_{\text{н}}/I_{\text{н}}) - 1] \%$ $\pm [0,1 + 0,04 (R_{\text{н}}/R_{\text{н}}) - 1] \%$	—	—
В7-29, микровольтметр-электронный цифровой	$U_{\text{н}}$ $I_{\text{н}}$	$2 \cdot 10^{-5} \dots 10 \text{ В}$ $10^{-17} \dots 10^{13} \text{ А}$	$\pm [1 + 0,2 (U_{\text{н}}/I_{\text{н}}) - 1] \%$ $\pm [5 + 0,6 (I_{\text{н}}/I_{\text{н}}) - 1] \%$	—	—
В7-30, вольтметр-электронный цифровой	$U_{\text{н}}$ $I_{\text{н}}$ \varnothing $R_{\text{н}}$	$10^{-4} \dots 10 \text{ В}$ $10^{-15} \dots 10^{-7} \text{ А}$ $10^{-15} \dots 10^9 \text{ Кл}$ $10^{-2} \dots 10^7 \text{ Ом}$	$\pm (A + 0,01 U_{\text{н}}) \text{ В}$ $\pm (A + 0,05 I_{\text{н}}) \text{ А}$ $\pm (A + 0,03 \varnothing) \text{ Кл}$ $\pm (A + 0,05 R_{\text{н}}) \text{ Ом}$	—	—
В7-32, вольтметр универсальный цифровой с автономным и сетевым питанием	$U_{\text{н}}$ $I_{\text{н}}$ $I_{\text{н}}$ $R_{\text{н}}$	$10^{-4} \dots 1000 \text{ В}$ $10^{-7} \dots 2 \text{ А}$ $10^{-4} \dots 300 \text{ В}$ $(40 \text{ Гц} \dots 20 \text{ кГц})$ $10^{-7} \dots 2 \text{ А}$ $(40 \text{ Гц} \dots 100 \text{ кГц})$ $10^{-6} \dots 2 \cdot 10^7 \text{ Ом}$ $10^{-6} \dots 1000 \text{ В}$ $10^{-3} \dots 10^7 \text{ Ом}$	$\pm (0,1 + 0,1 U_{\text{н}}) \%$ $\pm (0,3 + 0,1 I_{\text{н}}) \%$ $\pm (0,5 + 0,2 I_{\text{н}}) \%$ $\pm (0,2 + 0,15 R_{\text{н}}/R_{\text{н}}) \%$	—	—
В7-34, В7-34/1, В7-34А, вольтметр универсальный цифровой системный	$U_{\text{н}}$ $U_{\text{н}}$ $R_{\text{н}}$	$10^{-5} \dots 500 \text{ В}$ $(20 \text{ Гц} \dots 500 \text{ кГц})$ $10^{-3} \dots 10^7 \text{ Ом}$	$\pm [0,15 + 0,002 (U_{\text{н}}/U_{\text{н}}) - 1] \%$ $\pm [0,15 + 0,05 (U_{\text{н}}/U_{\text{н}}) - 1] \%$ $\pm [0,02 + 0,002 (R_{\text{н}}/R_{\text{н}}) - 1] \%$	—	—

Основные технические характеристики универсальных вольтметров селективных

Таблица 36,9

Тип прибора, наименование	Диапазон измерений	Основная погрешность измерения	Диапазон частот	Автоматизация	Примечание
В3-48А, милливольтметр	$3 \cdot 10^{-4} \dots 300$ (поддиапазоны 1; 3; 10; 30; 100; 300 мВ; с делителем ДН-117; 1; 3; 10; 30; 100; 300 В)	$\pm 2,5\% U_{\text{н}}$ на частоте 1 кГц; $\pm (2,5 \dots 10) \% U_{\text{н}}$ в рабочем диапазоне частот	10 Гц...50 МГц	—	Измеряет напряжение провольной формы с коэффициентом амплитуды $K_{\text{эву}} U_{\text{н}}$
В3-49, вольтметр диодный	$10^{-2} \dots 100$ (поддиапазоны 0,1; 1; 10; 100 В)	$\pm (0,2 + 0,08/U_{\text{н}} + 0,008 I_{\text{н}})$ в диапазоне частот 20 Гц...10 МГц; рабочей области частот	20 Гц...1000 МГц	Выход на ЦИУ в коде 8-4-2-1	Дистанционное управление команд; автоматическим напряжением, поддиапазонами измерения; дистанционный контроль баланса индикатора
В3-52/1, милливольтметр цифровой	$10^{-2} \dots 300$ (поддиапазоны 10; 30; 100; 300; 1000; 3000 мВ; с внешним делителем 1; 10; 30; 100; 300 В)	$\pm [2 + 0,5 (U_{\text{н}}/U_{\text{н}}) - 1] \%$ в диапазоне частот 0,1...10 МГц на поддиапазонах 30...300 мВ	10 кГц...1000 МГц с пробником и 100 кГц...300 МГц при измерении с внешним делителем	То же	Может быть использован как преобразователь на переменный ток. Может быть использован как преобразователь на переменный ток. Может быть использован как преобразователь на переменный ток.

Основные технические характеристики вольтметров переменного напряжения

Таблица 36,8

1	ВК3-61, вольтметр цифровой широкополосный	U_n $10^{-2} \dots 1000$ (поддиапазоны 100 мВ, 1; 10; 100; 1000 В); U_n $1.7 \cdot 10^{-3} \dots 1000$ (поддиапазоны 100 мВ, 1; 10; 100; 1000 В); Суммы $U_n + U_n$ $17 \cdot 10^{-3} \dots 1000$ (поддиапазоны 10 мВ, 1; 10; 100; 1000 В)	Отношение $U_1/U_2 =$ Отношение $U_1^2/U_2^2 =$	Измерения в режиме выборка/запоминание
2		$\pm [0.4 + 0.2 (U_1/U_2 - 1)]$ $\pm [0.6 + 0.4 (U_1/U_2 - 1)]$ на поддиапазоне 100 мВ при $f = 60$ Гц...100 кГц ... $10^{-4} - 1000$ В $10^{-4} - 1000$ кГц $10^{-4} - 1000$ В $10^{-4} - 1000$ кГц $10^{-4} \dots 1000$ В		
3		10 Гц...100 МГц	$\pm [A + B U_n + U_n + C S U_n^2 U_n^2] \%$	
4		2 Гц...100 МГц	$\pm [0.04 + 0.02 (U_1/U_2 \dots 1)] \%$	
5	Измеряет на-пряжение произвольной формы с $k_s \leq 7 U_1/U_2$. Индикация ре-зультатов изме-рения на цифро-вом табло 3,5; 4 или 4,5 разря-дов.	Выход на КОП с пол-ным набором интерфейсных функций (кроме кон-троля). Программи-рование всех органов управления, распорядков на пе-редачу панел-ных на пе-редачу панел-ных функций (кроме выключателя СЕТЬ), Руч-ной и авто-выбор преде-лов измере-ния	Попределенность равна сумме потерь по-стоянного и переменного напряжения	

Продолжение табл. 36,9

1	В3-56, милливольтметр	$10^{-4} \dots 300$ (поддиапазоны 10; 30; 100; 300 мВ; 1; 3; 10; 30; 100; 300 В)	$\pm 2,5 \% U_n$ на частоте 1 кГц; $\pm (2,5 \dots 15) \% U_n$ в рабочем диа-пазоне частот	
2	В3-57, микровольтметр	$10^{-5} \dots 300$ (поддиапазоны 0,1; 0,3; 1; 3; 10; 30; 100; 300 мВ; 1; 3; 10; 30; 100; 300 В)	$\pm (1 \dots 6) \% U_n$	
3		10 Гц...15 МГц	$\pm 2,5 \% U_n$	
4		5 Гц...5 МГц	$\pm 0,4 \dots 10 \% U_n$	
5		—	Дистанцион-ное управле-ние и выход на ЦПВ в коде 8-4-2-1	Измеряет среднее-квадратиче-ское значе-ние напря-жения про-извольной формы
6	Измеряет входное сопротивление вых-одом на 100 мВ и ем на вых-одном усилителе с входом шир-код	Имеется вы-ход шир-код	Имеется вы-ход шир-код	Имеется вы-ход шир-код

Продолжение табл. 36,9

1	В7-36, вольтметр универсальный с аналоговым отсчетом цифровой малотарифной с автономным и сетевым питанием	U_n I_n R_n	$10^{-2} \dots 1000$ В с делителем ДН-525 (1:1000) до 20 кВ $10^{-6} \dots 10$ А с шунтом $3 \cdot 10^{-2} \dots 1000$ В на частотах 20 Гц, 20 кГц, с делителем ДН-524 и выносным пробником до 1000 МГц $10^{-2} \dots 10$ А на частотах 20 Гц, 1 кГц с шунтом $10^{-4} \dots 10^8$ Ом	$\pm 0,25 + 0,2 (U_n I_n - 1) \%$ $\pm [0,4 + 0,2 (I_n R_n - 1)] \%$ $\pm [2,5 + 0,2 (U_n I_n - 1)] \%$	$\pm 2,5 \% U_n$ $\pm 2,5 \% I_n$ $\pm 2,5 \% R_n$	4	5	6
2	В7-37, вольтметр универсальный с аналоговым и цифровым отчетом	U_n I_n R_n	$10^{-4} \dots 1000$ В $10^{-5} \dots 10$ А с шунтом $10^{-2} \dots 1000$ В на частотах 20 Гц, 50 кГц, с делителем ДН-519 и выносным пробником до 1000 МГц $10^{-6} \dots 10$ А на частотах 20 Гц, 1 кГц с шунтом $10^{-4} \dots 10^8$ Ом	$\pm [0,25 + 0,2 (U_n I_n - 1)] \%$ $\pm [0,4 + 0,2 (I_n R_n - 1)] \%$ $\pm [2,5 + 0,2 (U_n I_n - 1)] \%$	$\pm 2,5 \% U_n$ $\pm 4 \% I_n$ $\pm 2,5 \% R_n$	3	5	6

Продолжение табл. 36,9

1	В7-35, вольтметр универсальный цифровой малотарифный с авто- номным и сетевым питанием	U_n I_n R_n	$10^{-4} \dots 1000$ В $10^{-7} \dots 1$ А с шунтом до 10 А $10^{-4} \dots 1000$ В (20 Гц, 20 кГц, с выносным проб- ником до 100 МГц); $600 \dots 1000$ В с внешним дели- телем	$\pm 0,1 + 0,1 (U_n I_n) \%$ $\pm 0,3 + 0,1 (I_n R_n) \%$ $\pm 0,2 + 0,2 (U_n I_n) \%$	$\pm 0,4 + 0,3 (I_n R_n) \%$ $\pm 0,3 + 0,1 (R_n I_n) \%$	4	5	6
2		U_n I_n R_n	$10^{-7} \dots 1$ А на частотах 20 Гц, 20 кГц с шунтом до 10 А $1 \dots 12 \cdot 10^6$ Ом			3	5	6

Продолжение табл. 36,9

1	Универсальный вольтметр цифровой	U _н U _л L R _н	10 ⁻⁶ ...1000 В 10 ⁻⁷ ...10 А 10 ⁻⁴ ...750 В (20 Гц...100 кГц) 10 ⁻⁷ ...10 А 10 ⁻⁴ ...2·10 ⁷ Ом	±(0,004 + δ) + 0,001 (U _н U _л - 1) % ±[0,15 + 0,1 (U _н U _л - 1)] % ±[0,006 + 0,001 (R _н R _л - 1)] % ±[δ + 0,06 + 0,02(U _н U _л - 1)] % ±(A _н B _н U _н ² + C _н U _н ² U _л ²) % — —	5	6
2	Универсальный вольтметр цифровой	U _н L U _л L R _н	10 ⁻⁵ ...1000 В (30 кВ с высоковольтным делителем) 10 ⁻⁸ ...2 А с шунтом до 10 А 2·10 ⁻³ ...1000 В (20 Гц...100 кГц); 0,1...15 В с ВЧ пробником (50 кГц...1000 МГц) 2·10 ⁻⁶ ...2·10 ⁴ А с шунтом до 2 А (40 Гц...20 кГц, с шунтом до 2 кГц) 0,01...2·10 ⁷ Ом	±[0,05 + 0,1 (U _н U _л - 1)] % ±[0,2 + 0,2 (U _н U _л - 1)] % ±(0,6 + 0,1 (U _н U _л - 1)) % U _н ±[1 + 0,1 (U _н U _л - 1)] % в диапазоне частот 40 Гц...10 кГц ±[0,15 + 0,005 (R _н R _л - 1)] %; ±[0,5 + 0,1 (R _н R _л - 1)] % на поддиапазоне 20 Мом	4	3
3	Универсальный вольтметр малотарапильный	U _н L U _л L R _н	10 ⁻⁷ ...10 А 10 ⁻⁴ ...750 В (20 Гц...10 кГц) 10 ⁻⁷ ...10 А 10 ⁻⁴ ...2·10 ⁷ Ом	±[1,2 + 0,2 (U _н U _л - 1)] % в диапазоне частот 40 Гц...5 кГц ±[0,2 + 0,1 (R _н R _л - 1)] %	4	6

Окончание табл. 36,9

1	Универсальный цифровой вычислительный	U _н U _л R _н Сумма U _н + U _л Отношение U _н /U _л Отношение U _н /U _л Отношение U _н /U _л Отношение U _н /U _л Отношение U _н /U _л	10 ⁻⁶ ...1000 В 10 ⁻⁷ ...750 В на частотах 20 Гц...1 МГц 10 ⁻⁴ ...10 ⁶ Ом 10 ⁻⁶ ...1000 В (10 ⁻⁶ - 500) В (10 ⁻⁶ - 500) В (10 ⁻⁶ - 500) В (10 ⁻⁶ ...300) В (10 ⁻⁵ ...300) В (10 ⁻⁵ ...300) В (10 ⁻⁶ ...500) В (10 ⁻⁶ ...300) В	±(0,004 + δ) + 0,001 (U _н U _л - 1) % ±[0,15 + 0,1 (U _н U _л - 1)] % ±[0,006 + 0,001 (R _н R _л - 1)] % ±[δ + 0,06 + 0,02(U _н U _л - 1)] % ±(A _н B _н U _н ² + C _н U _н ² U _л ²) % — —	4	5	6
---	---------------------------------------	--	--	--	---	---	---

Продолжение табл. 36,9

Г7 — приемники эталонных частот;

Г9 — преобразователи частоты, предназначены для преобразования частоты электромагнитных колебаний в постоянное напряжение или ток. В табл. 36.10 приведены технические характеристики наиболее употребляемых частотомеров.

36.9. Измерительные генераторы

В соответствии с ГОСТ 15094—69 измерительные генераторы классифицируются по группам:

Г2 — генераторы шумовых сигналов различной формы с неповторяющейся последовательностью. Используются при исследовании состояний и измерении параметров систем и объектов;

Г3 — генераторы сигналов низкочастотные, являющиеся источниками синусоидальных колебаний в диапазоне от единиц герц до 10 МГц;

Г4 — генераторы сигналов высокочастотные с разнообразными режимами модуляции и широким диапазоном частот (100 кГц ... 78 ГГц);

Г5 — генераторы импульсов — источники импульсных сигналов с широким диапазоном частоты повторения и длительности калиброванной амплитуды с положительной и отрицательной полярностью;

Г6 — генераторы сигналов специальной формы (синусоидальной, прямоугольной, треугольной, пилообразной и др.) с широким диапазоном частот (0,001 Гц ... 20 МГц);

Г7 — генераторы качающейся частоты (свип-генераторы).

Существует достаточно много генераторов для удовлетворения различных измерительных нужд. Здесь приведем только некоторые типы, имеющие широкое использование и рекомендованные для проведения радиотехнических измерений аппаратуры железнодорожной радиосвязи.

Генераторы сигналов низкочастотные в основном относятся к резистивно-емкостному типу (RC-генераторы). Многие генераторы кроме синусоидального напряжения дополнительно обеспечивают сигнал прямоугольной формы в виде меандры, что делает их пригодными для настройки импульсных схем. Основные технические параметры приведены в табл. 36.11.

Генераторы сигналов высокочастотные имеют различные режимы модуляции амплитуды и частоты сигнала — синусоидальной, импульсной, видеосигнала. В табл. 36.12 приводятся основные технические параметры некоторых генераторов, применяемых в БИП-радио железных дорог.

Таблица 36.10

Характеристики ЭСЧ

Тип	Диапазон измерения						
	частоты непрерывных (НП)	частоты амплитудно-модулированного (АМ), ГГц	несущей частоты (ИМ), ГГц	длительности периодов	длительности интервалов времени	чувствительность	ночь частоты генератора
1	0,1...60 МГц	—	—	—	—	7	8
2	0,4...2 ГГц	0,04...2	0,1...2	—	—	7	8
3	1,5	—	1,5...12 Г	—	—	7	8
4	8...17,44 ГГц	—	8...17,44	—	—	7	8
5	—	—	—	—	—	7	8
6	—	—	—	—	—	7	8
7	0,05 В (0,5 ГГц), 0,1 В (1,05 ГГц), 0,02 мВТ (12 ГГц), 0,05 мВТ (16 ГГц), 0,15 мВТ (18 ГГц)	±7·10 ⁻⁶ за 6 мес.; ±1,4·10 ⁻⁵ за 1 год	±7·10 ⁻⁶ за 6 мес.; ±1,4·10 ⁻⁵ за 1 год	±7·10 ⁻⁶ за 6 мес.; ±1,4·10 ⁻⁵ за 1 год	±7·10 ⁻⁶ за 6 мес.; ±1,4·10 ⁻⁵ за 1 год	±7·10 ⁻⁶ за 6 мес.; ±1,4·10 ⁻⁵ за 1 год	±7·10 ⁻⁶ за 6 мес.; ±1,4·10 ⁻⁵ за 1 год
8	—	—	—	—	—	7	8
9	—	—	—	—	—	7	8

Параметры	Г3-102	Г3-106	Г3-111	Г3-118	Г-3123
Диапазон частот	20 Гц ... 200 кГц (4 поддиап.)	20 Гц ... 200 кГц (4 поддиап.)	20 Гц ... 2 МГц (5 поддиап.)	10 Гц ... 200 кГц (5 поддиап.)	1 Гц ... 300 кГц
Попрецизионность уста- новки частоты	±(1 + 50/f) %	±(3 + 30/f) %	±(3 + 50/f) %	±(1 + 50/f) %	±1..1,5 %
Нестабильность час- тоты	±10 ⁻³ f (за 15 мин)	±2·10 ⁻³ f (за 15 мин)	±2·10 ⁻³ f (за 15 мин)	±10 ⁻³ f (за 15 мин)	±10 ⁻³ f (за 15 мин)
Выходное напряже- ние	7,75 В (600 Ом)	5 В (600 Ом)	5 В (600 Ом)	10 В; 5 В (600 Ом)	68 В; 6 В (600,5 Ом)
Ослабление выхода ник, %	0..100 дБ (по 20 дБ)	0..60 дБ (по 20 дБ)	0..60 дБ (по 20 дБ)	0..80 дБ (по 20 дБ)	0..100 дБ
Коэффициент гармо- ник, %	0,1...0,2	0,5...1,0	0,5...2,0	0,01...0,05	0,1...0,5
Потребляемая мощ- ность, 220 В	25 В·А	20 В·А	20 В·А	50 В·А	140 В·А
Масса, кг	9,0	4,6	5,0	8,0	15,5

Технические характеристики генераторов низкой частоты

Таблица 36.11

1	2	3	4	5	6	7	8	9
ЧЗ-61	8,15...37,5 ГГц	—	8,5...37,5	—	—	—	±2,5·10 ⁻⁷ за 6 мес.; НТ: 0,05 мВТ (17,44 ГГц), 0,1 мВТ (37,5 ГГц) В режиме ИМ: 0,25 мВТ	490×136×480; 16
ЧЗ-62	10 Гц...10 МГц	—	—	10 мкс...9,9 с	100 мкс... ...5 с	0,01 В	±1,5·10 ⁻⁷ за 1 год	375×143×300; 7
ЧЗ-63	0,1 Гц...1 ГГц	—	—	0,1 мкс...10 ⁴ с	0,1 мкс... ...10 ⁴ с	0,03 В	±5·10 ⁻⁷ за 1 год	312×95×335; 6
ЧЗ-64	0,005 Гц... ...1 ГГц; 0,95...12 ГГц (со сменным блоком РЗЧ-168)	—	0,1...1	10 нс...2·10 ⁴ с	10 нс... ...2·10 ⁴ с	0,03 В	±5·10 ⁻⁷ за 1 год	488×133×574; 21
ЧЗ-65	—	—	—	—	—	0,1 В	±5·10 ⁻¹¹ за 1 с; ±5·10 ⁻⁹ за 24 ч	480×160×555; 30

Окончание табл. 36.10

Технические характеристики генераторов высокой частоты

Параметры	Г4-107	Г4-116	Г4-139	Г4-164	Г4-176
Диапазон частот	12...400 МГц (5 поддиап.)	4...300 МГц (6 поддиап.)	0,5...512 МГц	0,1...640 МГц	0,1...1020 МГц
Погрешность ус- тановки	±1%	±1%	$5 \cdot 10^{-7} f + 1$ ед. от.	$5 \cdot 10^{-7} f$	$1,5 \cdot 10^{-7} f$
Нестабильность частоты	$2,5 \cdot 10^{-4} f$ (за 15 мин)	$1 \cdot 10^{-4} f$ (за 15 мин)	$4 \cdot 10^{-5} f$ (за 15 мин)	$0,5 \cdot 10^{-7} f$	$0,5 \cdot 10^{-7} f$
Выходное напря- жение	1 В... 1 кВ (50,75 Ом)	0,1 кВ... 0,5 В (50,75 Ом)	10^4 ... 2 В (50,75 Ом)	$0,03 \cdot 10^{-6}$... 2 В (50 Ом)	$0,03 \cdot 10^{-6}$... 2 В (50 Ом)
Внутренняя моль- дация	АМ, ЧМ, ИМ	АМ, ЧМ	АМ, ЧМ	АМ, ЧМ	АМ, ЧМ, ТВ
Внешняя модуля- ция	АМ	АМ, ТВ	АМ, ЧМ	АМ, ЧМ	АМ, ЧМ, ТВ
Потребляемая мощность	25 В·А	60 В·А	150 В·А	120 В·А	100 В·А
Масса, кг	10	13,5	30	22	24

36.10. Осциллографы

Осциллографы — приборы общего назначения для визуализации электрических процессов в схемах и устройствах. По назначению и принципу действия делятся на универсальные (С1), напоминающие (С8), стробоскопические, скоростные (С7), специальные, цифровые (С9). Могут быть одноканальными, двухканальными, многоканальными. Отдельные типы (С1-91, СК1-95, СК1-110, СК1-111, С1-114) могут решать задачи, выходящие за пределы традиционных осциллографических измерений: частоты, токов, напряжения постоянного тока, сопротивления и т.д. Слектрометры со встроенными микропроцессорами (С1-116, С1-117, С1-108) обрабатывают сигналы подобно цифровому регистру переходных процессов, т.е. усредняют их, складывают, вычитают, умножают, делят, выполняют корреляцию и преобразование Фурье с высокой точностью.

В табл. 36.13 приведены технические параметры применяемых в БИП-радио железных дорог осциллографов.

Таблица 36.13
Технические характеристики универсальных осциллографов

Параметры	С1-75	С1-82	С1-94	С1-97	С...118А
Полоса пропускания	0...250 МГц	0...10 МГц	0...10 МГц	0...350 МГц	0...20 МГц
Коэффициент отклонения	10 мВ/см1 В/см	1 мВ/дел5 В/дел	10 мВ/дел5 В/дел	5 мВ/дел0,5 мВ/дел	5 мВ/дел5 В/дел
Коэффициент развертки	20 нс/см0,1 с/см	0,05 мкс/дел0,5 с/дел	0,1 мкс/дел50 мс/дел	1 нс/дел0,1 с/дел	0,02 мкс/дел50 мс/дел
Входное сопротивление, емкость	50 Ом	1 МОм, 35 кор	1 МОм, 40 кор	50 Ом, 100 кор	1 МОм, 20 кор
Рабочая часть экрана	60×100 мм	100×120 мм	40×60 мм	80×100 мм	60×80 мм
Потребляемая мощность	160 В·А	100 В·А	25 В·А	140 В·А	28 В·А
Масса, кг	23	15	3,5	18	4

36.11. Измерители девиации частоты (девиометры) и коэффициенты амплитудной модуляции

Используются для измерения параметров ЧМ и АМ, линейности модуляционных характеристик генераторов и передатчиков, коэффициента гармоник модулирующего сигнала (с подключением внешнего измерителя коэффициента гармоник), уровня паразитной АМ и ЧМ, а также для исследования формы ВЧ-сигнала по амплитуде и частоте (с подключением внешнего осциллографа), частотных характеристик по модулирующим частотам модуляторов и ВЧ-трактов генераторов и передатчиков. Наличие выхода НЧ и малые искажения измерительных цепей позволяют измерять искажения закона модуляции ЧМ- и АМ-сигнала и модуляционные параметры сигналов с несинусоидальной формой модуляции. Основные характеристики приведены в табл. 36.14.

Таблица 36.14

Параметры	Технические характеристики измерителей девиации					
	СКЗ-40	СКЗ-42	СКЗ-43	СКЗ-45	СКЗ-46А	
Диапазон несущих, МГц:						
в режиме ЧМ	4...1 000	4...1000	4...500	0,1...10 000	5...1500	
в режиме АМ	4...500	4...500	0,15...100	0,1...10 000	5...500	
Диапазон модулирующих:						
в режиме ЧМ, кГц	0,03...200	0,05...200	0,03...60	0,02...200	0,05...30	
в режиме АМ, кГц	0,03...20	0,01...20	0,03...60	0,02...200	0,05...30	
Пределы девиации:						
в режиме ЧМ, кГц	0,5...500	0,05...500	1...500	1...1 000 000	1...300	
в режиме АМ, %	0,1...100	0,1...100	1...100	0,1...100	1...100	
Чувствительность, МВ	50	0,2	50...300	5...200	10...40	
Потребляемая мощность, В·А	45	300	100	120	15	
Масса, кг	17	210	9,5	17	3,5	

36.12. Измерители коэффициента гармоник (нелинейных искажений)

Измерение искажений формы сигналов, близких к синусоидальным, сводится к изменению коэффициента нелинейных искажений (КНИ). Долгое время наиболее распространенным прибором для измерения

КНИ были приборы С6-1 и С6-1А; в них измерение КНИ производилось сравнением измеряемого напряжения с напряжением высших гармоник сигнала. Затем наступила долгая эра приборов С6-5, С6-7, в которых используется раздельное измерение среднеквадратичного значения высших гармоник сигнала и среднеквадратичного значения этого же сигнала при нормированном значении напряжения первой гармоники на входе преселекторного фильтра. В настоящее время измерители КНИ имеют автоматический режим измерения. Основные параметры измерителей КНИ приведены в табл. 36.15.

Таблица 36.15

Технические характеристики измерителей коэффициента нелинейных искажений

Параметры	С6-8	СК6-10	С6-11	С6-12	С6-13
Диапазон частот	20 Гц ... 200 кГц	20 Гц ... 1 МГц	20 Гц ... 200 кГц	10 Гц ... 200 кГц	10 Гц ... 120 кГц
Пределы измерений, %	0,1...100	0,1...100	0,1...100	0,03...100	0,03...100
Входные напряжения, В	0,1...100	1 МВ...10 В	0,1...10	0,1...100	100 мкВ...100 В
Погрешности измерений, %	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02
Потребляемая мощность, В·А	140	100	100	100	90
Масса, кг	20	18	13	18	16

37. ПЕРСОНАЛЬНЫЕ ВИДЫ ПОДВИЖНОЙ СВЯЗИ

37.1. Транкинговые системы связи

Под термином «транкинг» понимается многостанционный доступ или полное подключение большого количества абонентов к ограниченному числу каналов. Слово «*trunk*» переводится как станционное соединение или ствол (дерева) и означает ветвистое соединение. В 1995 г. международный союз электросвязи (МСЭ — *ITU-T*) закрепил понятие «транковые системы» за системами, предназначенными для организации «диспетчерской» связи, под которой понимается связь для группы абонентов, «объединенных общими интересами и имеющих взаимные обязательства». Транковые системы являются, таким образом, специализированным видом связи, обслуживаемым как корпоративные, так и ведомственные интересы. Вместе с тем в России наметилась тенденция использования такой связи для сетей общего пользования (для которых применяется термин «транкинговая связь») при соблюдении определенных условий: круглосуточное обслуживание, закрепление за каждым абонентом номера, создание дуплексного канала. Это требование *ITU-T* — Q11001, в котором указывается, что сети радиотелефонной связи общего пользования должны являться продолжением обычной телефонной сети общего пользования (ТФОП).

Несмотря на разнообразие транкинговых систем, все они построены по одному и тем же принципам. Транкинговая система может быть однозональной или многозональной. В каждой зоне устанавливается базовая станция *BS* (ретранслятор), через которую обеспечивается радиосвязь с абонентами системы. В качестве абонентских *MS* используются автомобильные или носимые радиостанции, работающие в симплексе, дуплексном или полудуплексном режиме. В транкинговых системах с частотным разделением каналов (*FDMA*) — МДЧР — на каждый рабочий канал приходится один ретранслятор. Приемник и передатчик работают на разных (разнесенных) частотах.

Устройство управления (УУ) обеспечивает взаимодействие между всеми узлами *BS*. В частности, осуществляет обработку вызовов, поступающих и передаваемых по каналу управления, контролирует длительность соединения с ТФОП, следит за очередностью прохождения вызовов и т.д.

В многозональных системах *BS* содержит маршрутизатор, который осуществляет обработку вызовов, выбор маршрута и коммутацию абонентов, а в многозональных системах отслеживает перемещение абонентов из одной зоны в другую.

Интерфейс использует сопряжение *BS* с телефонной сетью общего пользования (*PSDN*)*.

Одним из главных признаков транкинговой системы является возможность группирования абонентов, объединенных общими интересами. По этой причине трафик в основном замыкается внутри системы и выход абонентов на внешнюю сеть предполагается в исключительных случаях. Другой особенностью транкинговых систем является то, что в них предусмотрена возможность обеспечения связи между абонентами системы без выхода на ретрансляторы, что в системах общего пользования отсутствует.

По способу предоставления радиоканала транкинговые системы делятся на системы без канала управления и с каналом управления. В системах без каналов управления используются различные аналоговые и цифровые протоколы управления. Системы с аналоговым управлением требуют больше времени на установление соединения, чем цифровые, однако они дешевле цифровых. В этих системах соединение абонентов устанавливается на любом свободном радиоканале, который определяется путем сканирования по частотам абонентских радиостанций.

Системы с каналом управления более совершенны, чем системы без канала управления. При этом способ выделения канала управления (закрепленный или распределенный) неприципиален. В системах с закрепленным каналом управления имеется специально выделенный канал управления. В системах с распределенным каналом выделение для управления конкретного канала динамическое, при котором в различные моменты времени используются разные частотные радиоканалы.

В России в настоящее время находят использование аналоговые транкинговые системы на основе протокола «*Star Trunk-II*». Ведутся разработки по внедрению цифровой системы «*Tetra*», *GSM-R*.

* *PSDN* — *public switched telephone network* — коммутационная телефонная сеть общего пользования (ТФОП).

37.1.1. Транкинговые системы стандарта *Smr Trunk-II*

Система *Smr Trunk* впервые была представлена в 1992 г. Недорогая компактная система, за короткий срок технология стандарта стала мировой. *Smr Trunk-II* — это новое поколение популярной радиотелефонной системы. Основные технологические данные:

Рабочий диапазон частот 146...174 МГц (VHF) и 403...470 МГц (UHF);
 количество каналов — до 16 дуплексных пар;
 количество абонентов — до 1100 на систему;
 типы вызовов:

радиоабонент — ТФОП, ТФОП — радиоабонент;

радиоабонент — радиоабонент;

групповой вызов: срочный и аварийный вызов;

приоритетный вызов; диспетчерский вызов;

формат сигналов управления — цифровой *BPSK** (*Smr Trunk-II*);

индикатор занятости канала по наличию несущей;

файл конфигурации системы сохраняется на диске компьютера либо загружается с диска в контроллеры *ST-852*.

Контроллеры *ST-852* программируются по средству системы меню. Обеспечивают до 1800 записей и сохранение данных о состоявшихся сеансах связи, даты и времени, продолжительность разговора, типа вызова, а также их вывод на печать. Контроллер имеет возможность программирования таймера активности радиоабонентов и таймера ожидания ответов (от 1 до 255 с), аварийного номера (до 15 цифр), идентификация базовой станции (до 20 сигналов) и кода доступа (пароля) (шесть цифр). База данных контроллера рассчитана на 1100 радиоабонентов с описанием возможностей (максимальная длительность переговоров, разрешение на ведение междугородных переговоров и т.п.). Конфигурация системы не стирается при сбоях питания контроллера. Каждому абоненту присваивается личный добавочный номер длиной от одной до пяти цифр, а также групповой номер для диспетчерской связи. Для различных категорий пользователей существует 10 уровней приоритета. Структурная схема четырехканальной системы приведена на рис. 37.1, а одноканальной — на рис. 37.2. В четырехканальной системе основным элементом является базовая (*BS*) станция (*TX/RX* — приемопередатчик) и контроллер *ST-852*. Все радиоканалы независимы друг от друга,

* *BPSK* (*binary phase shift keying*) — двоичная фазовая манипуляция.

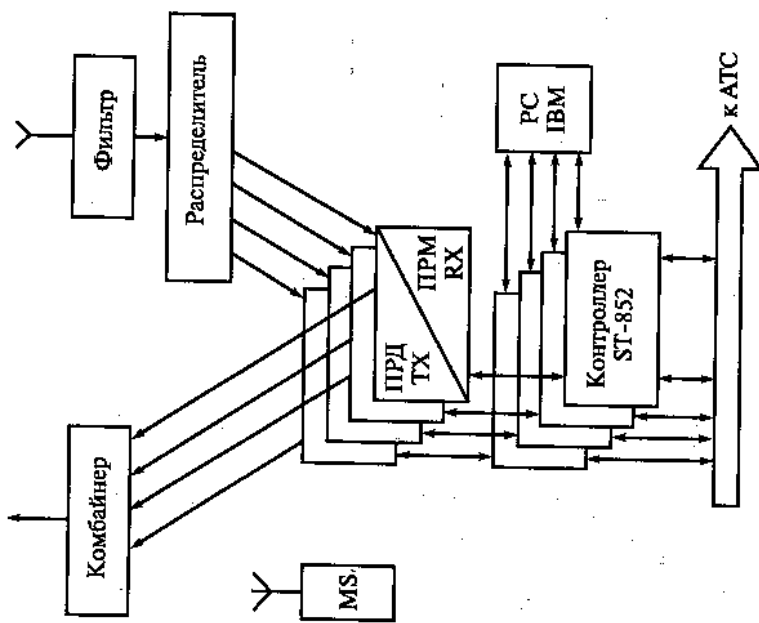


Рис. 37.1. Четырехканальная система

что позволяет разнести оборудование системы на значительное расстояние друг от друга. Контроллер каждого канала имеет выходы на две двухпроводные абонентские линии. Обычно один из выходов подключается к городской АТС, а другой — к местной (учрежденческой) линии связи. Набор в линию импульсный или тональный (*DTMF*)*. Набор со стороны АТС тональный или импульсный.

Базовое оборудование системы имеет комбайнер — устройство, позволяющее складывать сигналы от нескольких передатчиков и направлять их в общую передающую антенну. Распределительная панель содержит фильтры, разделяющие рабочие частоты четырех каналов.

* *DTMF* — (*dual-tone multi-frequency*) — двухтональная многочастотная система (сигнализации).

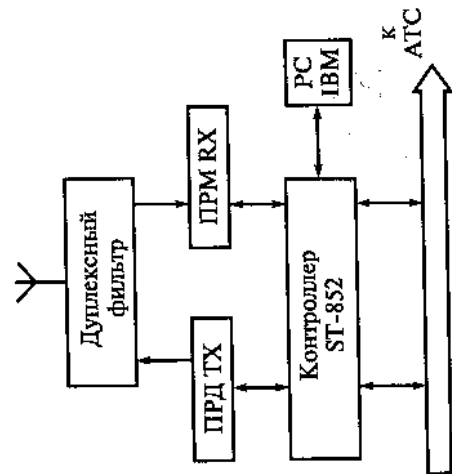


Рис. 37.2. Одноканальная система

пилот — сигнал на тональной частоте 1200 Гц длительностью 0,3 с, подтверждающий включение ретранслятора на установление связи. Все свободные абонентские радиостанции прекращают сканирование и задерживаются на этом канале, ожидая вызова. Когда все свободные абонентские станции собрались на выбранном радиоканале, ретранслятор передает вызывной пакет (пейдж), в котором содержится адрес вызываемой станции. В результате вызываемая станция остается на канале и начинается сеанс связи, а остальные абонентские радиостанции переходят в режим сканирования.

Процедура вызова мобильным абонентом радиосети абонента ТФОП заключается в наборе нужного номера ТФ (до 14 цифр), после чего посылается вызов «один» (первая линия). Абонентская радиостанция, сканируя, находит свободный канал (ретранслятор), получает ответ от ТФОП (зуммер) и посылает телефонный номер. При необходимости после соединения возможен тональный набор, например, для доступа добавочным номерам местной АТС.

Процедура вызова абонентом ТФОП мобильного абонента заключается в наборе номера, по которому подключен контроллер ST-852 и, если линия свободна, набор номера мобильного абонента. Если мобильный абонент занят, или его радиостанция выключена, или он находится вне зоны действия системы, то абонент ТФОП получает ответ «занято». Если система имеет несколько мест расположения ретранслято-

ров (при многоканальной системе), то можно выйти на другие ретрансляторы (каждый имеет свой телефонный номер) и проверить, не там ли находится вызываемый абонент. Часть абонентских номеров можно использовать в качестве групповых. Вызвать группу радиостанций можно как с другой радиостанции, так и с телефона абонента ТФОП. Правила набора те же, что и для отдельных радиоабонентов. Диспетчерская связь внутри своей группы не требует набора номера, достаточно нажать кнопку «передача» на базовой радиостанции, и все радиостанции группы будут доступны.

Срочный вызов оператора системы можно осуществить путем набора комбинации «9». В случае бедствия или опасности набор комбинации «0» приведет к автоматическому набору заранее запрограммированного номера (например, милиции). Если при наборе этих комбинаций все каналы окажутся занятыми, то система принудительно прервет один из разговоров для прохождения срочного или аварийного вызова.

Система имеет интерфейсный модуль ST-869, который обеспечивает возможность входящего в систему стационарных абонентских станций, установленных, например, в квартирах, дачах. Модуль позволяет подключить обычный телефонный аппарат к радиостанции и управлять ее работой с клавиатуры этого аппарата.

37.1.2. Транкинговая система TETRA

Стандарт TETRA — первый и единственный существующий стандарт на цифровой транкинг в Европе. Расшифровывается (в настоящее время) как «наземное транкинговое радио» (*Terrestrial Trunked Radio*). Стандарт установлен ETSI* (Европейским институтом телекоммуникационных средств), прошел тщательную проверку, что гарантирует высокое качество.

Стандарт TETRA состоит из двух частей: TETRA V+D (*TETRA Voice+Data*) — стандарта на интегрированную систему передачи речи и данных, и TETRA — PDO (*TETRA Packet Data Optimized*) — стандарта, описывающего специальный вариант транкинговой системы, ориентированной только на передачу данных. В стандарте TETRA входят спецификации беспроводного интерфейса, интерфейса между сетью TETRA и цифровой сетью ISDN с интеграцией услуг, с телефонной сетью обще-

* ETSI — European Telecommunications Standards Institute.

го пользования, сетью передачи данных, учрежденскими АТС и т.п. В стандарт включено описание основных и дополнительных услуг, предоставляемых сетями *TETRA*.

Система стандарта *TETRA* может функционировать в следующих режимах:

- транкинговой связи;
 - с открытым каналом;
 - непосредственной связи.
- В режиме транкинговой связи обслуживаемая территория перекрывается зонами действия базовых приемо-передающих станций. В режиме с открытым каналом группа пользователей имеет возможность устанавливать соединение «один пункт — несколько пунктов» без какой либо установочной процедуры. В этом режиме радиостанции работают в двухчастотном симплексе.

В режиме непосредственной прямой связи между терминалами устанавливаются двух- и многоточечные соединения по радиоканалам, не связанным с управлением сетью, без передачи сигналов через базовые радиотранслирующие станции.

Основные сетевые процедуры системы *TETRA*:

- регистрация мобильных абонентов и роуминг (процедура закрепления абонента за одной или несколькими базовыми станциями и обеспечение возможности перемещаться абоненту из зоны в зону без потери связи);
- повторное установление связи (обеспечение возможности замены сетью базовой станции, используемой абонентом, в случае ухудшения связи);
- аутентификация абонентов (установление подлинности абонента);
- отключение/подключение абонента (процедура отключения/подключения абонента от/к сети по его инициативе);
- управление потоком данных (обеспечение возможности сети переключать на себя потоки данных, направленных к определенному абоненту);
- отключение абонента оператором сети (процедура блокирования работы абонентского терминала оператором сети).

Основные технологические данные системы *TETRA*

Система предполагает работу в стандартной сетке частот шагом 25 кГц. Необходимый минимальный дуплексный разнос каналов 50 МГц (разное между частотой от мобильного абонента к базе и частотой сигналов

от базы к минимальному — *MS*). Используемый диапазон частот от 150 до 900 МГц. В системах стандарта *TETRA* — *V + S* используется метод многостанционного доступа с временным разделением каналов (*МДВР TDMA — time division Multiple Access*). На одной физической частоте может быть организовано четыре независимых информационных канала благодаря использованию относительной фазовой модуляции *DQPSK (Differential quadrature phase keying)*. Скорость модуляции 36 кбит/с.

Для преобразования речи в стандарте *TETRA* используется кодек с алгоритмом преобразования типа *CELP (Code Excited Linear Prediction)*. Скорость цифрового потока на выходе речевого кодека составляет 4,8 кбит/с. Цифровые данные с выхода речевого кодека подвергаются блочному и сверточному кодированию, перемещению и шифрованию, после чего формируются информационные каналы. Пропускная способность потока данных 28,8 кбит/с (при этом общая скорость символов в радиоканале за счет дополнительной служебной информации и контрольного кадра соответствует скорости модуляции и равна 36 кбит/с).

Временная структура сигналов в системе *TETRA* строится из мультикадров длительностью 1,02 с. Мультикадр содержит 18 кадров, один из которых является контрольным. Кадр имеет длительность 56,67 мс и со-

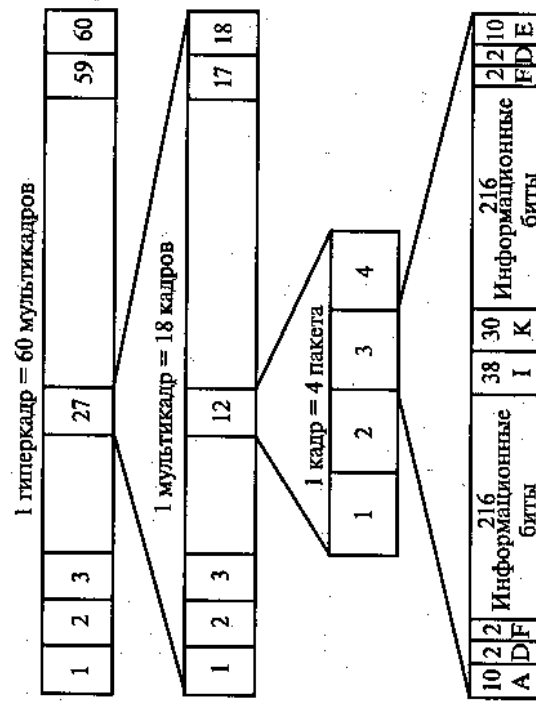


Рис. 37.3. Формат кадров *TETRA*

держит 4 временных пакета (*time slots*) — слоты. В каждом из слотов передается информация своего временного канала. Слот имеет длину 510 бит, из которых 432 являются информационными (2 блока по 216 бит). Кроме того, следует отметить, что 60 мультикадров объединяются в гиперкадр.

На схеме (рис. 37.3) показан пакет информационных битов, кроме такого пакета существуют пакеты управления и соединения.

Следует напомнить, что в результате применения относительной фазовой манипуляции на одной несущей образуются четыре канала связи, из них три — информационных, один — управляющий канал.

37.2. Сотовая связь

37.2.1. Федеральные системы сотовой связи

Проект сотовой системы впервые появился в США в 1970-х годах. Первая реализация известна под названием *AMPS (Advanced Mobile Phone Service)*. В дальнейшем системы, похожие на *AMPS*, появились по всему миру. Все сотовые системы первого поколения используют аналоговую модуляцию (*FM — Frequency Modulation*) для передачи речи и частотную манипуляцию (*FSK — Frequency Shift Keying*) для сигнализации. Различные вызовы используют различные частоты. Такой способ разделения спектра называется множественным доступом с частотным разделением (*МДЧР/FDMA — Frequency Division Multy Access*). Вслед за американской системой *AMPS* появилась европейская аналоговая система *TACS (Total Access Communication System)*, очень похожая на *AMPS*. Во «втором поколении» сотовые системы перешли на цифровую технологию, при этом используется множественный метод доступа с временным разделением (*МДВР/TDMA — Time Division Multy Access*) и множественный доступ с кодовым разделением (*МДКР/CDMA — Code Division Multy Access*). В *МДВР* каждый радиоканал делится на множество временных слотов (интервалов) и каждому пользователю присваивается специфическая частотно-временная комбинация. Таким образом, только один абонент в данной соте использует данную частоту в определенный момент времени. В *МДКР* частотный канал используется одновременно множественно абонентами данной соты, а сигналы различаются путем передачи их различным кодом. Цифровые системы могут поддерживать большее количество пользователей на одну базовую станцию и на один мегагерц частотного спектра, причем услуги с высокой плотностью населения об-

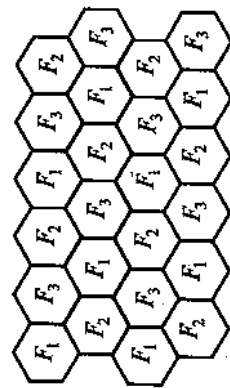


Рис. 37.4. Расположение сот в системе сотовой связи

Принцип сотовой связи — деление обслуживаемой территории на соты, при этом возможно повторное использование частот. Группа сот с различными частотами называется кластером. В приводимом примере на рис. 37.4 размер кластера равен 3.

Каждая из сот обслуживается многоканальным радиопередатчиком *BS* (базовая станция). *BS* является интерфейсом между абонентом и центром коммутации подвижной связи. Число каналов *BS* кратно 8, 16, 32, ..., один из каналов является управляющим (*control plane*). На этом канале происходит непосредственное управление мобильными станциями, проводится установление соединения при вызове подвижного абонента, а сам разговор начинается только после того, как будет найден свободный в данный момент канал и произойдет переключение на него. Любой канал представляет пару частот для дуплексной связи.

37.2.2. Система сотовой связи стандарта GSM-900

Стандарт *GSM (Global System for Mobile Communication)* — глобальная система связи тесно связан со всеми современными стандартами цифровых сетей, в первую очередь с *ISDN (Integrated Service Digital Network)* — цифровая сеть с интегральной службой, *ЦСИС* (цифровая сеть интегрально-обслуживания, *ЦСИО*) и *IN (Intelling Network)* — интегральная сеть.

Система *GSM* является цифровой системой передачи данных, речь кодируется и передается в виде цифрового потока. Абоненты *GSM* могут осуществлять обмен информацией с абонентами *ISDN*, *ТФОП*, сетей с коммутацией пакетов и сетей связи с коммутацией каналов. Возможна передача факсимильных сообщений при использовании соответствующего адаптера.

Уникальной возможностью *GSM*, которой не было в аналоговых системах, является двунаправленная передача коротких сообщений *SMS*

(Short Message Service) (до 160 байт), передаваемых в режиме с промежуточным хранением данных.

Рабочий диапазон частот 890...915 МГц (для MS) и 935...960 МГц (для BS). В стандарте GSM используется узкополосный многостанционный доступ с временным разделением каналов (TDMA). В структуре TDMA кадра содержится 8 временных позиций на каждой из 124-х несущих. Модуляция выбрана гауссовская, с минимальным сдвигом (GMSK — Gaussian Minimum Shift Keying), индекс модуляции 0,3. Обработка речи (DTX — Discontinuous Transmission) обеспечивает включение передатчика только при наличии речевого сигнала и отключение передатчика в паузах и в конце разговора.

Дуплексный разнос частот передачи и приема — 45 МГц.

Ширина полосы канала связи — 200 кГц.

Скорость передачи сообщений в радиоканале — 270,833 кбит/с.

Скорость преобразования речевого кодека — 13 кбит/с.

Максимальное количество каналов базовой станции — 16...20.

Максимальный радиус соты — 35 км.

Промышленность средств связи и европейские железные дороги работали в рамках консорциума MORANE системе нового поколения для радиосвязи с подвижными объектами. Система, получившая название GSM-R, построена на основе международного стандарта сотовой радиосвязи GSM и использует единый в европейском масштабе диапазон частот. Система GSM-R обеспечивает все функции общедоступных сетей радиосвязи GSM и обладает рядом дополнительных свойств, необходимых для учета специфики железнодорожного транспорта. В Европе для GSM-R используется общий диапазон частот, что позволяет обеспечить эксплуатационную совместимость железных дорог. Возможен также роуминг с общедоступными сетями, поскольку терминалы сети GSM-R работают во всем диапазоне 900 МГц. С появлением приложений, представляющих соответствующую информацию, можно будет говорить о воплощении концепции «мобильного офиса на рельсах». Работники железнодорожного транспорта получат возможность обращаться к информации, рассредоточенной вдоль линии, что приведет к повышению эффективности их работы. С ее внедрением у железных дорог появится стандартизованная база данных для всех специализированных приложений — Поездной и маневровой, технологической и ремонтной радиосвязи, радиосвязи строительных подразделений и т.п.

37.2.3. Системы персональной мобильной связи микро- и пикосотовой структур

Самое существенное, что сдерживает развитие сотовых систем, это их ограниченные возможности по наращиванию абонентской емкости. Этот недостаток можно преодолеть, если уменьшать размер сот. Так, мы приходим к микро- и пикосотовым системам малого размера соты. Цифровая система GSM на сегодняшний день является самой совершенной, поэтому развитие малых систем идет по линии использования GSM — технологии. Система DCS-1800 (Digital Cellular System) аналогична GSM-900 и в чисто техническом плане отличается от нее главным образом диапазоном и предельной мощностью ручного терминала (пиковая мощность 1Вт, в GSM — 2Вт). Минимальный размер соты в системах DCS-1800 много меньше, чем в GSM-900, базовые станции могут быть расположены с большей плотностью. Одновременно в диапазоне 1800 МГц может быть выделена полоса более широкая (в абсолютном измерении). Это позволяет системе DCS-1800 принять на себя некоторые задачи, традиционно решаемые провальными сетями общего пользования. Следует также упомянуть о системе поздней связи UJS (GSM-T), которая также работает в диапазоне 900 МГц и начинает использоваться на всех европейских железных дорогах.

Наиболее перспективными для использования в системах абонентского доступа являются системы сотовой связи на стандарте IS-95 и многостанционный доступ с кодовым разделением каналов (CDMA — Code division multiple access). В отличие от частотного разделения (FDMA) с разномом в зону, где каждый участок спектра предоставляется абоненту, в технологии CDMA абоненту специфической части радиочастот или времени не предоставляется. Все абонентские модули передают и принимают одновременно, применяя различные коды, на одних и тех же частотах, используя всю выделенную полосу частот. В отличие от других систем секторная емкость системы CDMA жестко не ограничена. Поскольку каждой базовой станцией используется одна и та же полоса частот, между индивидуальными ячейками не требуется никакого частотного планирования или координации. Такая технология нашла свое применение прежде всего в небольших системах беспроводного доступа.

Первый стандарт беспроводного телефона CT-1 на систему беспроводных телефонов был разработан в 1985 году. Система работала в полосе 900 МГц и имела 40 дуплексных каналов с частным разделением каналов (FDMA). Более совершенным является стандарт CT-2, принципы работы которого базируются на множественном доступе с

частным разделением и дуплексом с временным разделением (*FDMA/TDD*). Для увеличения коэффициента использования частот применяются методы повторного использования частот, используемые в соговой связи.

Технические характеристики системы радиосвязи, основанной на использовании стандарта *CT-2*:

диапазон частот — 864...868 МГц;

ширина полосы частот — 4 МГц;

разнос соседних каналов — 100 кГц;

число радиоканалов — 40;

число дуплексных каналов на одну несущую — 1;

вид модуляции — *FSK*;

скорость передачи в канале — 72 кбит/с.

В 1992 г. *ETSI (European Telecommunications Standards Institute)* — Европейский институт стандартов связи) принял стандарт *ETS-300175* на европейскую систему беспроводных телефонов *DECT (Digital Enhanced Cordless Telecommunications)*, предназначенную для передачи речевых сообщений и данных. *DECT* доказал свои возможности в различных приложениях, в которых он используется в качестве доступа к сети в доме, офисе и общественных местах, демонстрируя отличную мобильность и высокое качество речи. Стандарт *DECT* представляет собой технологию радиодоступа для обеспечения связи в диапазоне 1880...1900 МГц. Система *DECT* состоит из фиксированной части базовых станций (*BS*) и мобильных (носимых) радиостанций (*MS*), обеспечивая беспроводную связь пользователей, перемещающихся в пикосотовой инфраструктуре базовых станций.

Технические данные системы *DECT*:

рабочий диапазон — 1880/1900 МГц;

количество частот — 10;

разнос частот — 1,728 МГц;

метод доступа — *MC/TDMA/TDD*;

число каналов на одну несущую — 24 (12 дуплексных каналов);

скорость передачи — 1,152 Мбит/с;

метод модуляции — *GFSK* ($m = 0,5$).

Стандарт *DECT* основывается на многостанционном доступе с использованием десяти несущих (*MC* — *Multi Carrier* — многоносущий). Временной спектр *DECT* разделяется на временные фреймы, повторяющиеся каждые 10 мс. Фрейм состоит из 24 временных слотов, каждый из ко-

торых индивидуально доступен (*TDMA* — *Time Division Multiple Access* — многостанционный доступ на основе временного разделения каналов).

Временной фрейм в 10 мс разделяется на две половины (*TDD* — *Time Division Duplex* — временное дуплексное соединение): первых 12 временных слотов используются для передачи фиксированной части («связь вниз»), а остальные 12 — для передачи носимой части («связь вверх»). Благодаря структуре *TDMA* обеспечивается до 12 одновременных дуплексных голосовых соединений, а с учетом 10 частотных каналов в любой момент доступен общий спектр из 120 дуплексных каналов. При добавлении третьего измерения (пространства) можно получить очень низкий коэффициент повторного использования. При высокой плотности установки базовых станций *DECT* (например, на расстоянии до 25 м в идеальной модели покрытия в виде шестиугольника) можно достичь емкости трафика приблизительно до 10 000 эрланг · этаж/м².

Базовая станция — *BS* — постоянно передает сигнал, по крайней мере, по одному каналу, выступая в качестве маяка для соединения с мобильными радиостанциями — *MS*. Передача маяка содержит служебную информацию — в многофреймной мультиплексной структуре — об идентификации базовой станции, возможностях системы, статусе базовой станции. Мобильная абонентская станция, подключенная к передаче маяка, проанализирует передаваемую информацию и определит, есть ли у *MS* права доступа к системе, ответствуют ли возможности системы услугам, требующимся *MS*, есть ли у *BS* свободная емкость для установления связи.

37.3. Системы персонального радиовызова

Под персональным радиовызовом (пейджингом) понимается услуга радиосвязи по односторонней передаче информации в обслуживаемой зоне. Система персонального радиовызова (*СПРВ*) состоит из нескольких связанных в сеть служб, изображенных на рис. 37.5.

Основной службой любой *СПРВ* является служба отправки сообщений. В эту службу поступают сигналы: 1) от службы подготовки сообщений от операторов, связанных с телефонной сетью общего пользования (*ТФОП*), по которой оператор от отправителя получает сообщения, 2) от службы автоматической отправки цифровых сообщений, получаемых от сети *ТФОП*, 3) от службы голосовой почты, 4) от службы удаленного доступа. Служба отправки сообщений через передатчик пе-

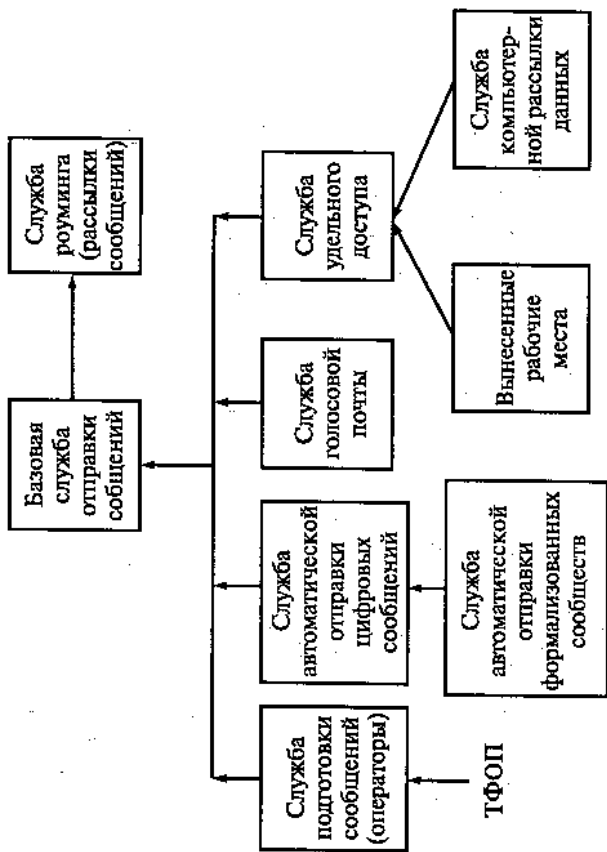


Рис. 37.5. Состав служб системы персонального радиовызова

редает в эфир кодированные сигналы, воспринимаемые персональным приемником (пейджером). Главное в пейджинговой системе состоит в сборе информации и подготовке сообщений к отправке. В первом случае оператор по сети ТФОП получает сообщение, набирает его на компьютере и передает на отправку. Во втором случае служба автоматической отправки цифровых сообщений позволяет отправить сообщение абоненту самостоятельно, без участия оператора. Сообщение набирается при помощи клавиатуры абонентского аппарата, роль которого может выполнять телефон с *DTM* (тональным набором).

С этой службой тесно взаимодействует служба автоматической отправки формализованных сообщений, позволяющая отправить абоненту стандартные текстовые сообщения, причем каждому такому сообщению соответствует определенный цифровой код, который набирается вместе с сообщением. Служба голосовой почты обеспечивает передачу звуковых посланий. Оператор голосовой почты принимает голосовые послания, записывает его в память и передает на абонентский пейджер сообщение о поступлении голосового послания. Абонент, получивший сообщение о послании, звонит с телефона с *DTM* (тональным набором)

на пейджинговую станцию, набирает тональным набором свой номер, номер поступившего послания и пароль. После этого поступившее послание передается абоненту на телефонный аппарат ТФОП.

В целях обеспечения удаленного доступа и взаимодействия с другими СПРВ организуются службы соответственно удаленного доступа и роуминга.

Системы СПРВ принято классифицировать:

- 1) по виду передаваемых сигналов: аналоговые и цифровые;
- 2) по территориальному признаку: локальные, городские, региональные;
- 3) по принятым протоколам передачи информации.

В настоящее время на территории России имеют действие протоколы *POCSAG*, *ERMES* и *FLEX*.

Протокол *POCSAG* был утвержден как международный стандарт в 1982 г. Протокол имеет при скорости передачи: 512 бит/с; 1,2 кбит/с; 2,4 кбит/с. Протокол предусматривает кодирование и разбиение передаваемого сообщения на неограниченное количество кодовых слов (частей) с последовательной передачей их базовой станцией в установленные моменты времени в виде частотно-манипулированных радиосигналов. В начале каждой передачи передается тактовая последовательность импульсов объемом 576 бит. При получении этой последовательности пейджер переводится в режим приема сообщения и происходит тактовая синхронизация его дешифратора. Затем базовая станция последовательно передает «пачки» частей поступивших сообщений. Время передачи каждой «пачки» разбивается на девять временных кадров. В первом кадре передается признак цикловой синхронизации, а в последующих восьми — по два кодовых слова. Первое из них в каждом кадре содержит адрес пейджера, а второе — закодированную часть сообщения и группу проверки на четность. Таким образом, каждый пейджер оказывается постоянно закрепленным за конкретным кадром и принимает поступающую в его адрес информацию только во время «своего» кадра при условии, что им были успешно приняты сигналы тактовой и цикловой синхронизации.

Протокол *ERMES* (*European Radio Message System*) — европейский протокол, имеющий европейский стандарт *EST-300-133*. Работает протокол в диапазоне частот 169,4...169,8 МГц с организацией 16 радиоканалов с разносом канальных частот в 25 кГц и использованием сканируемых по частоте абонентских приемников. Стандарт предусматривает передачу информации со скоростью до 6,25 кбит/с. Также, как и *POCSAG*,

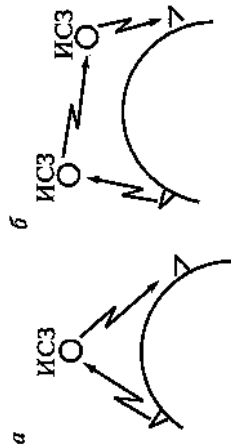


Рис. 37.6. Спутниковая система связи

мира. На рис. 37.6, а показана ССС с одним спутником, на рис. 37.6, б изображена возможная схема взаимодействия спутников через межспутниковую ретрансляционную линию связи.

Первая схема реализована в отечественной системе «Сигнал» и международной «Globalstar», вторая схема реализована в международной системе «Indium». В пользовательский сегмент включают все модификации земных станций, устанавливаемые непосредственно у пользователей. В зависимости от условий эксплуатации земные станции подразделяются на три типа: стационарные, возимые и носимые.

Космические аппараты (КА-спутники) имеют различное назначение и разные системы орбит. Это геостационарные спутники, спутники средних и низких орбит.

КА геостационарных орбит (GEO — Geostationary Earth Orbit), располагаясь на высоте примерно 36000 км, находятся постоянно над заданной точкой земной поверхности. Этот эффект достигается за счет того, что КА, двигаясь с угловой скоростью вращения Земли, как бы задерживается над определенной точкой поверхности, расположенной на экваторе. Связь через геостационарный КА не имеет перерывов в обслуживании и охватывает значительную часть земной поверхности (162°). Группа из трех спутников охватывает всю земную поверхность. Системы эти, к сожалению, имеют существенный недостаток в задержке связи до 600 мс (с учетом прохождения сигнала в обоих направлениях и задержках в системах обработки и коммутации).

КА средневысотных орбит (MEO — Medium Earth Orbit) обеспечивают более высокие характеристики обслуживания за счет близости и некоего числа КА, находящихся одновременно в зоне видимости пользователей на Земле. Высоты спутников MEO находятся в пределах 5000...15 000 км. Они создают меньшую зону обслуживания, чем КА GEO,

протокол ERMES предусматривает разбиение поступающих на передачу сообщений на отдельные части (словные слова), которые передаются в установленные моменты в одном или нескольких радиоканалах.

Протокол FLEX, в отличие от ROCSAG и ERMES, является многофункциональным, синхронным, многоскоростным протоколом односторонней передачи сообщений, оптимизированным по показателям эффективности и пропускной способности. Протокол предусматривает предварительное преобразование поступившего на передачу сообщения, после предварительного кодирования происходит его разделение на части. Полученные таким образом данные передаются в виде пакетов определенной длины, называемых окнами или кадрами. В начале каждого часа происходит синхронизация пейджера пользователя по соответствующим сигналам, передаваемым в нулевом кадре. Это позволяет каждому пейджеру определять текущее время по номеру кадра и цикла, а также обеспечивает их готовность к обнаружению в кадре признака своего адреса. В целом СПРВ по этому протоколу обслуживает около 600 тысяч цифровых пейджеров на одном радиоканале.

37.4. Спутниковые системы мобильной связи

По регламенту радиосвязи спутниковую связь подразделяют на фиксированную службу связи (ФСС), подвижную (ПСС) и радиовещательную (РСС). Фиксированная служба связи предназначена для организации связи между стационарными пользователями. Подвижная спутниковая служба первоначально планировалась для связи транспортных средств. В настоящее время идет переориентация ПСС на обеспечение услуг персональной связи. Радиовещательная спутниковая служба предназначена для передачи телевизионных и радиовещательных программ. Для ПСС характерна и новая услуга — определение местоположения подвижных абонентов, необходимая для сопровождения транспортных перевозок.

В состав спутниковой системы связи (ССС) могут входить пять основных сегментов:

- ракетно-космический комплекс;
- наземный сегмент управления;
- космический сегмент;
- сегмент земных узловых станций;
- пользовательский сегмент.

Ракетно-космический комплекс призван обеспечить вывод спутника на орбиту; наземный сегмент управления корректирует орбиту спут-

поэтому для глобального охвата земной поверхности нужно 8--12 спутников. Полная задержка сигнала составляет не более 130 мс, что позволяет использовать их для радиотелефонной связи. Период обращения КА МEO вокруг Земли порядка 6 ч, время работы в конкретной точке 1,5...2 ч, но спутники быстро сменяют друг друга, выстроившись в «колесо». Так, например, радиовидимость двух спутников в системе *Orbusee* или *ICO* обеспечивает 95 % суточной работы пользователей.

КА низковысотных орбит (*LEO* — *Little Earth Orbit*) имеют высоту 500...2000 км (подразделяется на *little LEO* и *big LEO*); обладают существенными преимуществами в энергетических характеристиках, но проигрывают в продолжительности сеансов связи (8...10 мин). Для глобального охвата Земли требуется целая флотилия спутников (48...66).

Вообще выбор орбит *МEO* и *LEO* определяется ионосферными параметрами Земли, в которых повышена радиация, от которых сложно экранировать спутник.

Кроме круговых орбит КА — *GEO*, *МEO*, *LEO* — существуют КА с эллиптическими орбитами, вытянутыми в апогее над рабочей зоной (*HEO* — *High Elliptical Orbit*). В настоящее время находят применение несколько типов эллиптических орбит с большим эксцентриситетом: «Боремус» (период обращения — 3 ч, апогей — 7840 км, перигей — 520 км), «Архимед» (период обращения — 8 ч, апогей — 26 737 км, перигей — 1000 км), «Молния» (период обращения — 12 ч, апогей — 40 000 км, перигей — 460 км), «Тундра» (период обращения — 24 ч) и др. За счет высокого апогея спутники большую часть времени остаются в зоне видимости определенного региона.

КА систем *GEO* и *HEO* применяются в основном для организации магистральной связи, обслуживая большие потоки информации. КА систем *МEO* используются для подвижной связи (с кораблями, самолетами и т.д.), их наземные абонентские станции имеют значительную массу и габариты и высокую стоимость. А вот КА систем *LEO* имеют неоспоримые возможности для организации спутниковой мобильной связи, при которой наземная станция может быть выполнена в виде носимой «трубки».

Кроме классификации ССС по применяемым орбитам их также можно классифицировать:

- 1) по степени доступности к системе: системы общего пользования; ведомственные системы;
- 2) по степени объединения: международные; национальные; корпоративные;

3) по степени охвата территорий: глобальные; национальные; региональные;

4) по скорости передачи информации: системы со сверхнизкими скоростями (менее 1,2 кбит/с); системы низкоскоростные (1,2...9,6 кбит/с); системы среднескоростные (9,6...64 кбит/с); системы высокоскоростные (64 кбит/с и выше).

Системы со сверхнизкими скоростями используются в системах оповещения местонахождения судов, самолетов и др., а также для передачи телеметрической информации и в системах аварийных сообщений.

Низкоскоростные и среднескоростные системы связи используются для организации радиотелефонной связи и передачи данных, телекса, факса, а также самоопределения местоположения.

Высокоскоростные системы связи обеспечивают видеосвязь, мультимедиа, *Internet*, конференц-связь и т.д.

Отечественные системы спутниковой мобильной связи

К началу нового века (2000 г.) Россия располагала действующими спутниками связи и вещания «Горизонт», «Экспресс» и «Ямал», и в 2000 г. началось обновление отечественной группировки. В табл. 37.1 приведены данные спутников на начало 2000 г.

Таблица 37.1

Название спутника	Точка стояния	Дата запуска	Примечание
1	2	3	4
«Горизонт-37»	14° з.д.	15.07.1992	С-диапазон, 6 стволов по 34 МГц
«Экспресс-А» № 3	11° з.д.	23.06.2000	С-диапазон, 11 стволов по 36 МГц, 1 ствол — 40 МГц, Кв-диапазон, 5 стволов по 36 МГц
«Стационар-12» «Горизонт-43»	40° в.д.	25.01.1996	С-диапазон, 6 стволов по 34 МГц
«Стационар-5» («Горизонт-44»)	53° в.д.	25.05.1996	С-диапазон, 6 стволов по 34 МГц
«Экспресс-А» № 2 «Экспресс-6А»	80° в.д.	12.03.2000	С-диапазон, 11 стволов по 36 МГц, 1 ствол — 40 МГц, Кв-диапазон, 5 стволов по 36 МГц
«Ямал-100»	90° в.д.	06.09.1999	С-диапазон, 10 стволов по 36 МГц
«Стационар-6» «Горизонт-40»	96,5° в.д.	29.10.1993	С-диапазон, 6 стволов по 34 МГц

1	2	3	4
«Экран-М», № 18	99° в.д.	07.04.2001	1 ствол 770 МГц
«Экспресс-9»	103° в.д.	26.09.1996	С-диапазон, 10 ствол по 34 МГц
«Стационар-7»	140° в.д.	02.04.1992	С-диапазон, 6 ствол по 34 МГц
«Горизонт-36»	145° в.д.	07.06.2000	С-диапазон, 6 ствол по 34 МГц

Кроме того, сейчас продолжают действовать спутники связи и вещания двойного назначения серии «Радуга». Спутник «Бонум-1» был введен на орбиту в 1998 г. в позицию 36° в.д. и в 2000 г. был переведен в позицию 56° в.д. Судьба этого спутника не очень понятна, он обслуживает НТВ+, и к этой системе есть большие финансовые претензии.

Для индивидуальной спутниковой связи используется глобальная спутниковая система «Глобалстар», содержит группу спутников и несколько космических терминалов на территории России.

Рекомендуемая литература

1. *Бабков В.Ю., Вознюк М.А., Дмитриев В.И.* Системы мобильной связи/под ред. проф. М.А. Вознюка — СПб.: Изд-во С-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича, 1999. — 330 с.
2. *Бадалов А.А., Михайлов А.С.* Нормы на параметры электромагнитной совместности РЭС. — М.: Радиосвязь, 1990. — 270 с.
3. *Горелов Г.В. и др.* Каналообразующие устройства железнодорожной телемеханики и связи. — М.: Транспорт, 1995. — 250 с.
4. *Горелов Г.В. и др.* Телекоммуникационные технологии на железнодорожном транспорте. — М.: УМК МПС, 1999. — 576 с.
5. ГОСТ 12252—86. Радиостанции сухопутной связи с частотной модуляцией.
6. ГОСТ 14663—83. Устройства приемные магистральной радиосвязи в гектометровом-дециметровом диапазоне волн.
7. ГОСТ 22580—84. Радиостанции с угловой модуляцией морской подвижной службы.
8. ГОСТ 24375—80. Радиосвязь. Термины и определения.
9. *Горелов Г.В., Таныгин Ю.И.* Радиосвязь с подвижными объектами железнодорожного транспорта: Учеб. — М.: Маршрут, 2006. — 263 с.
10. *Атабеков Г.И.* Теоретические основы электромеханики. Линейные электрические цепи: Учеб. — СПб.: Лань, 2008. — 608 с.
11. *Горелик А.В., Таныгин Ю.И., Шалягин Д.В.* Устройства железнодорожной автоматики, телемеханики и связи: Учеб. / Под ред. проф. Д.В. Шалягина. — Ч. 1. — М.: Маршрут, 2006. — 587 с.
12. *Дворяшин Б.Д.* Метрология и радионизмерения. — М.: Академия, 2006. — 297 с.
13. *Карташевский В.Г., Семенов С.Н., Фирстова Т.В.* Сети подвижной связи. — М.: Эко-Трендз, 2001. — 300 с.
14. *Методические указания по расчету системы станционной радиосвязи.* — М.: Транспорт, 1991. — 46 с.
15. *Нестеренко И. И.* Цветовая и кодовая маркировка радиоэлектронных компонентов. — М.: Солон-Р, 2001. — 122 с.

35. «Ремонт» №39. Справочное пособие. — М.: Солон-Р, 2000. — 240 с.
36. Руководство по организации и расчету ремонтно-оперативной радиосвязи (УШР-20153). — М.: Транспорт, 1991. — 28 с.
37. *Сидоров И.Н., Скоряков С.В.* Трансформаторы: Справочник «Радио и связь». — М., 1999. — 331 с.
38. *Таныгин Ю.И.* Радиотехнические системы: Учебное пособие. — М.: РГОТУПС, 2000. — 119 с.
39. *Таныгин Ю.И.* Теория передачи сигналов: Лекции. — М.: РГОТУПС, 2000. — 119 с.
40. Трансляционная усилительная установка типа ТУУ-600Т. Технические описание и инструкция по эксплуатации и ремонту 062.002.042 ТО.
41. *Уайндер С.* Справочник по технологиям и средствам связи. — М.: Мир, 2000. — 430 с.
42. Блок питания. Техническое описание и инструкция по эксплуатации. ИП 2.087.192 ТО.
43. Установка поездного радиовещания «Рейс». Техническое описание Хг 1.086.000 ТО.
44. Установка поездного радиовещания «Союз-Р». Руководство по эксплуатации ВРУИ. 465325.001 РЭ.
45. Усилительно-коммуникационная станция, громкоговорящая связь УКС. 1к-4ф-400 КИПЛ 3.102.002 «Парк-1», «Парк-2».
46. *Волков А.А.* Радиопередающие устройства железнодорожного транспорта. — М.: Маршрут, 2002.
47. Правила технической эксплуатации железных дорог Российской Федерации. — М.: МПС РФ, 2000. — 190 с.

16. Правила и нормы по оборудованию магистральных и маневровых локомотивов, электро- и дизель-поездов средствами связи и помехоподавляющими устройствами (УШ-4783). — М.: Транспорт, 1991. — 30 с.
17. Правила организации и расчета сетей поездной радиосвязи (УШ-4818). — М.: Транспорт, 1991. — 94 с.
18. Правила эксплуатации поездной радиосвязи (УШ-4784). — М.: Транспорт, 1990. — 25 с.
19. Приемопередатчик УПП-1МВ. Руководство по эксплуатации ХЖ 2.000.133 РЭ. — 16 с.
20. Приемопередатчик УПП-2МВ. Руководство по эксплуатации ХЖ 2.000.134 РЭ. — 20 с.
21. Приемопередатчик УПП-3. Руководство по эксплуатации КП 2.000.283 РЭ. — 40 с.
22. Радиостанция РВ-1 «Транспорт». Техническое описание и инструкция по эксплуатации. ИП 1.100.095 ТО. — 118 с.
23. Радиостанция РВ-1.1М «Транспорт РВ-1.1М». Техническое описание. А 174.464424.007 ТО. — 45 с.
24. Радиостанция 11Р22В «Транспорт». Техническое описание и инструкция по эксплуатации. Д.Ф.Ж 1.100.000 ТО.
25. Радиостанция РС-23М «Транспорт РС-23М». Руководство по эксплуатации. ХЖ 1.10.026-24 РЭ. — 124 с.
26. Радиостанция РС-6 «Транспорт РС-6». Техническое описание и инструкция по эксплуатации ДФЖ 1.100.009 ТО. — 124 с.
27. Радиостанция РС-46М «Транспорт РС-46М». Технические описание и инструкция по эксплуатации ХЖ 1.100.023 ТО. — 198 с.
28. Радиостанция РС-46МУ «Транспорт РС-46МУ». Технические описание и инструкция по эксплуатации УВИЯ.
29. Радиостанция «Лен-Б 160-3». Руководство по эксплуатации 602.000.108 РЭ, 21 с.
30. Радиостанция РН-12 Б. Технические описание и инструкции по эксплуатации. — 13 с.
31. Радиостанция 1Р32Н-4.3 «Радий-301». Руководство по эксплуатации УВИЯ. 464511.020-01 РЭ. — 45 с.
32. Радиостанция Р33П-1 «Гранит». Руководство по эксплуатации РМНК. 464511.001-01 РЭ.
33. Ремонтный комплекс СТОР радиостанции РС-46М. Руководство по эксплуатации ХЖ 2.761.007 РЭ. — 80 с.
34. Ремонтный комплекс СТОР радиостанции РС-23М. ХЖ 2.761.008 РЭ. — 75 с.

Оглавление

1. Международная система единиц (СИ)	3
1.1. Базовые единицы СИ	3
1.2. Производные единицы электрических и магнитных величин	4
2. Классификация радиоволн (частот)	6
3. Обозначения и классификация излучений	7
3.1. Обозначение излучений	7
3.2. Классификация излучений	7
3.3. Основные характеристики	8
4. Основные сведения из электротехники	11
4.1. Закон Ома	11
4.2. Законы Кирхгофа	12
4.3. Соединение сопротивлений	13
4.4. Работа, мощность и тепловое действие тока	15
4.5. Соединение конденсаторов	17
4.6. Индуктивность и взаимоиндуктивность	18
4.7. Соединение индуктивностей	19
4.8. Параметры синусоидального тока	20
4.9. Сопроотивление в цепи переменного тока	22
4.10. Последовательное и параллельное соединение активных и реактивных сопротивлений	24
4.11. Мощность переменного тока	24
4.12. Несинусоидальные токи	27
5. Резонансные цепи (контуры)	28
5.1. Последовательный колебательный контур	28
5.2. Параллельный колебательный контур	29
5.3. Резонансная кривая последовательного контура. Избирательность	31
5.4. Связанные колебательные контуры	33
6. Электрорадио материалы	36
6.1. Удельное сопротивление и температурный коэффициент сопротивления	36
6.2. Ток плавления проводов	37

6.3. Монтажные провода	37
6.4. Установочные провода	47
6.5. Высокочастотные коаксиальные кабели	52
7. Изолирующие материалы	54
8. Припой	56
9. Флюсы	61
9.1. Флюсы для пайки мягкими припоями	62
9.2. Флюсы для пайки твердыми припоями	64
10. Резисторы	65
10.1. Система условных обозначений	65
10.2. Система сокращенных обозначений резисторов	66
10.3. Цветовое кодирование миниатюрных резисторов	67
10.4. Рекомендации по применению резисторов	68
11. Конденсаторы	69
11.1. Условные обозначения конденсаторов для радиотехнических устройств	69
11.2. Сокращенные обозначения, назначение и основные области применения конденсаторов	71
11.3. Кодированное обозначение конденсаторов	73
11.4. Цветовой код отечественных танталовых (K53-30) конденсаторов	76
11.5. Цветовой код керамических конденсаторов (K10, K26)	77
12. Приборы стабилизации частоты	80
12.1. Система обозначений пьезоэлектрических резонаторов	80
12.2. Приборы селекции частоты	82
12.3. Высокочастотные катушки индуктивности, дроссели	85
13. Оптоэлектронные приборы	88
13.1. Классификация индикаторных приборов	88
13.2. Цветовая отличительная маркировка излучающих светодиодов	89
13.3. Полупроводниковый знаковый индикатор	91
14. Полупроводниковые диоды	93
14.1. Система сокращенных обозначений диодов	93
14.2. Цветовая маркировка импульсных и выпрямительных диодов	94
14.3. Цветовое кодирование стабилитронов и стабилиторов	98
14.4. Цветной код варикапов	103
14.5. Рекомендации по замене диодов	104

15. Транзисторы.....	106
15.1. Классификация и система обозначений.....	106
15.2. Цветовая и кодовая маркировка отечественных транзисторов.....	108
15.3. Рекомендации по подбору и замене транзисторов.....	118
16. Интегральные стабилизаторы.....	119
17. Некоторые отечественные микросхемы и их зарубежные аналоги.....	123
18. Трансформаторы.....	128
18.1. Основные термины и определения (ГОСТ 20938—75, ГОСТ 16110—82).....	128
18.2. Классификация и типы трансформаторов.....	129
19. Фильтры.....	134
19.1. Расчет пассивных LC-фильтров.....	137
19.2. RC-фильтры.....	144
19.3. Пьезоэлектрические фильтры.....	148
19.4. Электромеханические фильтры.....	149
19.5. Фильтры на поверхностных акустических волнах (ПАВ).....	150
20. Акустика и электроакустика.....	151
20.1. Физические основы акустики.....	151
20.2. Электроакустические преобразователи (ЭП).....	154
20.3. Громкоговорители железнодорожных систем.....	156
21. Усилители.....	158
21.1. Параметры и характеристики усилителей.....	158
21.2. Аperiodические усилители.....	160
21.3. Особенности схем усиления.....	161
21.4. Селективные усилители.....	165
22. Генераторы.....	168
22.1. Задающие генераторы (ЗГ).....	168
22.2. Умножители частоты (УЧ).....	172
22.3. Усилители мощности (УМ).....	173
23. Модуляторы, демодуляторы и преобразователи частоты.....	175
23.1. Амплитудная модуляция.....	175
23.2. Преобразование частоты.....	177
23.3. Частотная модуляция.....	181
23.4. Демодуляция (детектирование) сигналов.....	183
23.5. Амплитудное детектирование.....	184
23.6. Демодуляция ЧМ-колебаний.....	185
24. Радиопередающие устройства.....	189
25. Радиоприемные устройства.....	191
25.1. Избирательность радиоприемных устройств.....	193
25.2. Вспомогательные устройства радиоприемников.....	196
26. Антенны и согласующие устройства.....	198
26.1. Антенны гектометрового диапазона.....	198
26.2. Антенны радиостанций ЖРУ.....	203
26.3. Антенны системы «Транспорт».....	204
26.4. Антенно-согласующие устройства АСУ.....	207
27. Радиостанции железнодорожной радиосвязи.....	210
27.1. Радиостанции ЖРУ.....	211
27.2. Радиостанции системы «Транспорт».....	213
28. Контроль, диагностика и ремонт радиоаппаратуры.....	245
28.1. Контроль и измерение параметров радиостанций. Типы радиостанций.....	245
28.2. Диагностика радиоаппаратуры.....	263
28.3. Комплекс СТОР (система технического обслуживания и ремонта).....	270
28.4. Перечень отказов в радиостанции РВ-2.....	275
28.5. Неисправности портативных радиостанций GR-300 и порядок их поиска.....	276
29. Организация поездной радиосвязи.....	282
29.1. Линейная поездная симплексная радиосвязь (ЛПС-С).....	283
29.2. Расчет дальности действия линейной поездной радиосвязи.....	285
29.3. Зонная (станционная) радиосвязь гектометрового диапазона.....	286
30. Организация станционной радиосвязи.....	287
30.1. Расчет системы станционной радиосвязи.....	287
31. Электромагнитная совместимость радиоэлектронных средств железнодорожного транспорта.....	294
32. Громкоговорящая технологическая связь.....	303
32.1. Усилители низкой (звуковой) частоты.....	304
32.2. Аппаратура громкоговорящей связи.....	305
32.3. Расчет системы громкоговорящего оповещения для открытой местности.....	308
33. Телевизионные системы железнодорожного транспорта.....	312
34. Радиолокационные системы железнодорожного транспорта.....	325
34.1. Системы радиолокационной идентификации железнодорожных объектов.....	325
34.2. Радиолокационные измерители скорости.....	330

15. Транзисторы.....	106
15.1. Классификация и система обозначений.....	106
15.2. Цветовая и кодовая маркировка отечественных транзисторов.....	108
15.3. Рекомендации по подбору и замене транзисторов.....	118
16. Интегральные стабилизаторы.....	119
17. Некоторые отечественные микросхемы и их зарубежные аналоги.....	123
18. Трансформаторы.....	128
18.1. Основные термины и определения (ГОСТ 20938—75, ГОСТ 16110—82).....	128
18.2. Классификация и типы трансформаторов.....	129
19. Фильтры.....	134
19.1. Расчет пассивных LC-фильтров.....	137
19.2. RC-фильтры.....	144
19.3. Пьезоэлектрические фильтры.....	148
19.4. Электромеханические фильтры.....	149
19.5. Фильтры на поверхностных акустических волнах (ПАВ).....	150
20. Акустика и электроакустика.....	151
20.1. Физические основы акустики.....	151
20.2. Электроакустические преобразователи (ЭП).....	154
20.3. Громкоговорители железнодорожных систем.....	156
21. Усилители.....	158
21.1. Параметры и характеристики усилителей.....	158
21.2. Аperiodические усилители.....	160
21.3. Особенности схем усиления.....	161
21.4. Селективные усилители.....	165
22. Генераторы.....	168
22.1. Задающие генераторы (ЗГ).....	168
22.2. Умножители частоты (УЧ).....	172
22.3. Усилители мощности (УМ).....	173
23. Модуляторы, демодуляторы и преобразователи частоты.....	175
23.1. Амплитудная модуляция.....	175
23.2. Преобразование частоты.....	177
23.3. Частотная модуляция.....	181
23.4. Демодуляция (детектирование) сигналов.....	183
23.5. Амплитудное детектирование.....	184
23.6. Демодуляция ЧМ-колебаний.....	185
24. Радиопередающие устройства.....	189

35. Электропитание радиоустройств	333
35.1. Выпрямители	333
35.2. Сглаживающие фильтры	334
35.3. Стабилизаторы напряжения постоянного тока	337
35.4. Источники вторичного питания (преобразователи)	338
35.5. Промышленные источники постоянного тока общего употребления	339
35.6. Локомотивные источники питания	340
36. Радиозмерения	342
36.1. Обработка результатов измерений	343
36.2. Основы технологии контроля	345
36.3. Классификация измерительных приборов	347
36.4. Измерение параметров цепей с сосредоточенными параметрами ...	347
36.5. Измерение параметров и характеристики трактов с распределенными параметрами	355
36.6. Аттентуаторы и измерение ослаблений	355
36.7. Измерение напряжений	359
36.8. Измерение частоты	359
36.9. Измерительные генераторы	370
36.10. Осциллографы	375
36.11. Измерители девиации частоты (девиометры) и коэффициенты амплитудной модуляции	376
36.12. Измерители коэффициента гармоник (нелинейных искажений)	376
37. Персональные виды подвижной связи	378
37.1. Транкинговые системы связи	378
37.2. Сотовая связь	386
37.3. Системы персонального радиовызова	391
37.4. Спутниковые системы мобильной связи	394
Рекомендуемая литература	399

СПРАВОЧНИК
ЭЛЕКТРОМЕХАНИКА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ
РАДИОСВЯЗИ

Редактор *М.Я. Барская*
Корректор *Т.В. Ашчева, Н.А. Таргашова*
Компьютерная верстка *А.Н. Рудякова*

Подписано в печать 13.03.2009 г.
Формат 60×84 1/16. Печ. л. 25,5. Тираж 2000 экз. Заказ 48.
ГОУ «Учебно-методический центр по образованию
на железнодорожном транспорте»
107078, Москва, Басманный пер., д. 6
Тел.: (495) 262-12-47, e-mail: marketing@umczdt.ru
<http://www.umczdt.ru>

ООО «Издательский дом «Транспортная книга»
109202, Москва, Перовское шоссе, д. 9., стр. 1

Отпечатано в ООО «Пиар-Пресс».
117525, Москва, ул. Днепропетровская, д. 7, корпус 1.