

ВЫСШАЯ ИНЖЕНЕРНАЯ ПОЖАРНО-  
ТЕХНИЧЕСКАЯ ШКОЛА МВД СССР

**СВЯЗЬ**  
**и сигнализация**  
**ПОЖАРНОЙ**  
**ОХРАНЫ**

ВЫСШАЯ ИНЖЕНЕРНАЯ ПОЖАРНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ ШКОЛА  
МВД СССР

---

Кандидат технических наук Ф. И. ШАРОВАР,  
инженеры М. Л. МЕЛИК-АДАМОВ и А. А. ТЕРЕХИН

# СВЯЗЬ И СИГНАЛИЗАЦИЯ ПОЖАРНОЙ ОХРАНЫ

*Под редакцией М. Л. МЕЛИК-АДАМОВА*

*Допущено Министерством внутренних дел в качестве учебника  
для слушателей Высшей инженерной пожарно-технической школы МВД СССР*

РЕДАКЦИОННО-ИЗДАТЕЛЬСКИЙ ОТДЕЛ

---

Москва — 1974

Рецензенты: кафедра «Автоматика и телемеханика на железнодорожном транспорте» Московского института инженеров транспорта; заместитель начальника отдела пожарной техники и средств связи ГУПО МВД СССР — Л. В. Кулагин.

В учебнике рассматриваются вопросы оперативной связи и сигнализации пожарной охраны. Главное внимание уделено физическим процессам, происходящим в основных элементах и блоках аппаратуры связи и сигнализации, расчету основных параметров и характеристик этих устройств, а также эксплуатации средств связи и сигнализации пожарной охраны.

Книга написана в соответствии с программой курса «Связь и сигнализация пожарной охраны» и предназначена в качестве учебника для слушателей Высшей инженерной пожарно-технической школы МВД СССР. Книга может быть полезна инженерно-техническим работникам пожарной охраны, а также учащимся пожарно-технических училищ.

---

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Научно-техническая революция в нашей стране находит свое отражение во всех отраслях и видах народного хозяйства, в том числе и в пожарной охране. В общей системе охраны объектов народного хозяйства от пожаров значительная роль отводится средствам связи и сигнализации. Успешное тушение пожара в значительной степени зависит от правильно организованной, широко разветвленной и надежно действующей связи и сигнализации.

Роль средств связи и пожарной сигнализации в охране предприятий от пожаров особенно возрастает в свете задач, поставленных перед народным хозяйством XXIV съездом КПСС.

Являясь основным средством, обеспечивающим постоянное управление частями и подразделениями пожарной охраны, связь организуется начальником УПО—ОПО в соответствии с наставлениями по организации и эксплуатационно-техническому обслуживанию средств связи пожарной охраны МВД СССР.

Связь в пожарной охране обеспечивает:

быстрый и точный прием извещений о пожарах, авариях и стихийных бедствиях и своевременный вызов необходимого количества сил и средств для их ликвидации;

управление подразделениями, выехавшими на пожар и работающими на пожаре;

передачу руководящим составом пожарной охраны распоряжений и получение донесений;

информацию соответствующих должностных лиц и организаций о пожарах;

обмен информацией между подразделениями пожарной охраны и другими службами, взаимодействующими с ними.

За последние годы все большее развитие получают системы пожарной сигнализации, которые производят автоматическое оповещение службы пожарной охраны в момент возникновения пожара, а также самостоятельно приводят в действие автоматические установки пожаротушения, когда пожар еще не достиг больших размеров.

В подразделения пожарной охраны сейчас поступает новая аппаратура связи и сигнализации. Внедрение новых средств связи и пожарной сигнализации позволит успешно решить задачи по сокращению ущерба от пожаров. Большие исследования в этой области проводит Всесоюзный научно-исследовательский институт противопожарной обороны МВД СССР.

Настоящий учебник посвящен вопросам связи и сигнализации пожарной охраны. В первой части рассмотрены вопросы оперативной связи пожарной охраны. Основное внимание обращено на изложение устройства и принципа действия основных элементов и узлов аппаратуры радио- и проводной связи, на вопросы технической эксплуатации и повышения надежности средств связи пожарной охраны.

Вторая часть посвящена автоматической пожарной сигнализации. В ней описаны физические процессы и принципы действия пожарных извещателей, телемеханические системы сигнализации, их надежность и экономическая эффективность. Значительное внимание в книге уделено вопросам эксплуатации средств связи и сигнализации. Отдельные главы учебника содержат сравнительно несложные методы расчета, достаточные для более глубокого понимания рассматриваемых вопросов.

При написании учебника авторы стремились изложить общие принципы работы средств связи и сигнализации пожарной охраны таким образом, чтобы обучающийся мог самостоятельно разобраться в любой новой конструкции аппаратуры.

В учебнике изложены и сравнительно новые вопросы: методика расчета ожидаемой дальности радиосвязи с подвижными объектами, принципы построения извещателей и телемеханических систем пожарной сигнализации, экспертиза и экономическая оценка проектных решений пожарной и пожарно-охранной систем сигнализации.

Наряду с обобщением и систематизацией имеющейся литературы по вопросам связи и сигнализации, в книгу включены материалы лекций, прочитанных авторами на факультете инженеров противопожарной техники и безопасности Высшей школы МВД СССР, и результаты исследований Всесоюзного научно-исследовательского института противопожарной обороны МВД СССР.

Обозначения единиц физических величин в учебнике соответствуют Международной системе единиц СИ без учета их сокращенного обозначения по проекту нового ГОСТа. Это объясняется тем, что к моменту сдачи в набор учебника проект ГОСТа «Единицы физических величин» еще не был утвержден и не получил официального признания.

Учебник «Связь и сигнализация пожарной охраны» написали: предисловие, главы 1 и 5 — инженер М. Л. Мелик-Адамов; главы 2, 3 и 4 — инженер А. А. Терехин; главы 6, 7 и 8 — кандидат технических наук Ф. И. Шаровар, главу 9 — инженер С. Н. Минаев.

Авторы выражают глубокую благодарность д. т. н., профессору Кошмарову Ю. А., к. т. н., доценту Лысенкову В. М. и инженер-майору Кулагину Л. В., замечания и рекомендации которых во многом способствовали улучшению качества книги.

## ПРОВОДНАЯ СВЯЗЬ ПОЖАРНОЙ ОХРАНЫ

### § 1.1. Общие сведения о телефонной связи

Современное народное хозяйство нашей страны настолько велико и сложно, что управлять им без хорошо организованной оперативной связи невозможно.

Система электрической связи состоит из передатчика, линии связи и приемника (рис. 1.1) и предназначена для передачи всевозможной информации на расстояние.

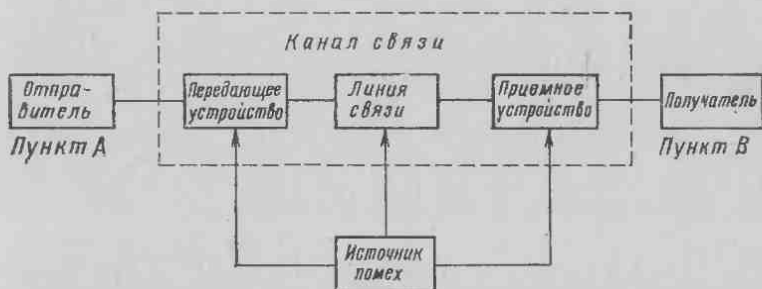


Рис. 1.1. Схема связи

В передатчике сообщение преобразуется в электрические сигналы, которые по линии связи передаются в приемный пункт. В процессе передачи от передатчика к приемнику сигнал искажается и подвергается воздействию различного рода помех. Под искажениями понимаются такие изменения сигнала, которые обусловлены известными свойствами цепей и устройств. Искажения появляются в передающем устройстве в процессе преобразования информации в сигналы и в приемном устройстве в процессе обратного преобразования.

Под помехами понимаются посторонние возмущения, действующие в тракте передачи. В большинстве случаев помехи носят случайный характер и действуют в различных звеньях системы. Обычно для удобства рассмотрения все источники помех объединяют в один эквивалентный, как показано на рис. 1.1. По линии

связи в общем случае можно одновременно передавать несколько сообщений — каждое по своему каналу.

*Каналом связи* называется совокупность технических устройств (передатчик, линия связи, приемник) для независимой передачи сообщений. Из-за несовершенства передатчика, линии связи и приемника создаются всякого рода искажения, в результате чего принимаемая информация перестает совпадать с исходной, передаваемой. Поэтому канал связи должен обладать определенной помехозащищенностью, а параметры линии связи, передатчика и приемника должны отвечать определенным требованиям.

В электрической связи применяются как радио-, так и проводные средства. Проводные средства для передачи информации используют провода (цепи), а в основу радиосвязи положено распространение электромагнитных волн в пространстве. При организации каналов связи с помощью проводных средств необходима физическая цепь, т. е. два проводника.

В общей системе проводной связи страны телефонная связь занимает важнейшее место, так как является наиболее оперативной и обладает двусторонним действием.

Для успешного выполнения задач, поставленных перед пожарной охраной, весь личный состав должен хорошо знать требования, предъявляемые к пожарной связи.

К связи, применяемой в пожарной охране, независимо от ее вида, предъявляются следующие основные требования:

1. **Исправность и постоянная готовность средств связи к действию.** Это требование обеспечивается постоянной технической исправностью средств связи и своевременным проведением технического обслуживания и ремонта. Кроме этого, предполагается применение таких средств и способов организации связи, которые в наибольшей степени отвечают поставленным задачам и условиям их выполнения. Все средства связи должны быть закреплены за подразделениями и ответственными лицами. Личный состав обязан твердо знать материальную часть средств связи и строго соблюдать правила ее эксплуатации.

2. **Надежность связи,** т. е. способность обеспечить безотказную связь в любых условиях. Решающую роль в выполнении этого требования играют использование сил и средств связи в соответствии с их тактико-техническими данными, комплексное применение аппаратуры связи с созданием при необходимости обходных направлений, наличие резерва связи, правильная эксплуатация средств связи и проведение плано-профилактических мероприятий, обеспечивающих надежную работу этих средств.

3. **Высокая дисциплина обслуживания.** Выполнение этого требования достигается твердым знанием и четким выполнением личным составом правил установления связи, ведения переговоров, соблюдением установленного режима работы аппаратуры и обеспечением действенного контроля за использованием всех средств связи.

## Основные сведения из акустики

Процесс телефонной передачи заключается в преобразовании звуковых колебаний речи в колебания электрического тока, передачи его по линии и обратном преобразовании электрических колебаний в звуковые.

Источником звука является колеблющееся тело, создающее в окружающей среде упругие волны и способное вызвать слуховое ощущение. Звуковые колебания, возникнув в какой-либо точке среды, распространяются во всех направлениях от источника звука. Этот процесс распространения звуковых колебаний называется *звуковой волной*.

Для простого гармонического звукового колебания смещение частицы среды в процессе колебаний определяется по формуле:

$$x = X_0 \sin \omega t, \quad (1.1)$$

где  $X_0$  — амплитуда смещения частицы в процессе колебаний;

$\omega$  — угловая частота колебаний;

$t$  — время, отсчитываемое от начала возникновения колебаний.

Пространство, в котором распространяется звуковая волна, называется *звуковым полем*. Последнее характеризуется звуковым давлением  $P$  или интенсивностью звука  $J$ . Величину интенсивности звука можно определить из соотношения:

$$J = \frac{P^2}{c\rho_0}, \quad \text{вт/м}^2, \quad (1.2)$$

где  $P$  — звуковое давление;

$c$  — скорость распространения звука;

$\rho_0$  — плотность среды.

Величину интенсивности звука  $J$  часто называют силой звука, так как сила звука является физической характеристикой интенсивности звуковых колебаний. Поэтому следует различать понятия: интенсивность звука и громкость звука. Интенсивность звука является величиной объективной, тогда как громкость звука представляет собой субъективное ощущение данного звука.

Для удобства расчетов пользуются уровнем интенсивности звука  $N$ , измеряемым в децибелах и определяемым по формуле:

$$N = 10 \lg \frac{J}{J_0}, \quad \text{дб}, \quad (1.3)$$

где  $J$  — интенсивность звука, уровень которого рассчитывается;

$J_0$  — интенсивность звука, принятая за начало отсчета и численно равная  $10^{-12}$  вт/м<sup>2</sup>.

Как видно из выражения (1.3), зависимость субъективной громкости от интенсивности звука определяется логарифмическим законом, по которому ощущение громкости возрастает пропорционально логарифму отношения данной интенсивности звука к исход-



ной. Так, например, если интенсивность звука увеличится в 100 раз, то ощущение громкости увеличится вдвое.

Характерно, что для человеческих ощущений справедлив именно этот закон — интенсивность ощущений пропорциональна логарифму степени раздражения.

В проводной связи чаще применяется система не десятичных, а натуральных логарифмов. В этом случае уровень интенсивности звука можно определить, пользуясь выражением

$$N = \ln \frac{J}{J_0}, \text{ неп.}$$

Пользуясь соотношением между натуральными и десятичными логарифмами, нетрудно найти зависимость между децибелами и неперами:

$$1 \text{ неп} = 8,7 \text{ дб};$$

$$1 \text{ дб} = 0,115 \text{ неп.}$$

Ухо человека способно воспринимать звуки, сила которых превышает некоторое минимальное значение  $J_{\text{мин}}$ , называемое порогом слышимости звука. По мере увеличения интенсивности звуковых колебаний наступает такое ее значение, при котором восприятие звуков вызывает болевые ощущения. Однако звуковые колебания, воспринимаемые ухом человека, ограничены не только по амплитуде, но и по частоте  $f$ . Пределы слышимости человеческого уха находятся в диапазоне частот от 16 гц до 20 кгц. Для каждой частоты имеется свой порог слышимости.

Кривая, соединяющая пороги слышимости различных частот, называется частотной характеристикой порога слышимости.

Кривая, соединяющая точки различных частот, соответствующие появлению ощущения боли в полости уха, называется частотной характеристикой порога болевого ощущения.

Область воспринимаемых ухом человека звуковых колебаний, называемая областью слухового восприятия, изображена на рис. 1.2.



Рис. 1.2. Область слухового восприятия

Человеческие голоса имеют различные диапазоны основных частот:

бас	—	$80 \div 300$	гц;
баритон	—	$100 \div 400$	гц;
тенор	—	$130 \div 480$	гц;
сопрано	—	$250 \div 1200$	гц.

Однако если основные частоты лежат в пределах до 1200 гц, тембры голосов в значительной степени определяются более высокими дополнительными частотами. Поэтому для точного воспроизведения человеческой речи нужен диапазон от 80 до 8000 гц, причем для каждого звука его составляющие имеют наибольшие амплитуды звукового давления в одной или нескольких областях частот. Эти характерные для каждого звука частоты называются *формантами*.

Основная форманта состоит из нескольких гармоник основного тона, характерных для данного гласного звука, и занимает полосу частот от 300 до 2500 гц. По основной форманте отличают один гласный звук от другого. Так как понятность речи зависит в основном от отчетливости гласных звуков, то отсюда следует, что для обеспечения понятности речи необходимо передавать и принимать всю полосу частот, занимаемую основными формантами гласных букв, а именно полосу частот от 300 до 2500 гц.

Дополнительная форманта определяет тембр голоса и зависит от специфических свойств голосового аппарата человека. Частоты дополнительных формант большинства гласных звуков находятся в пределах 2600—3500 гц.

Таким образом, для обеспечения разборчивости голоса необходимо передавать и принимать полосу частот от 300 до 3400 гц. Передача частот более широкого диапазона (80—8000 гц) потребовала бы слишком сложных и дорогих устройств.

В настоящее время при проектировании современных устройств проводной связи считается необходимым обеспечить передачу и прием полосы частот от 300 до 3400 гц, которая обеспечивает достаточно высокое качество передачи. Эта полоса частот рекомендована также и Международным консультативным комитетом по телефонии и телеграфии (МККТТ).

### Электроакустические преобразователи

Приборы, преобразующие звуковые колебания в электрические и обратно, называются электроакустическими преобразователями. Такими преобразователями являются *микрофон*, используемый в качестве передатчика, и *телефон*, используемый в качестве приемника.

Принцип работы угольного микрофона (рис. 1.3) основан на изменении сопротивления угольного порошка 1, находящегося в корпусе 2 микрофона между неподвижным 3 и подвижным 4 электродами. Звуковые колебания, воздействующие на мембрану 5, при-

водят в колебательное движение подвижный электрод, жестко скрепленный с мембраной, которая начнет колебаться, а подвижный электрод — уплотнять или разрыхлять угольный порошок. Уплотнению и разрыхлению угольного порошка соответствуют уменьшение и увеличение его сопротивления. В результате в электрической цепи начнет протекать пульсирующий ток, состоящий из постоянного тока питания микрофона  $I_0$  и переменного тока  $i$ . Поскольку переменная составляющая возникает именно при рабо-

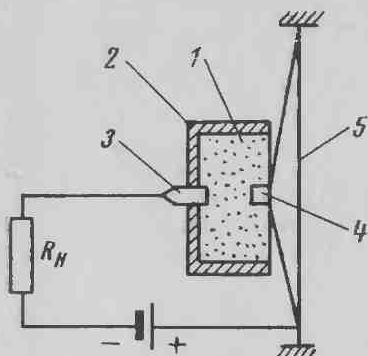


Рис. 1.3. Устройство угольного микрофона

те микрофона, последний можно рассматривать в качестве генератора, на зажимах которого во время его работы поддерживается переменная э. д. с. Мгновенное значение этой э. д. с. выражается формулой:

$$e = IR_m \sin \omega t, \quad (1.4)$$

где  $R_m$  — амплитуда переменной составляющей сопротивления микрофона.

Микрофон обладает усилительной способностью. Действительно, электрическая мощность  $P_m$ , отдаваемая микрофоном согласованной нагрузке  $R_n$ , может быть определена из выражения:

$$P_m = \frac{E_m^2}{4R_n}. \quad (1.5)$$

Учитывая, что  $E_m = \frac{I_0 R_m}{\sqrt{2}}$  и  $R_n = R_m$  (где  $R_m$  — среднее сопротивление микрофона при его работе), получим

$$P_m = \frac{I_0^2 R_m^2}{8R_m}. \quad (1.6)$$

При нормальных величинах тока питания  $I_0$  и сопротивления микрофона, а также учитывая, что  $\frac{R_m}{R_n} \approx 0,3$ , мощность, отдавае-

мая микрофоном согласованной нагрузке, составит около 1 мвт, в то время как мощность звуковых колебаний, действующих на мембрану микрофона, составляет 1 мквт.

Таким образом, угольный микрофон, преобразуя звуковые колебания в электрические, усиливает мощность сигнала в 1000 раз за счет расхода энергии батареи, питающей цепь микрофона.

Величина сопротивления микрофона и характер его изменения оказывают существенное влияние на качество работы микрофона. Сопротивление угольного микрофона зависит от величины и формы зерен угольного порошка, величины тока питания и длительности его прохождения, а также от положения микрофона в пространстве. При длительном пропускании постоянного тока через микрофон сопротивление его уменьшается тем значительнее, чем больше величина тока. Это объясняется тем, что угольный порошок обладает отрицательным температурным коэффициентом проводимости. Сопротивление микрофона в значительной степени зависит также от угла наклона, так как при изменении положения микрофона происходит перераспределение порошка в угольной ячейке. В зависимости от величины сопротивления угольные микрофоны подразделяются на следующие типы:

низкоомные (НО) с сопротивлением 30—65 ом при токе питания 20—80 ма;

среднеомные (СО) с сопротивлением 65—145 ом при токе 20—60 ма;

высокоомные (ВО) с сопротивлением 145—300 ом при токе 12—25 ма.

Качество микрофона как преобразователя оценивают чувствительностью микрофона:

$$\alpha_m = \frac{E_m}{P}, \text{ в.м}^2/\text{н.} \quad (1.7)$$

Чувствительностью микрофона называется отношение развиваемой им электродвижущей силы  $E_m$  к величине звукового давления  $P$ , действующего на мембрану.

Для оценки качества работы микрофона в определенной полосе частот пользуются понятием средней чувствительности, которая представляет собой среднее арифметическое значение чувствительности в рассматриваемом диапазоне частот ( $f_1$ — $f_2$ )

$$\alpha_{cp} = \frac{1}{f_2 - f_1} \int_{f_1}^{f_2} x(f) dt. \quad (1.8)$$

Средняя чувствительность микрофонов в спектре частот от 300 до 3400 гц составляет:

для микрофонного капсуля МК-10  $25 \div 30$  мв м<sup>2</sup>/н;

для микрофонного капсуля МК-14  $45 \div 50$  мв м<sup>2</sup>/н.

**Электромагнитный телефон** (рис. 1.4) независимо от конструкции содержит постоянный магнит *1*, две катушки (со стальными сердечниками *2* и обмоткой *4*), прикрепленные к полюсам магнита, и металлическую мембрану *3*, расположенную на небольшом расстоянии от сердечников катушки.

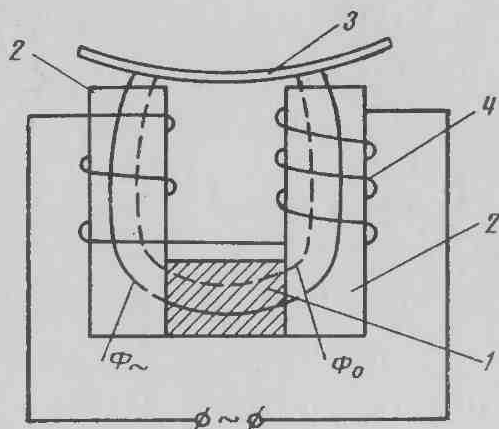


Рис. 1.4. Устройство электромагнитного телефона

Принцип действия электромагнитного телефона основан на взаимодействии двух магнитных потоков: магнитного потока постоянного магнита  $\Phi_0$  и магнитного потока  $\Phi_{\sim}$ , созданного разговорным током, протекающим по обмоткам телефона.

Сила, действующая на мембрану при отсутствии переменного тока в обмотке телефона, определяется выражением

$$F_0 = k \Phi_0^2, \quad (1.9)$$

где  $k$  — коэффициент пропорциональности, зависящий от конструкции магнитной цепи.

При прохождении по обмотке телефона переменного тока на мембрану будет действовать сила  $F$ , равная

$$F = k \Phi^2, \quad (1.10)$$

где  $\Phi$  — суммарный магнитный поток, равный  $\Phi = \Phi_0 + \Phi_{\sim}$ .

Если в обмотку телефона поступает переменный ток, изменяющийся по синусоидальному закону, то и переменный магнитный поток в магнитной системе телефона будет изменяться по тому же закону, т. е.

$$\Phi_{\sim} = \Phi_m \sin \omega t, \quad (1.11)$$

где  $\Phi_m$  — амплитудное значение переменного магнитного потока.

Определим силу, которая будет приводить в колебательное движение мембрану телефона

$$F = k\Phi^2 = k(\Phi_0 + \Phi_m \sin \omega t)^2 = k\Phi_0^2 + 2k\Phi_0\Phi_m \sin \omega t + k\Phi_m^2 \sin^2 \omega t = k\Phi_0^2 + 2k\Phi_0\Phi_m \sin \omega t + \frac{1}{2}k\Phi_m^2(1 - \cos 2\omega t). \quad (1.12)$$

Из выражения (1.12) видно, что при работе телефона его мембрана находится под воздействием трех сил:

1) сила, равная  $F_1 = k\Phi_0^2$ , не изменяющаяся во времени, а создающая первоначальный прогиб мембраны в сторону сердечников катушки;

2) сила, равная  $F_2 = 2k\Phi_0\Phi_m \sin \omega t$ , вызывающая колебательное движение мембраны с частотой тока, протекающего по обмоткам телефона;

3) сила, равная  $F_3 = \frac{1}{2}k\Phi_m^2(1 - \cos 2\omega t)$ , также изменяющаяся во времени, но вызывающая колебание мембраны с удвоенной частотой. При этом создаются нелинейные искажения, снижающие качество передачи.

Величины  $F_1$ ,  $F_2$  и  $F_3$  зависят от соотношения постоянного и переменного магнитного потоков, взаимодействующих в магнитной системе телефона. При отсутствии постоянного магнита, т. е. при  $\Phi_0 = 0$ , мембрана дважды за период испытывает силу, притягивающую ее к стальным сердечникам, так как первая и вторая составляющие равны нулю, а третья вызывает колебания мембраны с удвоенной частотой.

При наличии в телефоне постоянного магнита, у которого  $\Phi_0 \gg \Phi_m$ , влияние  $F_3$  настолько мало, что им можно пренебречь, и тогда сила, действующая на мембрану телефона  $F_d$ , пропорциональна потоку постоянного магнита и величине переменного магнитного потока, т. е.

$$F_d \equiv F_2 = 2k\Phi_0\Phi_m \sin \omega t. \quad (1.13)$$

Наличие составляющей магнитного потока  $\Phi_0$  значительно увеличивает силу, действующую на мембрану телефона, поэтому мембрана будет колебаться с частотой изменения тока в обмотке телефона. При этом чем сильнее постоянный магнит, тем больше сила, приводящая в колебание мембрану телефона, и тем меньше нелинейные искажения.

Качество телефона как преобразователя электрических колебаний в звуковые оценивают *чувствительностью телефона*  $\alpha_r$  — отношением звукового давления, развиваемого телефоном, к напряжению на зажимах телефона  $U$

$$\alpha_r = \frac{P}{U}, \text{ н/вм}^2. \quad (1.14)$$

Чувствительность телефона зависит от частоты. Неравномерность частотной характеристики в полосе эффективно воспроизводимых частот 300—3400 гц вызывается резонансными явлениями и определяет частотные искажения. Эта характеристика для наиболее распространенного телефона типа ТА-4 приведена на рис. 1.5.

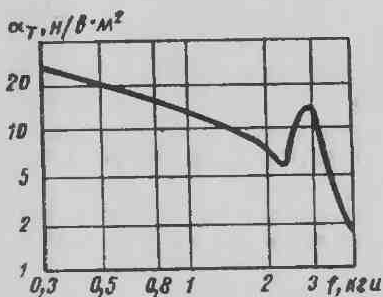


Рис. 1.5. Частотная характеристика чувствительности телефона

Для сравнения телефонов и микрофонов между собой рассчитывают среднюю чувствительность  $\alpha_{\text{ср}}$  и неравномерность частотной характеристики  $\beta$  по формулам [40]:

$$\alpha_{\text{ср}} = \frac{1}{f_2 - f_1} \int_{f_1}^{f_2} \alpha(f) dt; \quad (1.15)$$

$$\beta = 20 \lg \frac{\alpha_{\text{макс}}}{\alpha_{\text{мин}}}, \quad \text{дБ}, \quad (1.16)$$

где  $\alpha_{\text{макс}}$ ,  $\alpha_{\text{мин}}$  — соответственно максимальная и минимальная чувствительности акустических преобразователей в спектре частот от  $f_1$  до  $f_2$ .

### Принцип телефонной передачи

В настоящее время телефонная передача осуществляется по схемам МБ (местной батареи) и ЦБ (центральной батареи), приведенным на рис. 1.6. В этих схемах в качестве передатчика исполь-

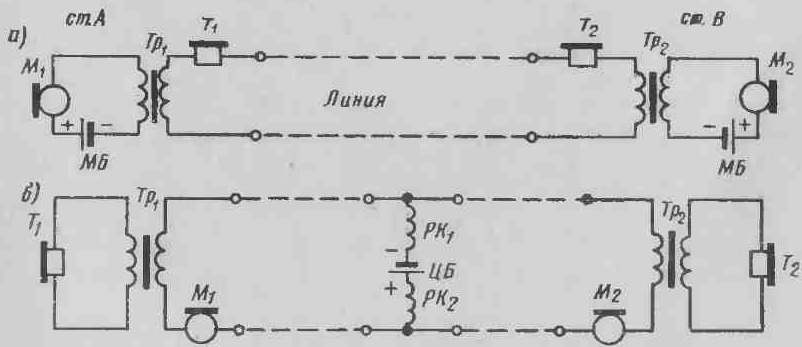


Рис. 1.6. Схемы телефонной передачи  
а—местной батареи; б—центральной батареи

зуется угольный микрофон, а в качестве приемника — электромагнитный телефон. В схеме 1.6, а у каждого микрофона имеется своя батарея питания. Такая система связи называется системой местной батареи МБ. Величина тока питания не зависит от сопротивления линии и может быть получена при небольшом напряжении батареи (1,5—3 в).

Применение трансформатора позволяет согласовать сопротивление микрофона  $R_m$ , как генератора, с входным сопротивлением линии  $Z_n$  для того, чтобы обеспечить отдачу микрофоном возможно большей мощности.

На основании сказанного сопротивление микрофона должно быть равно модулю входного сопротивления линии, приведенного к микрофонной цепи:

$$R_m = n^2 |Z_n|, \quad (1.17)$$

где  $n$  — коэффициент трансформации, равный отношению числа витков первичной обмотки  $W_1$  к числу витков вторичной обмотки  $W_2$ .

Из выражения (1.17) следует, что

$$n = \sqrt{\frac{R_m}{|Z_n|}}. \quad (1.18)$$

Система МБ имеет существенные недостатки, вызванные наличием индивидуальных батарей, и поэтому заменяется более совершенной системой ЦБ (рис. 1.6, б).

Принцип питания микрофонов в системе ЦБ заключается в том, что микрофоны абонентов питаются от общей (центральной) батареи, устанавливаемой на телефонной станции, где происходит соединение линий абонентов. При этом способе питание к микрофонам поступает только на время проведения переговоров. Подключение центральной батареи для питания абонентских микрофонов осуществляется через реактивные катушки РК, образующие так называемые мостики питания. Реактивные катушки представляют собой устройство, обладающее достаточно большим индуктивным и сравнительно малым активным сопротивлением. Их назначение в схемах питания микрофонов заключается в том, чтобы, пропуская от центральной батареи постоянный ток питания в цепь микрофона, в то же время препятствовать прохождению переменного разговорного тока через эту батарею. Полное сопротивление реактивных катушек выбирается достаточно большим для разговорных токов, чтобы можно было не считаться с ответвлением их в цепь батареи.



**Мостики питания** (рис. 1.7) в зависимости от схемы включения реактивных катушек бывают трех типов: простой мостик питания, расчлененный мостик питания, двойной мостик питания.

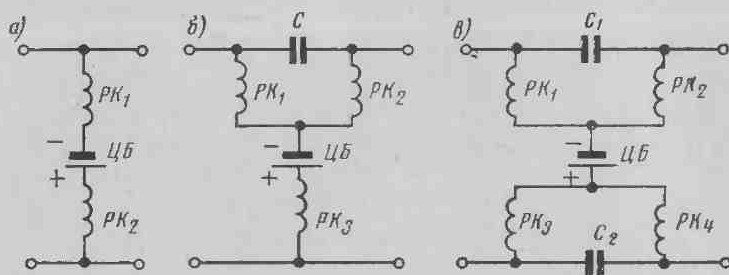


Рис. 1.7. Схемы мостиков питания  
 а — простой мостик; б — расчлененный мостик; в — двойной мостик

В схеме двойного мостика питание микрофонов  $M_1$  и  $M_2$  двух разговаривающих абонентов полностью разделено. Это питание подается от ЦБ по двум независимым цепям: на микрофон  $M_1$  через катушки  $PK_1$  и  $PK_3$ , а на микрофон  $M_2$  — через катушки  $PK_2$  и  $PK_4$ . Конденсаторы  $C_1$  и  $C_2$  разделяют цепи питания микрофонов, пропуская переменный разговорный ток. Достоинством двойного мостика питания является его симметричность и полная независимость величины тока питания микрофона одного абонента от протяженности, а следовательно, и сопротивления линии другого абонента. В силу этих причин во всех коммутаторах системы ЦБ и АТС большой емкости применяется способ питания по схеме двойного мостика.

### Противоместные схемы телефонных аппаратов

Рассмотренные схемы телефонной связи характерны тем, что в них проявляется местный эффект. При осуществлении телефонного разговора по схеме с местным эффектом в каждом телефоне будут прослушиваться поочередно собственный голос и голос собеседника. При этом собственная речь в телефоне будет слышна лучше, так как разговорный ток, пришедший с другого конца линии, претерпевает ослабление за счет потерь в линии. Таким образом, с проявлением местного эффекта значительно снижается разборчивость и уменьшается дальность телефонной связи.

В настоящее время во всех телефонных аппаратах применяются схемы, где мешающее действие местного эффекта значительно ослаблено. Такие схемы называются противоместными, сущность которых заключается в том, что передаваемый абонентом разговор в собственном телефоне или совсем не воспроизводится или в значительной мере ослабляется.

Противоместные схемы бывают *мостового* и *компенсационного* типов.

В основу построения противоместной схемы мостового типа положен принцип уравновешенного моста. Включение разговорных приборов по этому принципу показано на рис. 1.8.

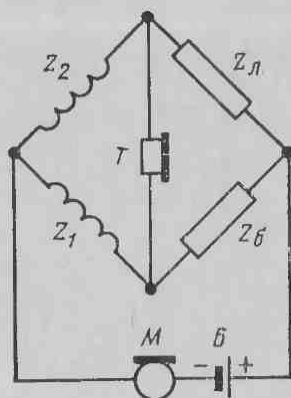


Рис. 1.8. Противоместная схема мостового типа

В одну диагональ моста переменного тока включен микрофон, являющийся генератором, в другую — телефон. Обмотки трансформатора  $Z_1$ ,  $Z_2$ , балансная линия  $Z_б$  и сопротивление линии  $Z_л$  являются плечами моста.

Условием равновесия моста, а следовательно, и отсутствия тока в телефоне, является одновременное соблюдение двух равенств:

$$Z_1 Z_л = Z_2 Z_б; \quad (1.19)$$

$$\varphi_1 + \varphi_л = \varphi_2 + \varphi_б, \quad (1.20)$$

где  $Z$  — полное сопротивление плеч моста переменного тока;

$\varphi$  — углы сдвига фаз между токами в плечах моста и соответствующими падениями напряжений.

Если выполнить равенство  $Z_1 = Z_2$ , то условие равновесия моста, необходимое для обеспечения противоместного эффекта, примет вид  $Z_б = Z_л$ .

Однако практически обеспечить точное равенство  $Z_б = Z_л$  невозможно, так как абонентские линии имеют различную протяженность, а следовательно, и разное  $Z_л$ ; а изготовление телефонных аппаратов с различными данными  $Z_б$  сильно осложнило бы выпуск их и было бы экономически нецелесообразно. В связи с этим в телефонных аппаратах с противоместной схемой ставится целью лишь максимально ослабить действие исходящего разговорного тока.

Противоместная схема компенсационного типа показана на рис. 1.9. Эту схему образуют три обмотки автотрансформатора  $ATp$  ( $I$ ,  $II$  и  $III$ ) и активное сопротивление  $Z_k$ , включенное в компенсационную цепь.

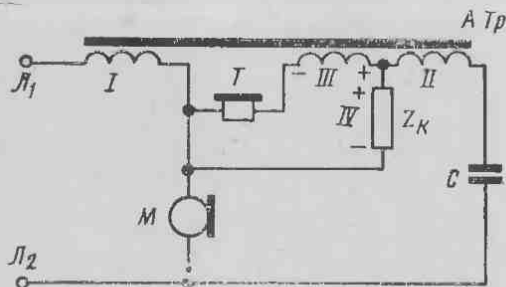


Рис. 1.9. Противоместная схема компенсационного типа

Обмотка  $III$  называется компенсационной и имеет направление витков, противоположное обмоткам  $I$  и  $II$ .

При передаче речи исходящий разговорный ток, генерируемый микрофоном, проходит по двум цепям: местной и линейной. Разговорный ток, протекающий в местной цепи, ответвляется через телефон  $T$  и обмотку  $III$  автотрансформатора  $ATp$  и параллельно через компенсационное сопротивление  $Z_k$ , представляющее собой бифилярную обмотку  $IV$  автотрансформатора. Компенсационное сопротивление  $Z_k$  является чисто активным, а сопротивления обмотки телефона и обмотки  $III$  автотрансформатора индуктивными, поэтому большая часть тока пройдет через сопротивление  $Z_k$ , создавая на нем падение напряжения.

Исходящий разговорный ток пройдет по линейной цепи через обмотку  $I$  автотрансформатора и линию связи.

Таким образом, разговорный ток, создаваемый микрофоном, проходя по обмоткам  $I$  и  $II$ , создаст в сердечнике автотрансформатора переменный магнитный поток, который определяется разностью магнитных потоков этих обмоток, так как токи в них имеют противоположные направления. В результате этого в обмотке  $III$  автотрансформатора будет индуцироваться переменная э. д. с., величина которой зависит от параметров линии, балансного контура и других элементов схемы аппарата. Если падение напряжения на сопротивлении  $Z_k$  будет равно по величине и противоположно по фазе э. д. с., индуцированной в обмотке  $III$  автотрансформатора, тогда ток, протекающий через телефон, будет равен нулю. Падение напряжения на сопротивлении  $Z_k$  как бы компенсирует э. д. с. обмотки  $III$ . Направления токов и полярность напряжений для определенного момента времени показаны на рис. 1.9. Телефон включен в цепь, в которой отсутствует разговорный переменный ток, а следовательно, происходит подавление местного эффекта. Во время приема входящего разговорного тока

протекание его по обмоткам I и II происходит в одном направлении. Это приводит к тому, что созданный ток суммарный переменный магнитный поток наведет в обмотке III э. д. с. значительной величины и будет хорошо воспроизведен принимаемый разговор.

## § 1.2. Телефонные коммутационные устройства

### Назначение и классификация коммутационных устройств

Коммутационные устройства, размещаемые на телефонных станциях, служат для установления соединений между любыми двумя абонентами телефонной сети. Они подразделяются на автоматические устройства и устройства ручного действия.

Приборы ручного действия (гнезда, штепселя со шнурами, кнопки и ключи) служат для замыкания, размыкания и переключения различных электрических контактов.

На автоматических телефонных станциях используются автоматические коммутационные устройства электромагнитного действия (реле, искатели, соединители) и бесконтактные переключающие устройства.

*Электромагнитные реле* представляют собой электромагнитные механизмы, которые приводятся в действие электрическим током и создают при срабатывании ряд вторичных электрических цепей.

*Искатели*, являющиеся также электромагнитными механизмами, имеют один вход и несколько выходов, при этом вход искателя может быть соединен с любым из выходов своей группы.

*Соединители* представляют собой электромагнитные коммутирующие устройства, позволяющие осуществить соединение любого входа данной группы с каждым выходом своей группы.

Реле, искатели и соединители должны обеспечивать правильное установление соединения с образованием надежного электрического контакта, иметь небольшое время действия с возможностью его изменения, быть простыми и экономичными в изготовлении, надежными, долговечными и экономичными в эксплуатации, иметь небольшой вес и габариты, вносить минимальные искажения в тракт передачи.

*Бесконтактные переключающие устройства* подразделяются на электронные и магнитные и обеспечивают значительное сокращение времени на установление соединений.

### Электромагнитное реле

Устройство электромагнитного реле показано на рис. 1.10. При прохождении постоянного тока через обмотку 1 реле его сердечник 2 намагничивается и притягивает якорь 3. Через упор 4 якорь воздействует на укрепленные в кассете 5 упругие токопроводящие контактные пружины 6 с контактами 7 и производит замыкание или размыкание контактов. Этот процесс называется срабатыванием реле. После отключения тока от обмотки реле упругая пружина 8 возвращает якорь в исходное положение.

Контактные пружины образуют контактные группы, совокупность которых называют контактным пакетом. Максимальное количество контактных пружин в группе в пакете, определяющее коммутационные возможности реле, зависит от его конструкции и составляет 18–24 пружины. При срабатывании реле его якорь встречает сопротивление контактных пружин, при этом величина реак-

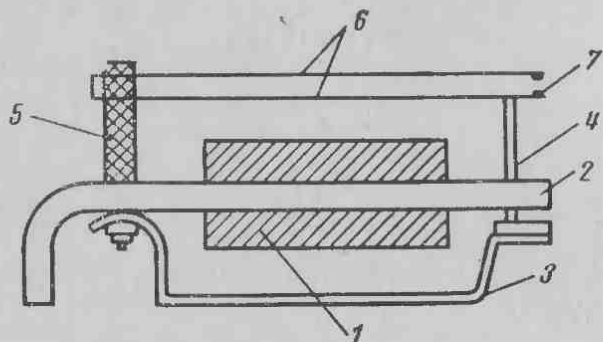


Рис. 1.10. Устройство электромагнитного реле

ции пружин возрастает по мере приближения якоря к сердечнику реле. Основными характеристиками электромагнитного реле являются:

- а) механическая характеристика;
- б) нагрузочная характеристика;
- в) тяговая характеристика.

**Механической характеристикой** реле  $F_p = f(\delta)$  называется зависимость сил реакции контактных пружин, преодолеваемых якорем при его движении, от расстояния между якорем и сердечником.

Нагрузка реле при движении якоря изменяется скачкообразно (снятие пружин с упора, изгиб пружин, замыкание и размыкание пружин и т. п.), вследствие чего механическая характеристика имеет вид ломаной линии (рис. 1.11, а).

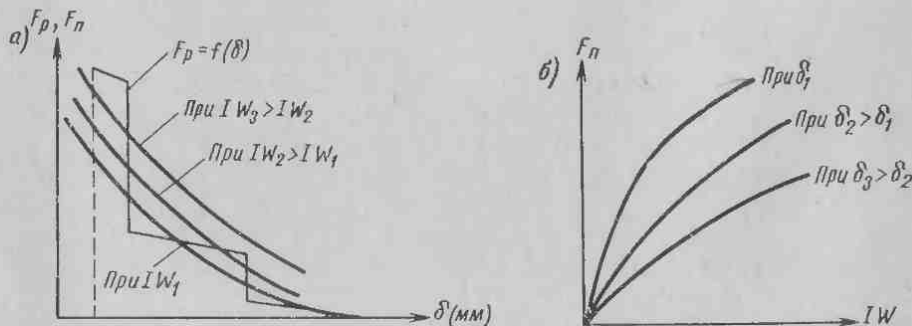


Рис. 1.11. Характеристика реле

а — механическая  $F_p = f(\delta)$  и тяговая  $F_n = f(\delta)$ ; б — нагрузочные  $F_n = f(IW)$

При наличии у реле нескольких контактных групп механическая характеристика будет состоять из суммы механических характеристик отдельных групп.

Реле срабатывает и переключает свои контакты в том случае, когда нагрузка на его якорь преодолевается силой притяжения сердечника реле.

Сила притяжения электромагнита реле определяется по формуле:

$$F_{\text{п}} = k \left( \frac{I\omega}{\delta} \right)^2 \cdot n. \quad (1.21)$$

Из этой формулы видно, что сила притяжения электромагнита  $F_{\text{п}}$  прямо пропорциональна квадрату числа ампер-витков  $I\omega$  и обратно пропорциональна квадрату расстояния между якорем и сердечником  $\delta$ .

В формуле (1.21) коэффициент пропорциональности  $k$  зависит от конструкции реле и численно равен:

$$k = 2\pi \cdot 10^{-7} S,$$

где  $S$  — площадь соприкосновения сердечника и якоря,  $\text{м}^2$ .

**Нагрузочной характеристикой**  $F_{\text{п}} = f(I\omega)$  называется зависимость силы притяжения якоря реле от количества ампер-витков при постоянном расстоянии между якорем и сердечником ( $\delta = \text{const}$ ).

**Тяговой характеристикой**  $F_{\text{п}} = f(\delta)$  называется зависимость силы притяжения якоря реле от величины зазора между якорем и сердечником при постоянном числе ампер-витков ( $I\omega = \text{const}$ ).

На рис. 1.11, а изображено семейство тяговых, а на рис. 1.11, б семейство нагрузочных характеристик реле. Рассмотренные характеристики используются при проведении расчетов с целью определения числа ампер-витков, при котором реле уверенно срабатывает и производит полное переключение своих контактных групп.

Существуют два метода расчета реле: аналитический и графический. Аналитический метод расчета ампер-витков срабатывания сложен и требует много времени, поэтому применяется более простой, достаточно точный графический метод расчета.

Таблицы и расчетные кривые для определения ампер-витков обычно составляются экспериментальным путем на основании измерений большого количества хорошо выполненных образцов реле.

Рассмотрим порядок расчета реле. В большинстве случаев он осуществляется следующим образом.

1. В зависимости от требуемой коммутации цепи подбирают тип реле и контактный пакет.

2. Определяют общую нагрузку пружин реле на якорь в зависимости от хода якоря и номера контактной группы по табл. 1.1.

Общая нагрузка пружин реле на якорь в зависимости от хода скобя и номера контактной группы

Наименование группы	Номер контактной группы	Нагрузка контактных групп (з) при ходе якоря, м.ж		
		1,5	1,3	1,1
Замыкание	01	37	34	34
Размыкание	02	31	27	27
Переключение	03	31	27	27
Сдвоенное замыкание	04	45	40	—
Сдвоенное размыкание	05	31	27	—
Два замыкания	46	43	40	40
Два последовательных замыкания	26	38	—	—
Замыкание с размыканием	07	45	43	43
Последовательное замыкание с размыканием	27	38	—	—
Замыкание, совмещенное с переключением	13	45	—	—
Последовательное размыкание с замыканием	28	37	34	—
Два размыкания	10	60	51	51
Размыкание со сдвоенным замыканием	29	33	—	—
Сдвоенное размыкание с замыканием	11	37	—	—
Переключение, совмещенное с размыканием	12	65	60	—
Размыкание с переключением	100	65	60	—
Замыкание с переключением	102	55	50	—
Сдвоенное замыкание с замыканием	103	70	—	—

3. С помощью нагрузочных характеристик определяют с необходимым запасом ампер-витки срабатывания реле в зависимости от различных пластин отлипания. Для обеспечения нормальной работы реле в схеме необходимо, чтобы рабочие ампер-витки  $Iw_p$  были больше ампер-витков срабатывания  $Iw_{ср}$ , т. е.

$$Iw_p > Iw_{ср};$$

$$k_3 = \frac{Iw_p}{Iw_{ср}}, \quad (1.22)$$

где  $k_3$  — коэффициент запаса надежности срабатывания (в зависимости от конкретных схемных условий выбирается в пределах 1,3—2,0).

4. Для выбранного типа реле и полученных ампер-витков рассчитывают параметры обмоток, т. е. определяют число витков провода, его диаметр и сопротивление. Для расчета обмотки типовых реле часто применяются таблицы или графики, которые значительно ускоряют расчет обмоток реле. Так, например, для расчета обмоток реле типа РПН применяется табл. 1.2, в которой приведены число витков, сопротивление и диаметр обмоток реле при 100%-ном заполнении обмоточного пространства катушки.

Сопротивление и число витков обмотки реле типа РПН  
при 100%-ном заполнении обмоточного пространства катушки

Диаметр проволоки марки ПЭЛ, мм	Сопротивление, ом	Число витков, ш	Диаметр проволоки марки ПЭЛ, мм	Сопротивление, ом	Число витков, ш
0,05	34 800	78 800	0,38	14,3	1870
0,06	17 900	58 600	0,41	10,8	1630
0,07	10 300	45 600	0,44	8,04	1400
0,08	6340	36 500	0,47	6,23	1240
0,09	4030	29 000	0,49	5,26	1130
0,10	2550	22 900	0,51	4,50	1050
0,11	1810	19 600	0,53	3,90	980
0,12	1290	16 800	0,55	3,36	917
0,13	970	14 600	0,57	2,95	858
0,14	733	12 900	0,59	2,55	805
0,15	565	11 400	0,62	2,13	735
0,16	440	10 100	0,64	1,88	693
0,17	353	9140	0,67	1,58	636
0,18	282	8200	0,69	1,40	600
0,19	229	7400	0,72	1,17	542
0,20	180	6500	0,74	1,04	515
0,21	151	5970	0,77	0,89	478
0,23	107	5070	0,80	0,77	446
0,25	78	4340	0,83	0,67	416
0,27	54	3540	0,86	0,58	390
0,29	41,2	3120	0,90	0,49	358
0,31	30,9	2690	0,93	0,43	335
0,33	24,8	2410	0,96	0,37	311
0,35	19,5	2160	1,00	0,32	288

Можно рассчитать число витков обмотки реле и с частичным заполнением обмоточного пространства.

Обычно в конкретных схемах режим работы реле задается величиной тока или сопротивлением обмотки реле. В этом случае сопротивления обмоток реле рассчитываются с допуском  $\pm 10\%$  для провода с  $d > 0,1$  мм и  $\pm 15\%$  для провода с  $d \leq 0,1$  мм. Если в схему включается дополнительное сопротивление, то оно берется с допуском  $\pm 5\%$ .

При расчете реле, работающего в режиме срабатывания, необходимо брать напряжение с нижним пределом, а сопротивление — с положительным допуском.

5. Расчет обмоток реле завершается проверкой на потребляемую им мощность  $P$  и нагрев обмотки по следующей формуле:

$$P = \frac{U^2}{R} = I^2 R, \quad (1.23)$$

где  $U$  — максимальное напряжение на концах обмотки реле, в;

$R$  — минимальное сопротивление обмоток реле, ом;

$I$  — величина тока, протекающего через обмотку реле, а.



Наибольшее допустимое значение мощности  $P$  не должно превышать  $5 \text{ вт}$  при кратковременном нахождении реле под током и  $2 \text{ вт}$  при длительном нахождении реле под током.

Одним из важнейших показателей в работе реле является время срабатывания  $t_{\text{ср}}$ , т. е. отрезок времени от момента появления тока в обмотке до момента переключения контактов. Время срабатывания определяется соотношением:

$$t_{\text{ср}} = t_{\text{пр}} + t_{\text{дв}}, \quad (1.24)$$

где  $t_{\text{пр}}$  — время трогания якоря при притяжении;

$t_{\text{дв}}$  — время движения якоря.

Для выявления параметров, которые характеризуют  $t_{\text{пр}}$ , рассмотрим реле с постоянной индуктивностью  $L$  и сопротивлением  $R$ , которые подключены к источнику с электродвижущей силой  $E$ .

В действительности индуктивность реле  $L$  при притянутом якоре больше, чем при отпущенном. Следовательно, кривая нарастания тока в обмотке будет иметь провал, как показано на рис. 1.12.

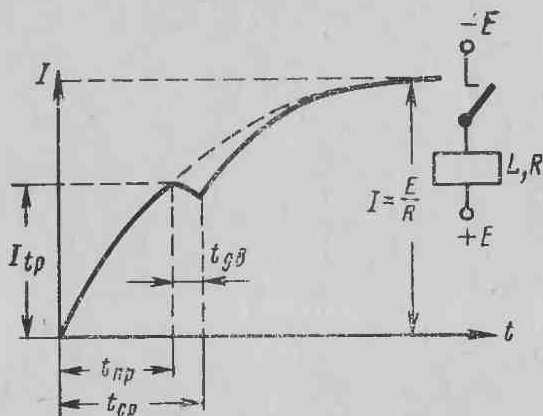


Рис. 1.12. Характеристика нарастания тока в обмотке реле

Устанавливающийся во времени  $t$  ток  $i$  выражается следующим дифференциальным уравнением:

$$L \frac{di}{dt} + Ri = E. \quad (1.25)$$

Решение этого уравнения относительно  $i$  имеет следующий вид:

$$i = I \left( 1 - e^{-\frac{t}{\tau}} \right), \quad (1.26)$$

где  $I = \frac{E}{R}$ , а  $\tau = \frac{L}{R}$ .

Если  $t = t_{\text{ср}}$ , то уравнение (1.26) примет вид:

$$i_{\text{ср}} = I \left( 1 - e^{-\frac{t_{\text{ср}}}{\tau}} \right). \quad (1.27)$$

Решая это уравнение относительно времени срабатывания, получим

$$t_{\text{ср}} = \tau \ln \frac{I}{I - i_{\text{ср}}}. \quad (1.28)$$

Анализ этой формулы дает возможность определить, какое влияние оказывают параметры электрической цепи на время срабатывания якоря. Разделив числитель и знаменатель правой части уравнения (1.28) на  $i_{\text{ср}}$ , получим выражение для времени срабатывания реле:

$$t_{\text{ср}} = \tau \ln \frac{k_3}{k_3 - 1}, \quad (1.29)$$

где  $k_3 = \frac{I w_p}{I w_{\text{ср}}} = \frac{I}{i_{\text{ср}}}$  — коэффициент запаса надежности по ампер-виткам.

Время отпущения реле  $t_{\text{от}}$ , т. е. отрезок времени от момента отключения напряжения от обмотки реле до момента переключения контактов, можно рассчитать аналогичным образом.

Если требуется рассчитать временные параметры реле, то рассчитывают индуктивность реле на постоянном токе, пользуясь формулой:

$$L = k_0 w^2, \quad (1.30)$$

где  $k_0$  — приведенная индуктивность одного витка, *гн*.

На практике для типовых реле при определении коэффициента  $k_0$  пользуются кривыми, где  $k_0 = f(Iw)$  при  $\delta = \text{const}$ .

Зная индуктивность реле  $L$ , можно определить время срабатывания и отпущения реле по формулам (1.28) или (1.29).

Для современных быстродействующих электромагнитных реле время срабатывания и отпущения составляет:

$$\begin{aligned} t_{\text{ср}} &= 10 \div 15 \text{ мсек}; \\ t_{\text{от}} &= 5 \div 8 \text{ мсек}. \end{aligned}$$

Однако в схемах коммутации требуется изменение этого времени в широких пределах. Замедление действия реле, т. е. увеличение времени его срабатывания и отпущения, может быть достигнуто конструктивными и схемными способами. Замедление действия реле конструктивным способом достигается путем применения дополнительной короткозамкнутой обмотки с малым сопротивлением, расположенной на одном сердечнике с основной обмоткой, или же при помощи медной втулки, надеваемой на сердечник реле.

Принцип действия замедленного реле основан на том, что при включении обмотки реле проходящий по ней электрический ток создает нарастающий магнитный поток, который вызывает в дополнительной обмотке (или втулке) появление электрического тока. Этот ток в свою очередь вызывает появление магнитного потока противоположного направления, благодаря чему нарастание магнитного потока замедляется и реле срабатывает с замедлением.

К схемным способам замедления реле (рис. 1.13) относится нанесение на катушку реле дополнительной короткозамкнутой обмотки, имеющей небольшое количество витков. Принцип действия схемного способа замедления такой же, как и у реле с конструктивными замедлителями. Если эта обмотка постоянно замкнута (рис. 1.13, а), то реле будет замедленным и на срабатывание и на отпускание. Если же цепь короткозамкнутой обмотки завести через контакт этого же реле, работающий на размыкание (рис. 1.13, б), то такое реле будет замедленным только на срабатывание. На

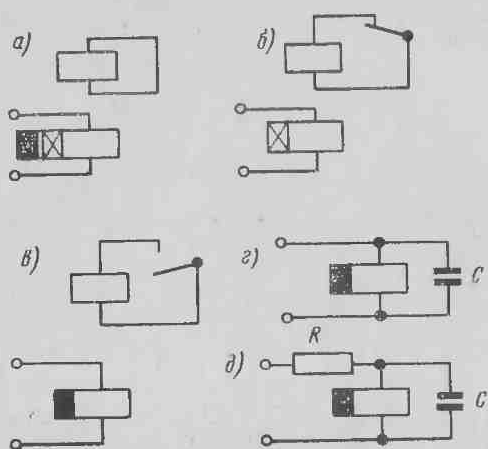


Рис. 1.13. Схемные способы замедления реле

рис. 1.13, в цепь короткозамкнутой обмотки заведена через собственный контакт реле, работающий на замыкание; такое реле является замедленным только на отпускание. Значительное замедление отпускания реле может быть достигнуто параллельным включением к обмотке реле конденсатора большой емкости (рис. 1.13 г, д).

### Искатели

Наибольшее распространение в автоматических телефонных станциях получили электромагнитные шаговые и декадно-шаговые искатели. Шаговые искатели — важнейшие механизмы АТС, с помощью которых осуществляется подключение телефонных аппаратов к трезумой линии.

Все искатели подразделяются:

а) по количеству движений щеток: на искатели с одним вращательным движением, у которых щетки для установки на нужном контакте вращаются внутри контактного поля, на искатели с двумя движениями, сначала подъемным, а затем вращательным (у этого искателя подъемное движение щеток осуществляется вне контактного поля, а вращательное — внутри него);

б) по числу контактов в полях: на 10, 15, 25, 50 и 100 линий (каждый шаговый искатель имеет свое индивидуальное поле);

в) по количеству щеток: на искатели, имеющие 3, 4 и более щеток;

г) по способу приведения щеток в движение: на искатели с электромагнитным приводом прямого действия, при котором рабочее движение щеток происходит при притяжении якоря электромагнитом; на искатели с электромагнитным приводом обратного действия, в которых движение щеток происходит при отпуске якоря под действием возвратных пружин.

Принцип действия шагового искателя с приводом прямого действия показан на рис. 1.14. При поступлении импульсов тока в обмотку электромагнита 1 якорь 2, притягиваясь к сердечнику 3, своим унором 4 вызовет поворот храпового колеса 5 на один зуб. При прекращении тока под действием возвратной пружины 6 якорь

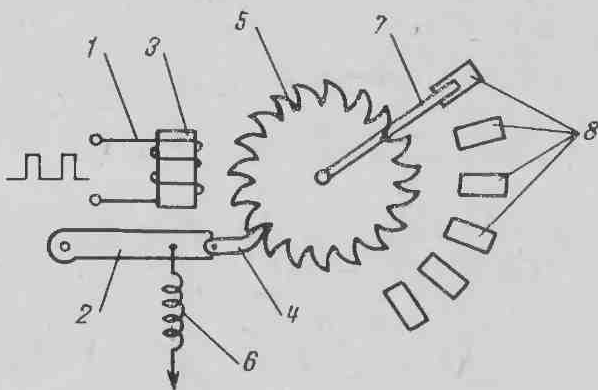


Рис. 1.14. Принцип действия шагового искателя

возвратится в исходное положение. В результате этого жестко соединенная с храповым колесом щетка 7 начнет перемещаться по контактам 8 поля искателя. Движение щеток искателя происходит шагами (отсюда и его название). При подключении к контактам щетки входного провода, а к контактным ламелям поля выходных проводов искатель обеспечит соединение входа с любым выходом.

Широкое применение получали шаговые искатели типов ШИ-11, ШИ-17, ШИ-25 и ШИ-50.

В подъемно-вращательном декадно-шаговом искателе типа ДШИ-100 емкость поля составляет 190 контактов. Нумерация поля показана на рис. 1.15. Как видно из рисунка, контакты расположены в 10 рядах (декадах) по 10 контактов в ряду.

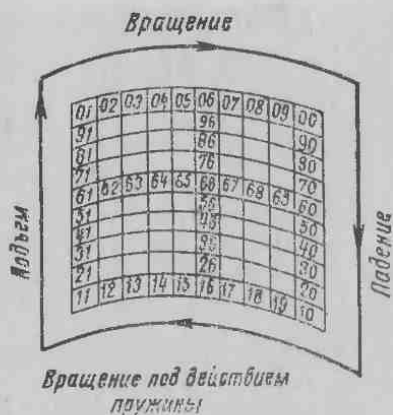


Рис. 1.15. Нумерация поля и диаграмма движения щеток ДШИ

На рис. 1.16 показан принцип устройства и действия такого искателя. Установка щетки 1 на требуемую ламель контактного поля осуществляется следующим образом. Сначала импульсы тока поступают на подъемный электромагнит 2, который поднимает храповой барабан 3 с рейкой 4 и устанавливает щетку против требуемой декады контактного поля. Затем импульсы тока поступают

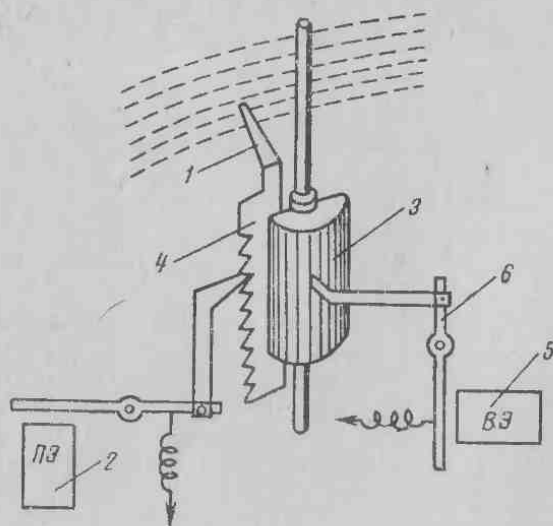


Рис. 1.16. Принцип устройства и действия декадно-шагового искателя

на вращательный электромагнит 5, и его якорь 6, воздействуя на храповой барабан, во вращательном движении устанавливает щетку на нужной ламели данной декады контактного поля.

После окончания соединения для возвращения щеток искателя в исходное положение во вращающий электромагнит поступают импульсы тока, обеспечивающие перемещение щеток в крайнее правое положение. При этом щетки выходят за пределы контактного поля.

Под совместным действием силы тяжести и пружины храповой барабан со щетками падает вниз, после чего с помощью спиральной пружины (не показанной на рисунке) устанавливается в исходное положение. Таким образом при каждом соединении концы щеток искателя описывают четырехугольник (см. рис. 1.15).

Основными недостатками рассмотренных искателей являются неустойчивость и износ контактов, движущихся механизмов, а также большие шумы, вносимые в разговорный тракт этими искателями.

### Соединители

В АТС координатной системы соединение между абонентами осуществляется особым коммутационным устройством — многократным координатным соединителем (МКС), у которого отсутствуют указанные выше недостатки.

Многократный координатный соединитель является прибором релейного действия, так как соединение в нем выполняется релейными контактами, приводимыми в действие при помощи электромагнитов.

По конструкции и емкости поля различают несколько типов МКС. Принцип устройства МКС  $10 \times 10$  показан на рис. 1.17. Этот соединитель содержит 100 контактных групп, расположенных в 10 рядов, по 10 контактных групп в каждом ряду. Для замыкания

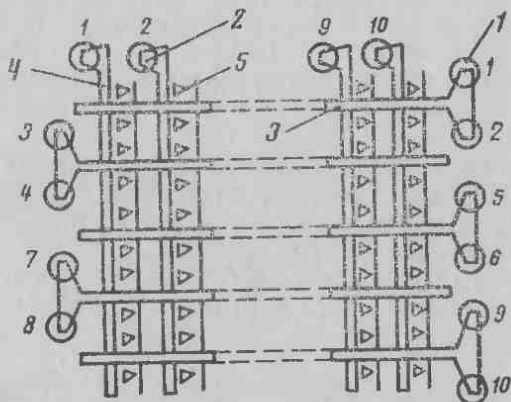


Рис. 1.17. Принцип устройства МКС  $10 \times 10$

контактных групп используются 20 электромагнитов: 10 выбирающих 1 и 10 удерживающих 2 электромагнитов. Для замыкания одной из контактных групп 5 вначале должен сработать выбирающий электромагнит того горизонтального ряда, в котором находится требуемая контактная группа. Выбирающий электромагнит поворачивает выбирающую планку 3, вследствие чего механически подготавливается возможность замыкания любого контакта горизонтального ряда. Затем срабатывает удерживающий электромагнит той вертикали, где находится требуемая контактная группа. При срабатывании удерживающего электромагнита его якорь поворачивает вертикальную удерживающую планку 4 и замыкает контакты требуемой группы. После этого выбирающий электромагнит отпускает якорь, а удерживающий электромагнит, оставаясь с притянутым якорем до окончания соединения, удерживает контакты данной группы в замкнутом состоянии.

В координатных автоматических телефонных станциях наиболее распространенное применение, кроме указанного типа МКС  $10 \times 10$ , нашли МКС  $20 \times 10$  и МКС  $10 \times 20$ . Последний является трехпозиционным, в нем замыкание контактов осуществляется при срабатывании трех электромагнитов.

### Бесконтактные переключающие устройства

Все выше рассмотренные электромеханические коммутационные устройства — реле, искатели и соединители — обладают инерционностью. Время, необходимое для включения и выключения механических контактов, относительно велико и составляет 5—35 мсек.

Применение элементов бесконтактной коммутации позволяет значительно сократить время действия переключающих устройств.

К элементам бесконтактной коммутации релейного действия, имеющим в большинстве случаев два состояния («включено» — «выключено»), можно отнести полупроводниковые диоды, транзисторы, тиристоры и различные переключающие схемы, построенные на этих элементах (триггеры, кипп-реле, мультивибраторы и т. п.), а также магнитные элементы с прямоугольной петлей гистерезиса, отличающиеся долговечностью, так как магнитные свойства ферритовых сердечников практически не меняются с течением времени.

Однако бесконтактные переключающие устройства также имеют недостатки, одним из которых является сравнительно большое сопротивление (десятки ом) в открытом состоянии  $R_0$  и конечное сопротивление (десятки — сотни килоом) в закрытом состоянии  $R_3$ . Вследствие этого величина коэффициента коммутации по сопротивлению для электронного контакта значительно меньше, чем для механического контакта

$$k_{\text{мех}} \gg k_{\text{эл}} = \frac{R_3}{R_0}. \quad (1.31)$$

Это приводит к недопустимо большому затуханию, вносимому в тракт телефонной передачи электронными контактами. В настоящее время разрабатываются более совершенные бесконтактные переключающие устройства с использованием четырехслойных полупроводниковых приборов, полевых транзисторов и других элементов. Такие контакты имеют достаточно высокий коэффициент коммутации  $k_{эл}$  по сопротивлению.

### Принцип автоматической коммутации

Для автоматизации процесса соединения абонентов на телефонной станции устанавливают реле, искатели и соединители, а в телефонный аппарат абонента — номеронабиратель.

Принцип автоматического соединения заключается в передаче абонентом на станцию информации о вызываемом номере с помощью импульсов постоянного тока, которые, пройдя ряд цепей, образованных различными реле, управляют работой искателей по установлению требуемого соединения. Передача этих импульсов осуществляется абонентом с помощью номеронабирателя.

Номеронабиратель представляет собой механическое устройство, управляющее работой двух основных электрических контактов: импульсного и шунтирующего. На рис. 1.18 показан принцип вклю-

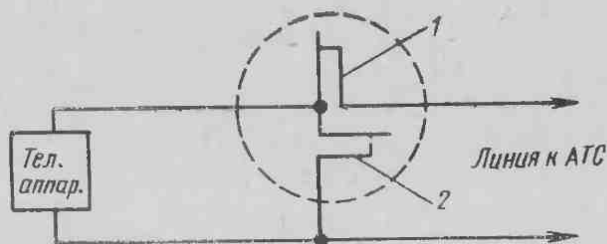


Рис. 1.18. Принцип включения контактов номеронабирателя

чения контактов номеронабирателя в схему телефонного аппарата. Импульсный контакт 1 номеронабирателя включается последовательно в цепь абонентской линии, а шунтирующий контакт 2 — параллельно разговорным приборам телефонного аппарата.

С помощью номеронабирателя абонент производит набор нужного ему номера, при этом шунтирующие контакты замыкаются и остаются в таком состоянии до возвращения диска номеронабирателя в исходное положение. Шунтирующий контакт предотвращает появление щелчков в телефоне, обусловленных прохождением импульсов тока по обмотке трансформатора, и исключает искажения импульсов, вызванные нестабильным сопротивлением угольного микрофона.

Во время вращения диска номеронабирателя в исходное поло-



жение осуществляется размыкание и замыкание импульсного контакта столько раз, сколько единиц содержится в набранной цифре.

Для надежной работы приборов АТС установлена частота посылки импульсов 10 *имп/сек* с допустимым отклонением  $\pm 10\%$ .

Важное значение имеет импульсный коэффициент  $k_{\text{имп}}$ , характеризующий отношение продолжительности размыкания  $t_{\text{раз}}$  импульсного контакта к продолжительности замыкания  $t_{\text{зам}}$ :

$$k_{\text{имп}} = \frac{t_{\text{раз}}}{t_{\text{зам}}} = 1,6. \quad (1.32)$$

Допустимое отклонение импульсного коэффициента составляет 1,4—1,8.

Нормальная скорость и равномерность вращения диска номеронабирателя, поддерживаемая центробежным регулятором, обеспечивает время размыкания 62,5 *мсек* и время замыкания 37,5 *мсек*.

### § 1.3. Структура телефонных сетей

#### Принцип группообразования в АТС

Для того чтобы понять, как осуществляется связь абонентов со специальными службами на ГТС, в частности с пожарной охраной города, необходимо рассмотреть принцип группообразования в АТС. На рис. 1.19 изображена скелетная схема АТС на 1000 номеров.

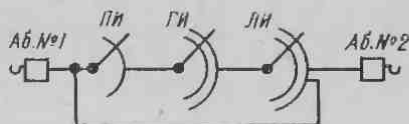


Рис. 1.19. Принцип группообразования в АТС на 1000 номеров

Возможность коммутации одной линии с любой из группы линий недостаточна для построения АТС. Телефонная станция должна обеспечить соединение каждого абонента с каждым, включенным в нее.

В таких станциях каждая абонентская линия включается в щетки индивидуального искателя, называемого предыскателем ПИ.

В качестве предыскателя используют обычно шаговые искатели. Они предназначены для отыскания свободного группового искателя ГИ и присоединения его к линейному искателю. Групповые искатели должны иметь два вида движений, а поэтому для этих целей используют искатели типа ДШИ. В поле групповых искателей включаются щетки линейных искателей ЛИ тоже типа ДШИ. Два последних знака номера управляют движением щеток ЛИ для отыскания линии нужного абонента, которые включены в контактное поле линейного искателя.

Поступающие с телефонного аппарата на АТС вызовы создают телефонную нагрузку. Количество предыскателей ПИ определяется по числу абонентов, а количество искателей ГИ и ЛИ определяют расчетом, исходя из поступающей нагрузки.

Абонентские линии (или искатели), создающие телефонную нагрузку на ступень искания, называются источниками нагрузки, которые образуют нагрузочные группы. Совокупность выходов, достоящих нагрузочной группе, называется пучком линий.

При расчете количества приборов и емкости пучков определяют телефонную нагрузку по формуле:

$$Y = Nct, \text{ ч-зан.}$$

где  $N$  — число источников нагрузки;

$c$  — среднее число занятий на один источник нагрузки за определенный промежуток времени;

$t$  — средняя длительность одного занятия.

Рассмотрим работу схемы, изображенной на рис. 1.19.

При снятии микрофонной трубки с аппарата № 1 щетки предыскателя ПИ, в который включена линия этого абонента, начинают вращаться. Вращение происходит до тех пор, пока линия абонента не подключится к одному из свободных ГИ. Абонент услышит сигнал ответа станции и начнет набирать номер абонента № 2.

При наборе первой цифры номера приходит в действие ГИ. Его щетки поднимаются вверх на число декад, соответствующее количеству импульсов. Второе движение щеток — вращательное, свободное, не зависящее от импульсов, посылаемых абонентом. Щетки ГИ присоединяют линию абонента № 1 к одному из свободных ЛИ. Набор второй и третьей цифр номера воспринимаются линейным искателем, при этом оба его движения — вынужденные. В результате щетки ЛИ устанавливаются на ламели, к которой подключена линия вызываемого абонента № 2.

Если емкость АТС 10 000 номеров, то в соединении участвуют две ступени группового искания ПИ и ИПИ. При двух ступенях группового искания нумерация станции будет четырехзначной. Для еще большего увеличения емкости АТС в схему вводятся III ГИ, IV ГИ и т. д. Каждая дополнительная ступень ГИ увеличивает емкость станции в десять раз.

Связь со специальными службами на городской телефонной сети (ГТС)

В городах Советского Союза принята централизованная система вызова пожарной охраны, при которой все вызовы поступают по центральный пункт пожарной связи (ЦППС).

На ГТС имеются отдельные установки, вызываемые сокращенным, обычно двузначным, набором номера. К таким установкам, обслуживаемым службами специального назначения, относятся пожарная охрана, милиция, скорая помощь и др. Сокращенное количество знаков при наборе (01, 02 или 03) необходимо для ускорения

соединения и для облегчения запоминания номеров этих специальных служб.

С целью экономичного построения связи со спецслужбами на одной из районных автоматических телефонных станций (РАТС) городской телефонной сети устраивается узел спецлиний, состоящий из групповых искателей спецслужб ( $ГИ_{сп}$ ). К этому узлу поступают соединительные линии от всех РАТС. Выходы из поля  $ГИ_{сп}$  образуют крупные пучки, идущие к специальным службам.

Схема связи ГТС с центральным пунктом пожарной связи города изображена на рис. 1.20.

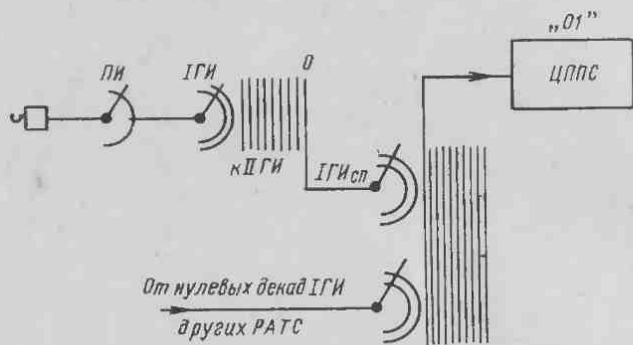


Рис. 1.20. Схема связи ГТС с ЦППС

Для вызова пожарной охраны используется номер 01. Как видно из схемы, выходы с нулевой декады  $ГИ$  включаются в щетки  $ГИ_{сп}$ , при этом в качестве  $ГИ_{сп}$  используется ДШИ.

При наборе цифры «0» на  $ГИ$  щетки устанавливаются против нулевой декады, в ламели которой включены линии к приборам спецслужб  $ГИ_{сп}$ . Свободным вращательным движением щетки  $ГИ$  отыскивают незанятую линию к  $ГИ_{сп}$ . При наборе цифры «1» на  $ГИ_{сп}$  щетки устанавливаются на первой декаде и, последовательно передвигаясь с контакта на контакт, отыскивают свободную линию к ЦППС. После остановки щеток на свободной линии к пожарной охране на ЦППС посылается вызов.

#### Принципы построения специальной телефонной связи пожарной охраны

Специальная телефонная связь пожарной охраны — это прямая связь пожарной охраны с охраняемыми ею объектами. Она предназначена для обеспечения своевременного вызова пожарной команды при возникновении пожара на объекте.

Специальная телефонная связь пожарной охраны создается, как правило, в масштабе города, при этом связь устанавливается с особо важными или пожароопасными объектами. Для устройства такой связи используются линейные сооружения ГТС, но в

отдельных случаях для пожарной связи могут быть построены свои линии связи.

Линии прямой пожарной связи с объектов подаются на ЦППС города или в городскую пожарную команду. Прямая связь устанавливается с той городской пожарной командой, в районе охраны которой находится данный объект. Прямую связь с ЦППС города должны иметь только те объекты, на которые по первому вызову высылаются пожарные команды.

Пожарная связь должна обеспечивать прямую связь объекта непосредственно с пожарной охраной (без каких-либо промежуточных пунктов).

Если на объекте имеется своя пожарная охрана, то телефонный аппарат должен быть установлен непосредственно у дежурного пожарной охраны объекта. При отсутствии объектовой пожарной охраны линия прямой пожарной связи включается в телефонную станцию объекта, а при отсутствии последней телефонный аппарат пожарной связи устанавливается в помещении дежурного по объекту.

### Принципы построения телефонной сети

Телефонная связь осуществляется при помощи телефонных сетей, которые в своей совокупности образуют единую телефонную сеть страны.

В состав этой телефонной сети входят (рис. 1.21):

городские телефонные сети (ГТС);

междугородные телефонные сети (МТС), которые подразделяются на магистральные и внутриобластные;

телефонные сети промышленных предприятий и учреждений (УТС), которые делятся на автоматизированные (УАТС) и ручные (УРТС);

сельские (внутрирайонные) телефонные сети (СТС, ВРС)

Большинство ГТС оборудовано автоматическими телефонными станциями. Сооружения ГТС подразделяются на три части:

абонентские устройства (абонентские телефонные аппараты и монетные аппараты);

линейные сооружения (абонентские и межстанционные соединительные линии);

станционные устройства (коммутационное и электропитающее оборудование).

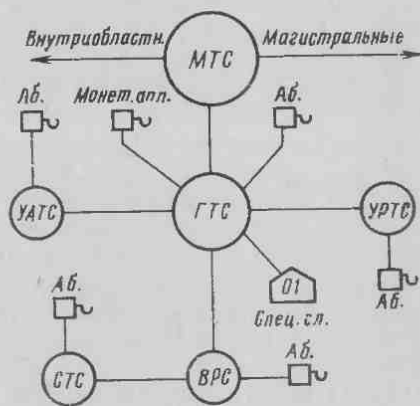


Рис. 1.21. Принцип построения телефонной сети

ГТС строятся сейчас таким образом, чтобы предоставить возможность абоненту вести переговоры не только с абонентом, включенным в данную ГТС, но и с абонентом любой городской и сельской телефонной сети страны, а также с абонентами УТС и службами специального назначения путем набора сокращенного номера.

Опыт строительства городских телефонных сетей и их эксплуатация показывают, что оптимальными вариантами построения ГТС на ближайшее время будут:

а) *нерайонированная телефонная сеть* емкостью до 10 000 номеров. Для такой телефонной сети обычно имеется одна АТС с четырехзначным набором номера;

б) *районированная телефонная сеть* емкостью от 10 000 до 50 000 номеров. При такой емкости телефонной сети обычно строят несколько РАТС емкостью на 10 000 номеров и соединяют их между собой соединительными линиями. При таком построении сети нумерация абонентов будет пятизначной, причем первый знак абонентского номера определяет индекс РАТС;

в) *районированная телефонная сеть с узлами входящего сообщения (УВС)* емкостью от 50 000 до 500 000 номеров. В этом случае территория города подразделяется на несколько узловых районов, в каждом из которых размещается до десяти РАТС емкостью до 10 000 номеров каждая. В каждом узловом районе выделяется узел входящего сообщения, который обычно совмещается с одной из РАТС этого узлового района. На УВС поступают соединительные линии от каждой РАТС города, благодаря чему на этом узле концентрируется вся телефонная нагрузка от РАТС сети. При таком построении сети нумерация абонентов будет уже шестизначной. Первая цифра номера определяет индекс узлового района, вторая — индекс станции РАТС в этом районе;

г) *районированная телефонная сеть с узлами входящего и исходящего сообщения (УИС)* емкостью свыше 500 000 номеров. В этом случае, помимо узлов входящего сообщения, выделяется узел исходящего сообщения. Концентрируемая на УИС исходящая нагрузка поступает к УВС других районов. Количество пучков соединительных линий при этом значительно уменьшается, а использование линий в них возрастает.

Нумерация абонентов для такой городской телефонной сети может быть шестизначной и семизначной (чаще единой — семизначной). В этом случае первые две цифры являются индексами узлового района, а первые три цифры — индексом РАТС на сети.

## § 1.4. Линии связи

### Общие сведения

Линия связи является одним из основных и самым дорогим элементом в системе проводной связи. От работоспособности и надежности действия линейных сооружений во многом зависят устойчивость и качество работы всей системы связи. В зависимости от

условий местности и требований, предъявляемых к качеству и дальности связи, существуют различные по конструкции и электрическим данным линии связи. Проводные линии связи разделяются на два вида: кабельные и воздушные.

Кабельные линии связи имеют ряд преимуществ перед воздушными линиями:

меньшая подверженность воздействию метеорологических условий и к механическим повреждениям;

возможность организации значительно большего числа каналов связи;

большая защищенность от влияния различного рода помех.

Поэтому, несмотря на более высокую стоимость, кабельные линии получили очень широкое распространение. Для пожарной связи, как правило, должны применяться кабельные телефонные линии связи, а воздушные линии следует использовать только для временной связи.

Городская телефонная сеть строится на использовании в основном кабельных линий связи. Они прокладываются в специальных трубопроводах, называемых кабельной канализацией. Совокупность таких кабельных линий составляет магистральную кабельную сеть. Магистральные кабели с количеством пар проводов от 100 до 1200 прокладываются до распределительных шкафов. От распределительных шкафов к зданиям проложены кабели меньшей емкости, которые включаются в распределительные коробки. От распределительного шкафа кабели могут быть проложены к кабельным ящикам, установленным на столбах и чердаках зданий. Совокупность таких кабельных линий составляет распределительную сеть. Распределительные коробки предназначаются для перехода с распределительной сети на абонентскую проводку и к телефонным аппаратам, а кабельные ящики для соединения жил кабеля с проводами воздушных линий связи. На рис. 1.22 показан принцип построения городской кабельной телефонной сети.

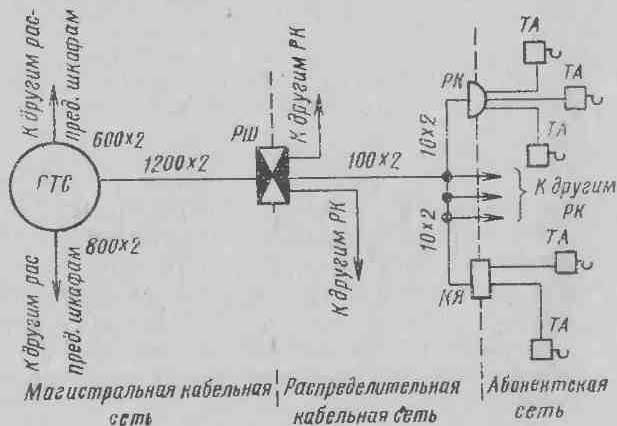


Рис. 1.22. Принцип построения городской кабельной телефонной сети

## Первичные параметры линий связи

Электрические свойства проводных линий связи определяются их первичными и вторичными параметрами. К первичным параметрам линии относятся *активное сопротивление*  $R$ , *индуктивность*  $L$ , *емкость*  $C$  и *проводимость изоляции*  $G$  1 км цепи. Они распределены равномерно вдоль цепи и поэтому такую линию принято называть цепью с распределенными постоянными. Вычисления и опыт показывают, что элементарные короткие участки цепей с достаточной точностью можно представить в виде эквивалентных схем. Знание первичных параметров позволяет судить об электрических свойствах всей цепи в целом. На рис. 1.23 изображена эк-

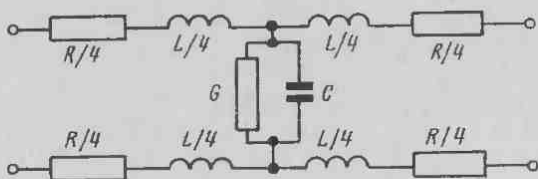


Рис. 1.23. Эквивалентная схема 1 км однородной двухпроводной цепи

вивалентная схема 1 км однородной цепи. На схеме величины  $R$ ,  $L$ ,  $C$  и  $G$  1 км цепи являются ее первичными параметрами. Сопротивление 1 км двухпроводной линии постоянному току определяется путем подстановки величин  $l=2000$  м и  $S=\frac{\pi d^2}{2}$  в известную из электротехники формулу сопротивления проводника  $r=\rho\frac{l}{S}$ .

Тогда получим

$$R_0 = \rho \frac{8000}{\pi d^2}, \text{ ом/км.} \quad (1.33)$$

Если температура отличается от  $20^\circ\text{C}$ , то сопротивление проводов при температуре  $t^\circ$  определяется по формуле:

$$R_{t^\circ} = R_0 [1 + \alpha(t^\circ - 20^\circ)], \quad (1.34)$$

где  $\alpha$  — температурный коэффициент материала проводов.

При расчете активного сопротивления линии переменному току учитывается увеличение сопротивления за счет поверхностного эффекта близости и вследствие потерь энергии в металлических проводниках, окружающих рассматриваемую цепь.

Активное сопротивление двухпроводной линии с учетом поверхностного эффекта близости определяется по формуле:

$$R = k_1 R_0, \quad (1.35)$$

где  $k_1$  — коэффициент, учитывающий влияние поверхностного эффекта близости и определяемый по специальным таблицам [29] в зависимости от вспомогательной величины  $x$ , определяемой выражением:

$$x = 0,0709 \sqrt{\frac{\mu_r f}{R_0}}, \quad (1.36)$$

здесь  $\mu_r$  — относительная магнитная проницаемость материала проводов.

Вихревые токи, появившиеся в одном проводнике двухпроводной цепи за счет магнитного поля, созданного током в другом проводнике этой цепи, могут явиться причиной увеличения активного сопротивления проводов цепи. Это явление носит название эффекта близости и проявляется тем сильнее, чем выше частота тока, чем больше диаметр провода, а также магнитная проницаемость и проводимость материала.

Если расстояние между проводами  $a$  будет в 4 раза больше, чем диаметр  $d$  проводов, то влиянием эффекта близости на активное сопротивление проводов можно пренебречь. Таким образом, для цепей воздушных линий не учитывается влияние эффекта близости, поскольку для таких цепей расстояние между проводами в 200—500 раз больше диаметра проводов.

У кабельных цепей отношение  $\frac{a}{d} < 4$  и, следовательно, эффект близости может оказать влияние на активное сопротивление проводов, особенно на высоких частотах.

Добавочное активное сопротивление проводов цепи, возникающее вследствие эффекта близости, рекомендуется определять по таблицам [29].

Добавочное сопротивление, вызванное потерями энергии в металлических проводниках, окружающих рассматриваемую цепь, находят опытным путем.

Индуктивность двухпроводной кабельной линии определяется по формуле [29]:

$$L = \lambda \left( 4 \ln \frac{a-r}{r} + k_2 \mu_r \right) 10^{-4}, \text{ гн/км}, \quad (1.37)$$

где  $\lambda$  — коэффициент спиральности;

$4 \ln \frac{a-r}{r}$  — внешняя индуктивность;

$k_2 \mu_r$  — внутренняя индуктивность.

Индуктивность цепей двухпроводной воздушной линии выражается формулой:

$$L = \left( 4 \ln \frac{a}{r} + k_2 \mu_r \right) 10^{-4}, \text{ гн/км}. \quad (1.38)$$



В этой формуле величиной  $r$  пренебрегли, так как для цепей воздушных линий связи расстояние  $a$  между проводами во много раз больше радиуса проводов  $r$ .

Коэффициент  $k_2$ , входящий в формулы (1.37) и (1.38), характеризует влияние поверхностного эффекта на индуктивность цепи и как коэффициент  $k_1$  определяется по вспомогательной величине  $x$  (1.36). Величина емкости 1 км линии связи зависит главным образом от расстояния между проводами и от их диаметра, а также от вида диэлектрика и конструктивных особенностей (для кабельных цепей). Для расчета емкости кабельной линии пользуются формулой с поправочными коэффициентами [29]:

$$C = \frac{\lambda \varepsilon_3 \cdot 10^{-6}}{36 \ln \left( \frac{a-r}{r} \psi \right)}, \quad \phi / \text{км}, \quad (1.39)$$

где  $\psi$  — поправочный коэффициент, зависящий от способа скрутки и от расстояния жил от заземленной оболочки, определяется по таблице [29];

$\varepsilon_3$  — эквивалентная относительная диэлектрическая проницаемость составного диэлектрика, определяемая по формуле:

$$\varepsilon_3 = \frac{\varepsilon_1 V_1 + \varepsilon_2 V_2}{V_1 + V_2}, \quad (1.40)$$

здесь  $\varepsilon_1$  и  $\varepsilon_2$  — относительные диэлектрические проницаемости отдельных диэлектриков, определяемые по таблице [29];

$V_1$  и  $V_2$  — объемы, занимаемые этими диэлектриками.

Для воздушной двухпроводной линии связи емкость 1 км определяется выражением:

$$C = \frac{1,05 \cdot 10^{-6}}{36 \ln \frac{a}{r}}, \quad \phi / \text{км}. \quad (1.41)$$

При передаче электрических сигналов по цепям связи ток с одного провода на другой переходит не только через емкость, но и через проводимость изоляции  $G$ . Любой вид изоляции имеет конечное сопротивление, поэтому через изоляцию происходит утечка тока.

Проводимость изоляции линии связи складывается из проводимостей, вызванных появлением диэлектрических потерь  $G_{д.п.}$ , и вследствие несовершенства изоляции  $G_0$

$$G = G_{д.п.} + G_0.$$

Для кабельных линий связи проводимость изоляции можно считать, пользуясь формулой:

$$G = \omega C \operatorname{tg} \delta, \quad \text{см.м/км}, \quad (1.42)$$

где  $\operatorname{tg} \delta$  — тангенс угла диэлектрических потерь, определяемый по таблицам [29];

$\omega$  — угловая частота;

$C$  — емкость кабеля.

### Вторичные параметры

Важными характеристиками проводной линии связи являются вторичные параметры: *волновое сопротивление*  $Z_{\text{в}}$  и *коэффициент распространения*  $\gamma$ .

При прохождении электрического тока по телефонной цепи вследствие ее сопротивления, индуктивности, емкости и проводимости изоляции происходят потери электрической энергии.

Величина волнового сопротивления представляет собой сопротивление, которое встречает электромагнитная энергия при распространении вдоль однородной линии; определяется по формуле:

$$Z_{\text{в}} = \sqrt{\frac{R + j\omega L}{G + j\omega C}}, \text{ о.и.} \quad (1.43)$$

и зависит от первичных параметров линии. Как видно из выражения (1.43), волновое сопротивление является комплексной величиной и может быть представлено в виде:

$$Z_{\text{в}} = |Z_{\text{в}}| e^{j\varphi_{\text{в}}}, \quad (1.44)$$

где  $|Z_{\text{в}}|$  — модуль волнового сопротивления;

$\varphi_{\text{в}}$  — угол, равный полуразности углов комплексных выражений числителя и знаменателя,

$$\varphi_{\text{в}} = \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{2}.$$

$$\text{Здесь} \quad \operatorname{tg} \varphi_1 = \frac{\omega L}{R} \quad \text{и} \quad \operatorname{tg} \varphi_2 = \frac{\omega C}{G}.$$

Волновое сопротивление цепи необходимо знать для расчета входных сопротивлений приборов, включаемых в цепь. Так, например, чтобы приемное устройство получило наибольшую мощность, входное сопротивление приемного аппарата должно равняться волновому сопротивлению цепи.

Коэффициент распространения  $\gamma$  характеризует изменение мощности электромагнитной волны при распространении ее вдоль линии, а также изменение фазы напряжения и тока. Через первичные параметры коэффициент распространения определяется по формуле:

$$\gamma = \sqrt{(R + j\omega L)(G + j\omega C)}. \quad (1.45)$$

Как видно из приведенного выражения, коэффициент распространения является величиной комплексной и формула (1.45) может быть записана в виде:

$$\gamma = \alpha + j\beta.$$

Действительная составляющая  $\alpha$  называется *коэффициентом затухания*, она характеризует уменьшение величины тока и напряжения на единицу длины линии. Минимая составляющая  $\beta$ , называемая *коэффициентом фазы*, характеризует изменение напряжения и тока по фазе.

Если напряжение и ток в начале линии обозначить  $U_1$  и  $I_1$ , а напряжение и ток в конце линии соответственно  $U_2$  и  $I_2$ , то при согласованной нагрузке затухание линии  $\alpha$  с длиной  $l$  определится формулой:

$$\alpha = \sigma l = \ln \left| \frac{U_1}{U_2} \right| = \ln \left| \frac{I_1}{I_2} \right| = \frac{1}{2} \ln \left| \frac{P_1}{P_2} \right|. \quad (1.46)$$

Если положить, что отношение  $\frac{U_1}{U_2}$  равно  $e = 2,718$ , то при этом затухание

$$\alpha l = \ln \left| \frac{U_1}{U_2} \right| = \ln e = 1.$$

Значит, когда отношение напряжений в начале и в конце линии составляет 2,718, затухание равно единице.

Эта единица получила название *непер*. Затухание линии имеет большое значение при расчетах дальности телефонной связи.

Дальность телефонной связи и распределение затухания по отдельным участкам городской телефонной сети

Дальность телефонной передачи по проводам зависит в основном от потери части передаваемой мощности в линии, а также различного рода искажений и помех. Кроме того, для нормального воспроизведения сигналов в телефоне необходимо, чтобы приемник обладал соответствующей чувствительностью. В свою очередь, мощность, подводимая к приемнику, определяется не только потерей энергии в линии, но и мощностью микрофона как передатчика.

Таким образом, дальность телефонной связи зависит от свойств микрофона, линии и телефона.

Дальность телефонной связи определяется по допустимому затуханию цепи, при котором будет обеспечена нормальная громкость разговора при нормальной мощности микрофона и допустимой величине искажений. Исследованиями установлено, что микрофон современного телефонного аппарата развивает среднюю мощность порядка 1 мвт ( $1 \cdot 10^{-3}$  вт). Для получения нормальной громкости разговора к телефону необходимо подвести мощность порядка 1 мквт ( $1 \cdot 10^{-6}$  вт). Исходя из этих величин мощностей в начале ( $P_M = 1 \cdot 10^{-3}$  вт) и в конце ( $P_T = 1 \cdot 10^{-6}$  вт) цепи, пользуясь формулой (1.46), найдем величину допустимого затухания в цепи при городском телефонном разговоре:

$$\alpha = \frac{1}{2} \ln \frac{P_M}{P_T} = \frac{1}{2} \ln \frac{1 \cdot 10^{-3}}{1 \cdot 10^{-6}} = \frac{1}{2} \ln 1000 = 3,45 \text{ непер.}$$

По последним нормам, затухание цепи в пределах городских телефонных сетей между двумя абонентами при  $f=800$  гц не должно быть больше  $3,3$  неп. Эта величина общего затухания распределяется по отдельным участкам следующим образом (рис. 1.24):

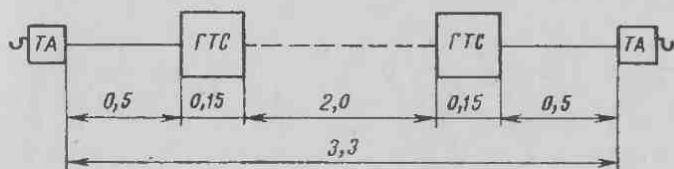


Рис. 1.24. Распределение затухания по участкам городской телефонной сети

городские телефонные станции —  $0,15$  неп;  
соединительные линии между ГТС —  $2,0$  неп;  
абонентские линии —  $0,5$  неп.

Для увеличения дальности телефонирования в случае, если затухание линии превышает указанные нормы, могут быть применены следующие способы:

- 1) увеличение чувствительности приемного устройства путем установки в телефонных аппаратах усилителя приема;
- 2) увеличение мощности передающего устройства путем применения специальных микрофонных усилителей;
- 3) периодическое усиление передаваемого разговора при помощи промежуточных усилителей, равномерно распределенных вдоль линии.

### § 1.5. Организация пунктов связи пожарной охраны

Пунктом связи пожарной охраны называется комплекс устройств связи и сигнализации, помещений и служб, позволяющий быстро принимать сообщения о возникновении пожара и оперативно отдавать необходимые распоряжения по ликвидации очагов пожара.

Пункты связи пожарной охраны подразделяются на:

- центральный пункт пожарной связи (ЦППС), в котором объединена вся связь пожарной охраны города;
- пункт пожарной связи отряда (ПСО);
- пункт пожарной связи частей (ПСЧ);
- центральный пункт радиосвязи (ЦПР);
- пункты пожарной связи на отдельных пожарных постах (ПСП).

В основу построения пожарной связи должна быть положена схема пожарной связи города (или объекта), которая разрабатывается и утверждается УПО — ОПО МВД — УВД СССР.

Связь пожарной охраны по своему назначению подразделяется на связь извещения, диспетчерскую связь и связь на пожаре.

Связь извещения обеспечивает своевременный прием вызовов при возникновении пожара, аварии или стихийного бедствия.

В состав связи извещения входят:

городская и местная (объектовая) телефонная связь;  
электрическая (автоматическая и ручная) пожарная сигнализация;

специальная пожарная телефонная связь;

связь с наблюдательными постами, расположенными на вышках.

Схема пожарной связи извещения строится таким образом, чтобы была обеспечена максимальная скорость передачи в городскую пожарную охрану извещений или сигналов о всех возникших пожарах в любой части города, на любом объекте. В основу организации связи должна быть положена схема связи извещения, принятая для данного города. Вариант такой схемы приведен на рис. 1.25.

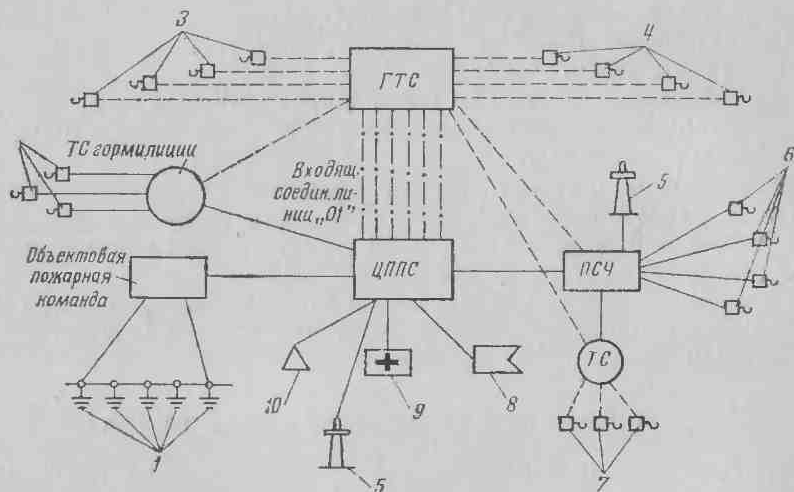


Рис. 1.25. Вариант схемы пожарной связи извещения

— линии прямой телефонной связи;

— линии спецсвязи «01»;

— линии городской телефонной связи;

1 — извещатели; 2 — милийские постовые телефоны; 3 — городские телефоны в учреждениях и квартирах; 4 — телефоны-автоматы на улицах города; 5 — наблюдательная пожарная вышка; 6 — местные телефоны объектов; 7 — абоненты местной телефонной сети; 8 — горсовет; 9 — больница; 10 — театр

Схемой связи извещения предусматривается:

1. Соединение ЦППС с городской телефонной станцией входящими соединительными линиями, предназначенными специально для приема извещений о пожарах. При наличии в городе РТС связь абонентов этой телефонной станции с пожарной охраной осуществляется по этим соединительным линиям набором двухзначного номера «01», как это было рассмотрено выше в § 1.3, а при РТС — заявлением: «Пожар».

2. Установка на пунктах связи пожарных частей (ПСЧ) телефонов городской (или местной объектовой) станции, предназначенных специально для приема извещений о пожарах от населения и объектов, расположенных в районе выезда пожарной части. В этом случае сообщение о пожаре производится или набором номера «01» (при АТС) или заявлением номера телефона данной пожарной части.

3. Установка в пожарных частях специальных устройств и аппаратов электрической пожарной сигнализации для приема извещений о пожарах и для связи с наиболее важными объектами, расположенными в районах выезда пожарной команды. Автоматическое извещение о пожаре находит широкое применение на объектах народного хозяйства.

4. Соединение прямыми линиями связи ЦППС, ПСО, ПСЧ с наиболее важными объектами города. Преимущество такого вида соединения заключается в том, что исключаются случаи отказа из-за занятости линии и обеспечивается наибольшая скорость соединения с пожарной охраной.

5. Соединение наблюдательных пожарных постов, расположенных на вышках, прямыми линиями с ЦППС или с пунктами связи пожарных частей.

6. Соединение прямыми связями ЦППС с оперативным коммутатором милиции для возможности приема сообщений о пожарах с милицейских постов.

**Диспетчерская связь** обеспечивает передачу распоряжений подразделениям, своевременную высылку пожарных подразделений для тушения пожаров, получение информации с мест пожаров и централизованное управление силами и средствами пожаротушения.

В состав диспетчерской связи входят:

прямая телефонная и радиосвязь ЦППС республики, области, края и города с пунктами связи пожарных частей, отрядов и пожарных постов;

телефонная и радиосвязь ЦППС с частями, работающими на пожаре;

радиосвязь центрального пункта радиосвязи (ЦПР) или ЦППС с пожарными автомобилями, автомобилями связи, оперативными и другими автомобилями, находящимися в пути следования;

прямая телефонная связь со спецслужбами города (горводопровод, медпомощь, горгаз, горэнерго, милиция).

В зависимости от системы пожарной охраны города могут использоваться следующие два вида организации диспетчерской связи:

диспетчерская связь города, где нет отрядной системы пожарной охраны;

диспетчерская связь города с отрядной системой пожарной охраны.

Для городов, где нет отрядной системы пожарной охраны, диспетчерская связь организуется по схеме, изображенной на рис. 1.26. В этой схеме предусматривается установка на ЦППС города коммутатора диспетчерской связи и соединение его прямыми линиями связи с пожарными частями и пожарными постами, со взаимодействующими с пожарной охраной службами города, с руководящим составом пожарной охраны, а также соединение коммутатора с ГТС, районными и местными (объектовыми) станциями.

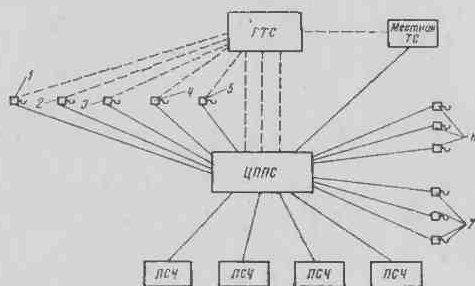


Рис. 1.26. Схема организации диспетчерской связи города, где нет отрядной системы пожарной охраны.  
Обозначения в схеме:

————— — линии прямой телефонной связи;  
- - - - - — линии городской телефонной связи;

1—скорая медицинская помощь; 2—милиция; 3—горгаз; 4—горэнерго; 5—горводопровод; 6—руководящие организации (горсовет, УВД и др.); 7—руководство пожарной охраны

Для городов с отрядной системой пожарной охраны диспетчерская связь организуется по схеме, отличающейся от предыдущей тем, что подразделения пожарной охраны имеют двойную прямую связь с ЦППС города и отрядом, которому подчинено данное подразделение пожарной охраны. Каждый отряд имеет прямую связь с ЦППС города.

Диспетчерская радиосвязь служит для связи ЦППС с пожарными подразделениями, не имеющими прямой проводной связи, а также для связи ЦППС с пожарными автомобилями, выезжающими на пожар. Кроме того, диспетчерская радиосвязь является средством, дублирующим проводную связь при ее повреждении и основным средством получения информации с места пожара.

Диспетчерская радиосвязь организуется по принципу радиосетей и радионаправлений, применительно к местным условиям с учетом тактико-технических возможностей радиостанций.

**Связь на пожаре** в зависимости от ее назначения делится на следующие виды:

связь обеспечения и информации, устанавливаемая между местом пожара и ЦППС или пунктом связи пожарной части. Эта связь обеспечивает своевременную передачу сведений об обстановке

и ходе тушения пожара, вызов дополнительных сил и средств, а также специальных служб города (скорой медицинской помощи, горгаза, горэнерго, милиции и др.);

связь управления, устанавливаемая между руководителем пожаротушения, начальником штаба, начальником тыла и начальниками подразделений, работающих на пожаре. С помощью этой связи обеспечивается руководство работой подразделений и получение от них сведений об обстановке;

связь взаимодействия, устанавливаемая между начальниками подразделений, работающих по тушению пожара для обеспечения единого плана действий.

Для связи на пожаре используются телефоны городской и местной сети, радиостанции пожарных автомобилей, носимые радиостанции, переговорные устройства, полевые телефонные аппараты и связные.

В масштабе города организуется ЦППС, в котором объединяется вся связь пожарной охраны города. При проектировании таких пунктов необходимо руководствоваться рекомендациями Министрства связи и требованиями «Наставления по службе связи пожарной охраны МВД СССР».

Основные требования при проектировании ЦППС города:

1. ЦППС должен, как правило, дислоцироваться в центральной части города и размещаться в отдельных помещениях зданий отрядов пожарной охраны и пожарных частей. Эти помещения должны располагаться не выше второго этажа и находиться в непосредственной близости от помещения дежурного штаба пожаротушения города.

2. ЦППС должен состоять из диспетчерской, аппаратной, центрального радиоузла, аккумуляторной, агрегатной, технической комнаты и комнаты отдыха. Емкость и мощность аппаратуры ЦППС определяется величиной территории города, характером его экономики и количеством частей пожарной охраны города.

3. В диспетчерской размещается телефонная станция и аппаратура учета наличия и расхода технических сил и средств, находящихся в гарнизоне пожарной охраны. Эта аппаратура предназначена для выполнения следующих функций:

приема извещений о пожарах по специальным входящим линиям серии «01»;

обеспечения прямой телефонной связи с пожарными частями, пожарными постами, со службами города, с особо важными и пожароопасными объектами;

осуществления телефонной связи управления пожарной охраны города с местными абонентами, а также через городскую телефонную сеть с любым подразделением пожарной охраны и городским абонентом;

оповещения сотрудников Управления пожарной охраны о выездах на пожары и хода их тушения;



записи на ленту магнитофона переговоров, заявок о пожарах, отдаваемых распоряжений и поступающей с места пожара информации;

учета имеющихся в боевом расчете пожарных частей города пожарных автомобилей, в том числе автомобилей, работающих на пожаре и находящихся в резерве.

Для выполнения этих функций в диспетчерской устанавливается коммутатор диспетчерской связи, учрежденческая автоматическая телефонная станция или коммутатор, пульт диспетчера, светоплан, табло-расписание, магнитофон, телефонные аппараты, громкоговоритель и другое оборудование.

Число соединительных линий определяют исходя из количества жителей в городах, руководствуясь при этом табл. 1.3.

Таблица 1.3

Зависимость числа соединительных линий с ГТС (серии «01») от количества жителей в городах (для ЦППС города и ПСЧ при отсутствии ЦППС)

Количество жителей, тыс. чел.	Число соединительных линий с ГТС серии «01»
До 100	Менее 3
100—500	Менее 7 (или 1 линия на 50 тыс. чел.)
500—1000	Не более 10 (или 1 линия на 75 тыс. чел.)
Свыше 1000	Не более 25 (или 1 линия на 100 тыс. чел.)

4. В аппаратной устанавливается оборудование, входящее в состав телефонной станции (кросс, стивы, испытательные приборы), звукозаписывающая аппаратура, зарядные и распределительные устройства, усилители оповещения, выпрямительные устройства и другая вспомогательная аппаратура.

5. Аккумуляторные батареи, необходимые для питания постоянным током телефонной аппаратуры, радиостанций центрального радиоузла и всего оборудования ЦППС, устанавливаются в отдельном помещении — аккумуляторной.

6. Агрегатные ЦППС располагаются, как правило, в нижнем этаже здания или в отдельном строении. В агрегатных устанавливаются резервные электростанции (бензиновый двигатель, генератор трехфазного переменного тока и другое оборудование).

Пункты связи отрядов, частей и пожарных постов оборудуются по принципу ЦППС, при этом учитывается важность района (или объекта) и характер его экономического развития. В соответствии со своим назначением пункты связи пожарной охраны оборудуются телефонами городской (местной) сети, телефонными коммутаторами для прямой связи с объектами и местной служебной связи, телефонными аппаратами диспетчерской связи, городскими телефонами для служебной связи, радиостанциями для связи с пожарными автомобилями и ЦППС, а также другой аппаратурой связи и сигнализации.

## Глава 2

### КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ О РАДИОТЕХНИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВАХ

---

#### § 2.1. Некоторые вопросы теории передачи информации

В пожарной охране радиосвязь входит в состав диспетчерской связи и в сочетании с другими видами предназначается для обеспечения непрерывности процесса обмена информацией между частями и подразделениями начиная с момента поступления сообщения о пожаре на ЦППС до его полной ликвидации.

Диспетчерская радиосвязь организуется с помощью радиотелефонных станций.

В данной главе кратко излагаются некоторые характеристики отдельных функциональных блоков радиостанций. Вначале рассматриваются принципы радиосвязи, затем основные функциональные блоки, входящие в состав радиопередатчика, и, наконец, основные функциональные блоки, входящие в состав радиоприемника станции.

**Принципы радиосвязи.** Простейшая схема радиосвязи изображена на рис. 2.1. В пункте А сообщение или первичный сигнал,

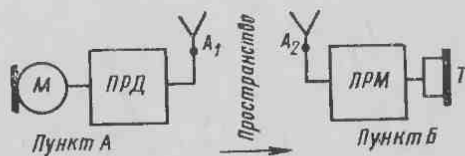


Рис. 2.1. Простейшая схема радиосвязи

например речь, посредством микрофона  $M$  преобразуется в электрический управляющий сигнал, который воздействует на один из параметров высокочастотных электрических колебаний, вырабатываемых передатчиком  $ПРД$ , и вызывает их изменения.

Физический процесс, в результате которого под действием управляющего сигнала изменяется один или несколько параметров высокочастотного колебания, называется модуляцией.

Полученные в передатчике модулированные колебания, называемые вторичным сигналом, с помощью передающей антенны  $A_1$

преобразуются в энергию свободных электромагнитных волн, т. е. в энергию радиоволн.

Распространение радиоволн в пространстве сопровождается рассеянием и поглощением их энергии.

В пункте *Б* часть энергии радиоволн приемной антенной  $A_2$  преобразуется в электрические колебания, которые подаются на радиоприемник *ПРМ*. Кроме них, из радиоприемника поступают посторонние колебания, являющиеся помехами для данного сигнала.

В радиоприемнике происходит отделение полезного сигнала от сигналов-помех. Этот процесс называется селекцией, или фильтрацией, сигнала. Селекция осуществляется лишь в том случае, когда в месте приема имеется превышение сигнала над помехой.

Выделенный сигнал не обладает мощностью, достаточной для приведения в действие громкоговорителя, а заключенная в нем информация не может быть воспринята непосредственно. Поэтому в радиоприемнике осуществляется усиление и преобразование высокочастотных модулированных колебаний в колебания низкой звуковой частоты.

Физический процесс, в результате которого осуществляется преобразование модулированного колебания в сигнал низкой частоты, повторяющий форму управляющего сигнала радиопередатчика, называется детектированием.

С помощью динамического громкоговорителя или телефона *T* электрические колебания звуковой частоты преобразуются в первичный сигнал, т. е. речь.

Таким образом, можно перечислить следующие основные принципы радиосвязи:

- использование высокочастотных колебаний;
- модуляция;
- использование свободных электромагнитных волн;
- использование приемной антенны;
- селекция сигналов;
- усиление;
- детектирование.

Для осуществления беспроводной связи между двумя удаленными друг от друга пунктами необходимо наличие передатчика и приемника радиосигналов, связанных между собой свободными электромагнитными волнами. Комплекс технических средств, обеспечивающий передачу сообщения от источника информации к получателю, называется *каналом радиосвязи* [43].

**Характеристика сигналов и радиоканала.** Поскольку основной задачей радиосвязи в пожарной охране является передача и прием сигналов, то прежде всего необходимо изучить свойства сигналов, а также основные характеристики канала радиосвязи, по которому эти сигналы передаются.

Сигналы, проходящие по радиоканалу, подразделяются на управляющие и модулированные. Характеристика и основные свой-

ства управляющего сигнала изложены выше, поэтому рассмотрим характеристики вторичного сигнала.

В отличие от гармонического (синусоидального) колебания модулированные сигналы являются сложными колебаниями. При прохождении через различные устройства, технически реализующие основные принципы радиосвязи, модулированный сигнал претерпевает изменения, а заключенная в нем информация может искажаться. Чтобы определить оптимальные условия передачи, процесс прохождения сигнала по каналу связи моделируют и производят анализ с помощью математического аппарата. При этом сложные сигналы представляют в виде суммы простых гармонических колебаний. Например, пусть математическое выражение для сложного сигнала будет иметь вид:

$$u(t) = U_m \cos\left(\int_0^t \omega dt\right). \quad (2.1)$$

Тогда математическое выражение для того же сигнала, но представленного в виде суммы простейших колебаний, будет

$$u(t) = U_m \sum_{n=-\infty}^{n=+\infty} U_n(\varphi_1) \cos(\omega_1 + n\Omega)t. \quad (2.2)$$

Как видно из выражения (2.2), сложный сигнал представлен в виде суммы простейших колебаний. Частота первого колебания равна  $f_1 = \omega_1/2\pi$  при  $n=0$ . Частоты всех последующих колебаний отличны от первого на величину, кратную частоте управляющего сигнала  $\Omega/2\pi$ , т. е.  $\omega_n/2\pi = (\omega_1 + n\Omega)/2\pi$  при  $n = \pm 1; \pm 2 \dots$  Амплитуда каждого последующего колебания ( $U_{mn}$ ), как правило, уменьшается с увеличением номера  $n$ .

Рассмотрим целесообразность такой замены на следующем примере. Пусть на вход радиотехнического устройства поступает сигнал вида (2.1), а на выходе регистрируется простое гармоническое колебание с частотой  $f_1 = \omega_1/2\pi$ . Непосредственное сравнение этих колебаний затруднительно. Однако, если сигнал вида (2.1) представить в виде (2.2) и вновь сравнить, то с уверенностью можно сказать, что устройство не пропускает сигналы с частотами, кратными частотам управляющего сигнала. Это значит, что информация, заключенная в колебаниях, содержащих частоту управляющего сигнала, полностью теряется в данном устройстве и ставить его в цепь прохождения полезного сигнала нельзя.

Такой анализ сигналов, основанный на представлении сложного сигнала в виде суммы простых гармонических колебаний, получил название *спектрального анализа*, а совокупность гармонических колебаний, образующих в сумме сложный сигнал, — спектра этого сигнала.

Каждая спектральная составляющая характеризуется амплитудой, частотой и начальной фазой. Графически спектр сигнала

изображают в виде вертикальных линий, располагаемых на горизонтальной оси  $\omega$ . Высота линии характеризует амплитуду гармоники, а ее положение — частоту или начальную фазу (линия проведена вверх или вниз). В качестве примера на рис. 2.2 изображен спектр последовательности прямоугольных импульсов.

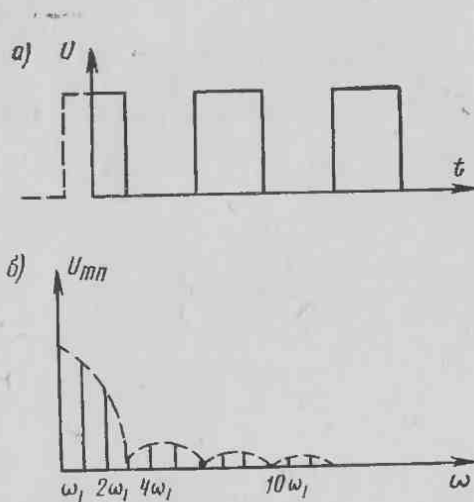


Рис. 2.2. Графическое изображение последовательности прямоугольных импульсов

а—форма импульсов; б—график спектра

Сигнал включает в себе определенную величину энергии. Очевидно, что при спектральном разложении эта энергия будет распределена между составляющими сигнала и, чем больше амплитуда составляющей, тем большая часть энергии сигнала будет заключена в ней. Составляющие сигнала, имеющие очень малые амплитуды по сравнению с амплитудой несущего колебания, существенно не влияют на точность воспроизведения информации и поэтому их не учитывают.

Интервал частот, в котором сосредоточена подавляющая часть (90—95%) энергии сигнала, называется *шириной спектра*.

Подробное спектральное описание сигнала не всегда бывает необходимым. Так, при проверке возможности передачи сообщения из пункта А в пункт Б (см. рис. 2.1) достаточно сравнения наиболее общих характеристик сигнала и канала связи. Такими характеристиками являются следующие.

#### а) Параметры сигнала связи

1. Ширина спектра  $F_c$ . В служебных линиях радиосвязи, используемых в пожарной охране, ширину спектра управляющего сигнала искусственно ограничивают до ширины, обеспечивающей

разборчивость речи и узнаваемость корреспондента. Ширина спектра вторичного сигнала зависит от вида модуляции, примененной в данном радиопередающем устройстве, и совершенства его конструкции. Как правило, эту величину стремятся ограничить с тем, чтобы в том же интервале отведенных для радиосвязи частот работало большее число каналов связи.

2. Превышение сигнала над помехой  $H_c$ . Важность данного параметра проследим на следующем простом примере. Предположим, что на вход радиоприемника воздействуют полезный сигнал, имеющий среднюю мощность  $P_c$ , и помеха, средняя мощность которой равна  $P_n$ . Величину входного сопротивления приемника для удобства сравнения примем равной  $1 \text{ ом}$ . Тогда амплитуда принимаемого сигнала будет равна  $\sqrt{P_n + P_c}$ , а амплитуда помехи  $\sqrt{P_n}$ . Если изменения сигнала будут меньше, чем  $\sqrt{P_n}$ , то радиоприемник не сможет различить эти изменения на фоне действия помех и полезная информация будет утеряна. Иногда превышение сигнала над помехой называют уровнем сигнала над помехой и определяют из выражения 2.3:

$$H_c = 20 \lg \frac{\sqrt{P_c}}{\sqrt{P_n}} = 10 \lg \frac{P_c}{P_n}, \text{ дб.} \quad (2.3)$$

3. Длительность сигнала  $T_c$ . Длительность сигнала является одной из важнейших его характеристик. Так, именно на различии в длительности полезного сигнала и грозового разряда (помехи) в первом радиоприемнике А. С. Попова была осуществлена селекция сигналов. Во многих радиостанциях, используемых в пожарной охране, их автоматический перевод из одного режима в другой осуществляется за счет различия в длительности сигнала и помехи.

Произведение трех основных характеристик сигнала связи называется *динамическим диапазоном*, или *объемом сигнала*  $V_c$

$$V_c = F_k H_c T_c. \quad (2.4)$$

#### б) Параметры канала связи

1. Полоса пропускания  $F_k$ , т. е. полоса частот электрических колебаний, пропускаемых каналом без значительных искажений.

2. Диапазон уровней  $H_k = 10 \lg \frac{P_\Sigma}{P_c}$ , дб (где  $P_\Sigma$  — излученная мощность, вт;  $P_c$  — мощность сигнала, еще регистрируемая приемником, вт).

3. Время действия канала  $T_k$  — время, в течение которого через канал передается информация. Произведение трех основных характеристик канала связи называется емкостью канала  $V_k$ , т. е.

$$V_k = F_k H_k T_k. \quad (2.5)$$

Подводя итог, можно отметить: полезная информация, передаваемая по каналу связи (см. рис. 2.1), не будет потеряна или искажена только в том случае, когда значения основных характеристик канала связи будут равны или несколько превышать соответствующие значения характеристик передаваемого сигнала.

$$V_k \geq V_c.$$

## § 2.2. Радиопередающие устройства

Современные радиопередающие устройства, используемые в пожарной охране, являются достаточно сложными конструкциями, надежность работы которых во многом определяет оперативность и слаженность действий частей при тушении пожара.

В пожарной охране радиопередающие устройства принято разделять на стационарные, возимые и носимые. Однако вне зависимости от такого деления в каждом радиопередающем устройстве должны быть реализованы следующие принципы радиосвязи: создание высокочастотных колебаний, усиление, модуляция и излучение радиоволн. В соответствии с этим на рис. 2.3 изображена структурная схема радиопередающего устройства.

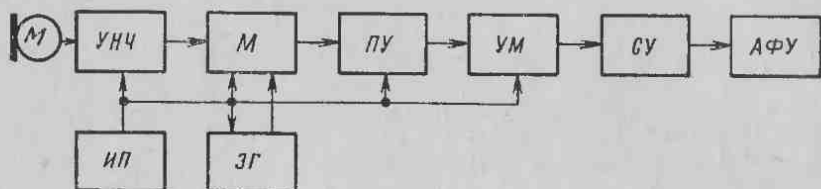


Рис. 2.3. Структурная схема радиопередающего устройства

На входе радиопередатчика установлен микрофон, который является преобразователем звуковых колебаний, т. е. первичного сигнала в электрический управляющий сигнал. Этот сигнал вначале усиливается с помощью усилителя низкой частоты *УНЧ*, а затем передается в модуляционное устройство *М*.

Усиление осуществляется за счет энергии источника питания *ИП* и выражается в увеличении мощности сигнала при сохранении его формы.

В модуляционном устройстве высокочастотные электрические колебания, создаваемые задающим генератором *ЗГ*, под воздействием управляющего сигнала изменяют один из параметров: амплитуду, частоту или фазу. Дальнейшее их усиление осуществляется с помощью предварительного усилителя *ПУ* и усилителя мощности *УМ*.

В процессе модуляции и последующего усиления возникают побочные или так называемые паразитные колебания, излучение ко-

торых может привести к нарушению нормальной работы других радиоканалов. Для их подавления на выходе усилителя мощности устанавливается селективное устройство СУ, которое выполняет роль фильтра, пропуская только полезный сигнал в антенно-фидерное устройство АФУ, где энергия сигнала преобразуется в энергию радиоволн.

По конструктивному оформлению установленные в пункте связи радиопередатчики отличаются от радиопередатчиков, установленных на автомобилях или на боевых участках.

Основными параметрами радиопередающего устройства являются:

- 1) мощность сигнала на выходе радиопередатчика;
- 2) диапазон рабочих волн (или частот);
- 3) стабильность (неизменность) частоты;
- 4) величина искажений, вносимых в передаваемые сообщения;
- 5) коэффициент полезного действия.

Первые два параметра являются определяющими, так как от их значений зависят размеры конструкции и количество органов настройки и управления. Как правило, применяемые в пожарной охране стационарные радиопередатчики имеют мощность радиосигнала 10—60 вт, а носимые или устанавливаемые на автомобилях — от долей ватта до 10 вт. Работа таких радиопередатчиков осуществляется на жестко фиксированных волнах (частотах) с возможностью быстрого перехода на другое значение волны (частоты). Необходимость быстрой смены рабочей волны радиопередатчика определяется спецификой работы пожарных подразделений и тактическими особенностями построения радиосетей.

Высокое значение стабильности частоты излучаемых колебаний обусловлено тем, что в пределах города или защищаемой территории функционируют другие службы помощи, использующие смежные радиоканалы, поэтому уход частоты от заданного значения приводит к возникновению помех в этих каналах и частичной или полной потере информации в данном канале связи.

Допускаемая нестабильность современного радиопередающего устройства имеет порядок не хуже  $\frac{\Delta f}{f} = \pm 10 \cdot 10^{-6}$  от номинального значения частоты колебаний.

Проиллюстрируем эти цифры на следующем примере. Пусть радиопередатчик работает на частоте 150 Мгц, радиосигнал имеет ширину спектра  $F_c = 30\,000$  гц и полосу пропускания канала  $F_x = 50\,000$  гц. Тогда отклонение частоты от номинального значения составит  $\Delta f = 150 \cdot 10^6 \cdot 10 \cdot 10^{-6} = 1500$  гц. Очевидно, что данный уход частоты колебаний не окажет существенного влияния на качество передачи и не приведет к появлению помех в соседнем канале связи.

Величина искажений, вносимых радиопередатчиком в передаваемое сообщение при отсутствии помех, является его качественной



характеристикой. *Искажением* называется изменение формы сигнала. Основными видами искажений являются частотные, фазовые и нелинейные.

Частотные искажения связаны с неодинаковым усилением, а фазовые с неодинаковым сдвигом во времени гармонических составляющих сигнала.

Нелинейные искажения обусловлены нелинейностью характеристик отдельных элементов радиопередатчика (электронные лампы, транзисторы и т. п.) и проявляются в виде дополнительных частот колебаний, не присущих данному сигналу.

Все виды искажений оцениваются значениями соответствующих коэффициентов. Увеличение этих значений свыше допустимого приводит к ухудшению разборчивости речи на приемной стороне канала связи, а иногда и к полной потере информации.

Коэффициент полезного действия (к. п. д.) радиопередатчика является параметром, характеризующим его экономичность. Он определяется как отношение максимальной мощности колебаний в антенне при непрерывном излучении к мощности, потребляемой радиопередатчиком от источника питания.

Большинство радиопередающих устройств, применяемых в пожарной охране, в качестве первичного источника питания используют аккумуляторы, запас энергии которых ограничен, а к. п. д. имеет значение 12—15%. Это обуславливает ряд требований, предъявляемых к передаче сообщений (подробно эти требования рассматриваются в последующих главах учебника).

Перечисленные параметры характеризуют в основном технические свойства радиопередатчиков, параметры же, характеризующие тактическую сторону, рассматриваются одновременно с характеристикой конкретных радиостанций.

Рассмотрим работу и построение электрических схем отдельных блоков радиопередающего устройства более подробно.

**Задающим генератором** называется устройство, предназначенное для возбуждения электрических колебаний высокой частоты.

Схема задающего генератора (рис. 2.4) состоит из колебательного контура (катушки индуктивности  $L_k$  и конденсатора  $C_k$ ), усилительного элемента (транзистора  $T$ ), элементов цепи положительной обратной связи (катушки связи  $L_{св}$  и конденсатора  $C_1$ ) и источника постоянного тока  $E_k$ . Назначение элементов  $R_1$  и  $C_2$  будет объяснено ниже.

В колебательном контуре всегда существуют слабые электрические колебания, обусловленные тепловым движением электронов и воздействием внешних электромагнитных полей. За счет взаимной индукции между катушкой связи и катушкой контура, на переходе база — эмиттер транзистора, создается определенное падение напряжения, вызывающее изменения коллекторного тока транзистора. Если эти изменения приводят к увеличению амплитуды колебаний в контуре, то в нем устанавливаются незатухающие электрические колебания высокой частоты.

Действие усилительного элемента в данной схеме можно рассматривать двояким образом.

1. Транзистор выполняет роль быстродействующего электронного ключа, регулирующего подачу энергии в контур от источника постоянного тока.

2. Транзистор выполняет роль отрицательного сопротивления, компенсирующего сопротивление потерь контура.

На рис. 2.5 изображена упрощенная схема задающего генератора, поясняющая процесс возбуждения высокочастотных колебаний для случая, когда транзистор выполняет роль электронного ключа. Замыкание ключа происходит в момент времени, совпадающий с началом разряда конденсатора, при полярности зарядов на его обкладках, указанной на схеме.

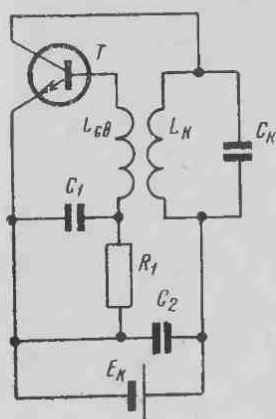


Рис. 2.4. Схема задающего генератора

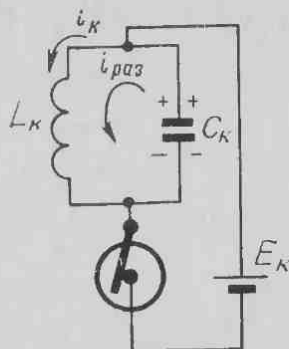


Рис. 2.5. Упрощенная схема генератора

Ток от источника  $E_к$  протекает через катушку контура, при этом его направление совпадает с направлением тока разряда конденсатора, что приводит к увеличению магнитного поля катушки и переносу части энергии источника  $E_к$  в контур. После окончания разряда конденсатора ( $t = T/4$ ) ключ начинает размыкаться, его переходное сопротивление возрастает (рис. 2.6), а значение тока источника  $E_к$  уменьшается. Энергия магнитного поля катушки переходит в электрическую, происходит процесс заряда конденсатора, однако полярность его обкладок будет противоположна первоначальной. В момент времени, совпадающий с окончанием заряда конденсатора ( $t = T/2$ ), ключ полностью размыкается. Затем происходит процесс перезаряда конденсатора, после которого ключ вновь замыкается ( $t = T$ ), и весь цикл повторяется. С каждым новым циклом амплитуда колебаний в контуре возрастает и через некоторое время, называемое временем переходного процесса, достигает

максимального значения. Величина энергии, поступающей в контур от источника  $E_k$ , будет равна величине энергии, теряемой в нем. Графики изменения тока в контуре и внешней цепи источника постоянного тока изображены на рис. 2.6. Замыкание и размыкание (управление) электронного ключа происходит под действием цепи обратной связи с частотой, равной частоте колебаний в контуре.

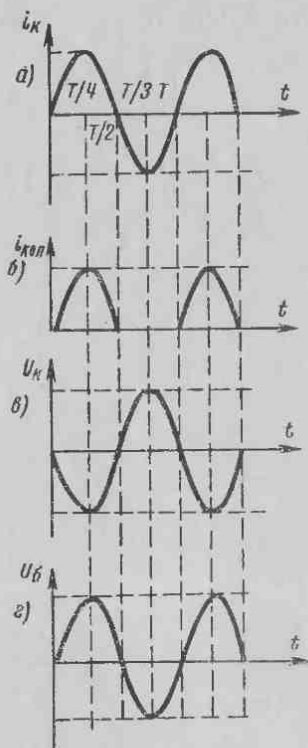


Рис. 2.6. Графики изменения токов и напряжений в основных цепях задающего генератора  
 а — ток в контуре  $i_k$ ; б — ток коллектора  $i_{кол}$ ; в — напряжение на контуре  $U_k$ ; г — напряжение на базе  $U_б$

Возвращаясь к рассмотрению схемы задающего генератора (см. рис. 2.4) с учетом изложенного выше, отметим:

1. Управляющее напряжение, снимаемое с колебательного контура, по цепи обратной связи ( $L_{св}$ ,  $C_1$ ) передается на переход транзистора база — эмиттер. Открытие транзистора осуществляется при положительной полярности, закрытие — отрицательной. Напряжение и ток управляющих колебаний ( $U_б$ ,  $I_б$ ) совпадают по фазе, но отличаются от фазы напряжения, действующего на контуре  $U_k$ , на  $180^\circ$ . Противофазность напряжения  $U_k$  и  $U_б$  является первым условием возбуждения генератора.

2. Наличие в цепи обратной связи резистора  $R_1$  способствует стабилизации амплитуды генерируемых колебаний. При возраста-

нии амплитуды колебаний в контуре выше некоторого среднего значения возрастает ток, протекающий по  $R_1$ , и увеличивается падение напряжения. Это приводит к увеличению сопротивления перехода коллектор — эмиттер (внутреннего сопротивления электронного ключа) и уменьшению величины энергии, поступающей в контур от источника  $E_k$ . Амплитуда колебания в контуре снижается.

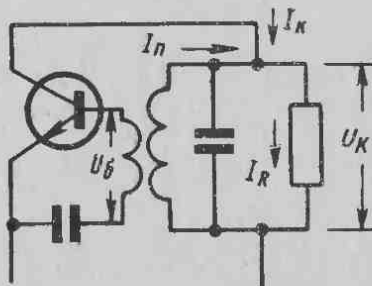
При уменьшении амплитуды колебаний в контуре ниже среднего значения уменьшаются падение напряжения на  $R_1$  и сопротивление перехода коллектор — эмиттер, что приводит к возрастанию величины энергии, поступающей в контур от источника  $E_k$ , и увеличению амплитуды колебаний в нем.

В период установления колебаний в контуре величина поступающей в него электрической энергии превышает величину электрической энергии, теряемой в контуре. По окончании переходного процесса (амплитуда достигла среднего значения) эти величины будут равны, что является вторым условием возбуждения генератора.

3. В коллекторной цепи генератора ток имеет сложную форму ( $i_{кол}$  на рис. 2.6) и в соответствии с положениями, изложенными в предыдущем параграфе, его можно представить в виде суммы простых гармонических колебаний, значения частот которых кратны значению частоты колебаний в контуре ( $\omega_1, 2\omega_1, 3\omega_1$ ). Это свойство задающего генератора используют для получения колебаний с более высокими значениями частоты.

Для пояснения действия транзистора как отрицательного сопротивления, вносимого в колебательный контур, рассмотрим часть схемы генератора, в которой все виды потерь приведены к потерям внутри активного сопротивления  $R$ . На рис. 2.7 изображе-

Рис. 2.7. Часть схемы задающего генератора с резистором потерь



на часть схемы — точка присоединения коллекторной цепи транзистора к колебательному контуру (все остальные элементы аналогичны рис. 2.4). На этой схеме  $U_k$  — напряжение, действующее на контуре;  $U_б$  — входное напряжение транзистора;  $I_R$  — ток, протекающий через резистор  $R$ ;  $I_n$  — ток потерь контура.

Пусть в контуре существуют высокочастотные колебания. Тогда часть тока контура будет протекать через резистор  $R$ , сопротив-

ление которого эквивалентно потерям. Очевидно, что колебания станут незатухающими, если значение тока потерь будет равно нулю. Решая уравнение (по первому закону Кирхгофа), составленное для верхней точки контура, имеем

$$\begin{aligned} I_{\Pi} &= I_R - I_{\kappa} = U_{\kappa}(1/R - kS) = 0; \\ I_R &= U_{\kappa}/R; \quad k = U_6/U_{\kappa}, \quad I_{\kappa} = U_6S; \\ kSR &= 1, \end{aligned} \quad (2.6)$$

где  $k$  — коэффициент передачи цепи обратной связи;

$S$  — крутизна характеристики транзистора,  $ma/v$ .

Отсюда видно, что действие транзистора эквивалентно внесению в контур отрицательного сопротивления. При коэффициенте передачи цепи обратной связи, равном  $1/SR$ , это отрицательное сопротивление будет полностью компенсировать сопротивление потерь, и высокочастотные колебания, существовавшие в контуре генератора, станут незатухающими.

В связи с тем, что в цепях генератора протекают переменные токи, уравнение (2.6) может быть записано в более строгой форме:

$$kSR e^{j(\varphi_S + \varphi_R + \varphi_{\kappa})} = 1.$$

Данное уравнение выражает условия равновесия, т. е. условия длительного существования электрических колебаний в контуре генератора. Оно может быть представлено двумя скалярными уравнениями. Одно из них (2.6), называемое *уравнением баланса амплитуд*, физически означает что усилительный элемент отбирает от источника постоянного тока и посылает в контур за время одного периода  $T$  такую величину энергии, которая равна величине потерь. Второе, называемое *уравнением баланса фаз*, имеет вид:

$$\varphi_S + \varphi_R + \varphi_{\kappa} = 2\pi n. \quad (2.7)$$

Уравнение (2.7) означает, что при последовательном обходе цепей генератора (с выхода усилительного элемента через контур и цепь обратной связи на вход усилительного элемента) сдвиг между фазой коллекторного тока и фазой управляющего напряжения равен  $360^\circ$ . Следовательно, при увеличении падения напряжения на переходе база — эмиттер транзистора коллекторный ток возрастает, а при уменьшении — снижается. Это — необходимое условие существования положительной обратной связи.

Значение частоты электрических колебаний контура определяется по формуле Томсона:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}, \quad (2.8)$$

где  $f_0$  — резонансная частота электрических колебаний,  $гц$ ;

$L$  — индуктивность катушки контура,  $гн$ ;

$C$  — емкость конденсатора контура,  $ф$ .

При определении условий возбуждения генератора во всех рассмотренных схемах делались определенные упрощения. Например, в схеме, изображенной на рис. 2.5, транзистор рассматривался только как регулятор тока, протекающего по катушке контура, хотя его можно было бы представить и как регулятор величины заряда конденсатора контура. В схеме, изображенной на рис. 2.7, потери контура были сведены только к потерям внутри параллельно включенного резистора  $R$ .

Тем не менее сделанные допущения позволяют с достаточной для практических целей полнотой пояснить сущность физических процессов, протекающих в основных цепях задающего генератора, и не оказывают существенного влияния на правильность сделанных выводов. Такой прием, основанный на некотором упрощении физики процесса, будет применяться и в дальнейшем.

На рис. 2.8 и 2.9 изображены типичные схемы задающих генераторов с автотрансформаторной и емкостной связью между выходом и входом транзистора.

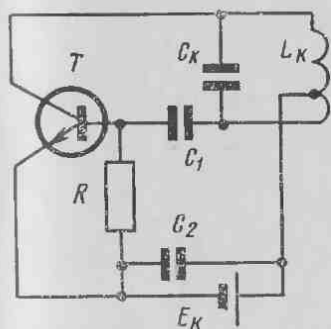


Рис. 2.8. Схема задающего генератора с автотрансформаторной связью

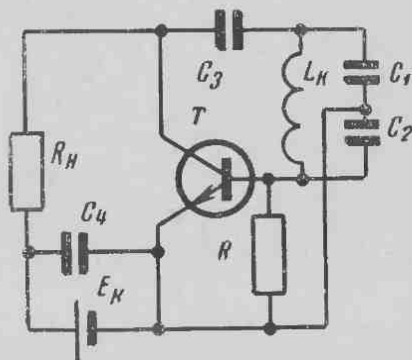


Рис. 2.9. Схема задающего генератора с емкостной связью

В схеме рис. 2.8 напряжение на базу транзистора подается при помощи отвода от части витков катушки контура. Верхняя часть витков катушки через конденсатор  $C_2$  подключена к эмиттеру, а нижняя — через конденсатор  $C_1$  к базе транзистора  $T$ . Такое включение обеспечивает противофазность  $U_6$  по отношению к  $U_K$ . Конденсаторы  $C_1$  и  $C_2$  служат для разделения цепи коллектора от цепи базы транзистора по постоянному току.

В схеме рис. 2.9 часть напряжения контура подается в цепь базы транзистора не с катушки индуктивности, а с делителя напряжения, образованного конденсаторами  $C_1$  и  $C_2$ . Колебательный контур при помощи конденсаторов  $C_3$  и  $C_1$  включен параллельно

транзистору  $T$ . Напряжение питания на усилительный элемент подается от источника  $E_k$  через резистор  $R_H$ . При работе генератора переменная составляющая коллекторного тока транзистора через разделительный конденсатор  $C_3$  поступает в колебательный контур, поддерживая амплитуду возникших в нем колебаний на определенном уровне. В данной схеме транзистор по отношению к контуру выполняет роль генератора переменного тока, частота колебаний которого, как и в предыдущих схемах, определяется параметрами контура.

**Стабилизация частоты задающего генератора.** В радиостанциях ближней связи беспоскоковое вхождение в связь и бесподстроечное ведение связи можно выполнить лишь при условии высокого постоянства (стабильности) частоты колебаний, получаемых в задающем генераторе. Однако на значения частоты колебаний оказывают влияние нестабильные элементы колебательного контура, внешние нагрузочные цепи и нестабильность параметров усилительного элемента. Нестабильность этих элементов объясняется следующими факторами.

1. При воздействии на элементы схемы генератора изменяющейся температуры изменяются в частности линейные и объемные размеры катушки индуктивности и конденсатора контура, а следовательно, и значения их параметров, что в соответствии с условием (2.8) приводит к изменению значения частоты колебаний.

2. Усилительный элемент генератора работает в режиме объемного заряда, емкость которого входит в общую емкость контура. При колебании питающих напряжений изменяется объемный заряд, что приводит к изменению значения частоты колебаний.

3. При подсоединении к генератору внешних цепей нестабильные элементы этой цепи также влияют на значение параметров контура.

Существует несколько способов стабилизации частоты колебаний.

**Параметрическая стабилизация.** Сущность этого способа заключается в стабилизации основных параметров контура.

В колебательный контур дополнительно включают компенсационный конденсатор, температурные изменения емкости которого противоположны изменениям емкости конденсатора контура. Величину емкости этого конденсатора подбирают с таким расчетом, чтобы ее изменения компенсировали изменения частоты колебаний из-за влияния температуры на другие элементы контура. В отдельных случаях, чтобы уменьшить влияние внешней среды, контур помещают в термостат-камеру с точно стабилизированной температурой.

При кварцевой стабилизации в схему задающего генератора включают пластинку кристалла кварца (горного хрусталя), обладающую сильно выраженным пьезоэффектом.

На рис. 2.10 изображена схема задающего генератора (или кварцевого резонатора), в которой пластинка кварца, помещенная между обкладками кварцедержателя (конденсатора), включена в цепь положительной обратной связи. При работе генератора напряжение с колебательного контура через разделительный конденсатор  $C$  подается на обкладки кварцедержателя, и пластинка начинает совершать механические колебания. Если частота подаваемых на кварц электрических колебаний совпадает с частотой механических колебаний пластинки, то амплитуда последних резко увеличивается. Вследствие прямого пьезоэффекта одновременно на обкладках кварцедержателя создается переменное напряжение, ам-

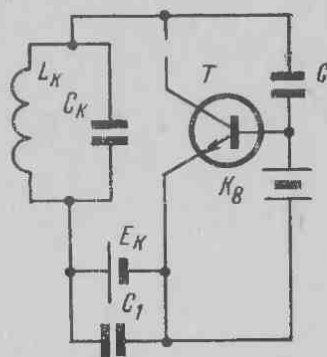


Рис. 2.10. Схема кварцевого резонатора

плитуда которого в несколько раз превышает амплитуду напряжения, поступающего с контура. С обкладок кварцедержателя напряжение подается на переход база — эмиттер транзистора, и дальнейший ход процесса возбуждения электрических колебаний в контуре аналогичен процессам, протекающим в ранее рассмотренных схемах генераторов. Обладая высокой механической прочностью и малыми значениями коэффициентов линейного и объемного расширения, кварцевая пластинка очень слабо изменяет свои размеры при значительных изменениях температуры окружающей среды. Это обуславливает высокую стабильность механических колебаний, а следовательно, и стабильность частоты переменного напряжения, возникающего на ее обкладках. Таким образом, при включении кварца в цепь положительной обратной связи осуществляется стабилизация частоты управляющего напряжения и осуществляется стабилизация частоты колебаний в контуре задающего генератора. Значение собственной резонансной частоты механических колебаний кварцевой пластинки зависит от ее толщины и места выреза из кристалла кварца. Для частот выше  $10 \text{ МГц}$  толщина пластинки примерно равна  $0,3 \text{ мм}$  и ее дальнейшее уменьшение приведет к механическому разрушению во время работы.



Радиостанции ближней связи излучают частоты от 140 Мгц и выше. Для стабилизации таких частот практически невозможно изготовить прочные кварцевые пластинки. Задающий генератор этих радиостанций строят на более низкие частоты, а для увеличения значения частоты колебаний применяют специальные каскады, называемые умножителями.

**Многоконтурные генераторы.** Сущность этого способа заключается в разделении функций стабилизации частоты и отбора мощности от задающего генератора между двумя и более контурами. Иначе говоря, разделяют внешние нагрузочные цепи от основного контура генератора.

На рис. 2.11 изображена двухконтурная схема генератора. Первый контур определяет частоту генератора и, как правило, помещается в термостат, и защищается экраном от второго контура.

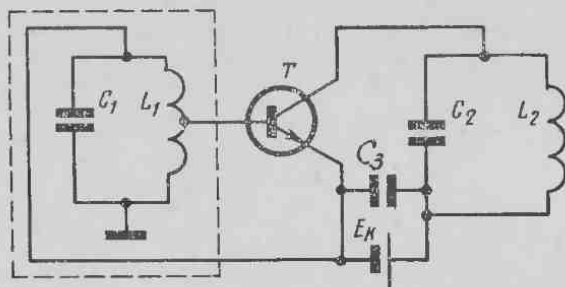


Рис. 2.11. Двухконтурная схема задающего генератора

Особенностью таких генераторов является возможность выделения во втором контуре более высоких частот (как правило, второй или третьей гармоники основной частоты).

**Автоматическая подстройка частоты (АПЧ).** Сущность АПЧ заключается в сравнении частоты колебаний задающего и эталонного генераторов. На рис. 2.12 приведена структурная схема АПЧ.

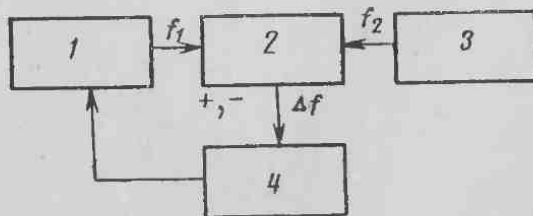


Рис. 2.12. Структурная схема АПЧ  
1—задающий генератор; 2—схема сравнения; 3—эталонный генератор; 4—управляющее устройство

В случае несовпадения частот колебаний задающего и эталонного генераторов на выходе схемы сравнения появляется сигнал

шибки. В зависимости от знака и величины сигнала ошибки управляющее устройство изменяет частоту колебаний задающего генератора таким образом, что ее новое значение соответствует частоте колебаний эталонного генератора. На выходе схемы сравнения сигнала ошибки нет.

**Промежуточные и оконечные каскады передатчика.** Для увеличения частоты и мощности высокочастотных колебаний, вырабатываемых задающим генератором, служат промежуточные каскады радиопередатчика, представляющие собой генераторы с внешним возбуждением, в которых не происходит самовозбуждения электрических колебаний. На рис. 2.13 изображена распростра-

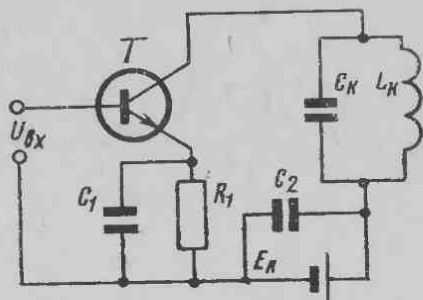


Рис. 2.13. Схема генератора с внешним возбуждением

ненная схема генератора. Высокочастотные колебания поступают на управляющий электрод усилительного элемента не по цепи обратной связи, а подаются от постороннего источника, например от задающего генератора или предыдущего каскада. Такие генераторы строятся по однотипным схемам, но отличаются режимами работы усилительного элемента и значениями резонансных частот нагрузочного контура.

Режим работы усилительного элемента зависит от назначения каскада. Так, первый генератор, устанавливаемый сразу за задающим генератором, должен иметь минимальную мощность возбуждения. Это обусловлено тем, что данный каскад по отношению к предыдущему является нагрузочным и, следовательно, его нестабильные параметры будут влиять на параметры контура задающего генератора. Иногда такой генератор называют буферным. Особенностью его являются малые токи в цепи управляющего электрода, а значит и слабая связь с контуром предыдущего каскада.

Последующие генераторы, как правило, предназначаются для умножения частоты.

Схема умножителя по графическому изображению практически не отличается от схемы буферного каскада. Однако режим работы усилительного элемента в умножителе выбирают с таким расчетом,

чтобы в колебательном контуре выделялась максимальная мощность соответствующей гармоники тока. Контур умножителя настраивают на частоту данной гармоники.

В схеме рис. 2.13 величина резистора  $R_1$ , включенного в цепь эмиттера транзистора, определяет режим работы каскада. Ток эмиттера создает на  $R_1$  падение напряжения, которое через катушку связи с предыдущим каскадом подается на переход база—эмиттер данного транзистора и определяет форму тока в коллекторной цепи. На рис. 2.14 изображены зависимость тока коллекто-

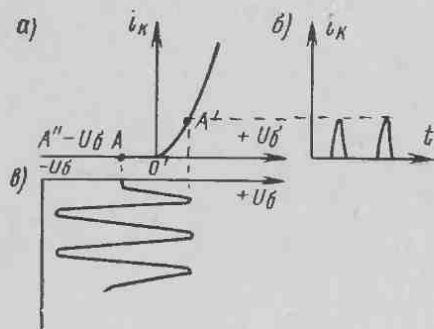


Рис. 2.14. Форма тока и напряжения в цепях умножителя

*a* — характеристика транзистора; *б* — форма тока коллектора; *в* — форма напряжения на базе транзистора

ра от значения напряжения на переходе база—эмиттер и график изменения управляющего напряжения, подаваемого с предыдущего каскада. Очевидно, что при увеличении значения сопротивления резистора  $R_1$  рабочая точка  $A$  транзистора будет сдвигаться влево и все более искажать форму импульса коллекторной цепи по сравнению с формой напряжения, подаваемого на переход база—эмиттер транзистора. Подбирая величину сопротивления резистора  $R_1$ , можно получить в коллекторной цепи преобладающее влияние второй или третьей гармонической составляющей тока. Генератор будет работать как умножитель частоты колебаний.

Уменьшая величину сопротивления  $R_1$  или подавая на базу  $T$  напряжения от источника  $E_k$  через дополнительный резистор, можно сдвинуть рабочую точку транзистора в область линейного изменения коллекторного тока и получить форму, близкую к форме напряжения, подаваемого на переход база—эмиттер от предыдущего каскада. В этом случае генератор будет работать как усилитель высокочастотных колебаний. Конденсаторы  $C_1$  и  $C_2$  предназначены для того, чтобы переменная составляющая тока эмиттера не создавала падения напряжения на  $R_1$  и внутреннем сопротивлении источника  $E_k$ .

Оконечными каскадами радиопередатчика являются усилители напряжения и мощности. Первые предназначены для повышения амплитуды напряжения до величины, обеспечивающей нормальную работу усилителя мощности, последние усиливают мощность высокочастотных колебаний.

В связи с тем, что усилители мощности являются основными потребителями энергии, их основным параметром является коэффициент полезного действия. Кроме того, к ним предъявляется требование по подавлению высших гармонических составляющих сигнала. Реализация данного требования приводит к усложнению оконечной ступени радиопередатчика и выражается в применении дополнительного колебательного контура, называемого антенным.

На рис. 2.15 изображена схема антенного контура. Подавление колебаний с частотами, лежащими вне ширины отведенного спектра частот для данного вида радиосигнала, осуществляется за счет резонансных свойств колебательного контура. Более подробно эта характеристика колебательного контура будет дана в следующем параграфе.

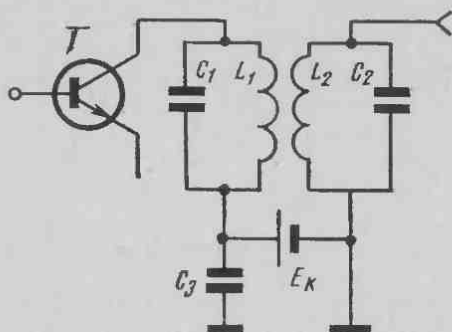


Рис. 2.15. Схема антенного контура (фильтра)

**Управление высокочастотными колебаниями (модуляция).** Для осуществления передачи информации по радиоканалу необходимо производить модуляцию колебаний, т. е. изменять один из параметров высокочастотного колебания таким образом, чтобы это изменение точно соответствовало управляющему сигналу и его было бы возможно восстановить на приемной стороне.

Получаемые с помощью генераторов высокочастотные колебания однозначно характеризуются тремя параметрами: амплитудой напряжения  $U_{mo}$ , круговой частотой  $\omega_0 = 2\pi f_0$  и начальной фазой  $\varphi_0$ . Эти параметры имеют постоянные для данного колебания значения. При модуляции колебаний вместо постоянных будут получаться изменяющиеся во времени пропорционально величине управляющего сигнала параметры:  $U_m(t)$ ,  $\omega(t)$  и  $\varphi(t)$ .

В зависимости от изменяющегося параметра различают амплитудную, частотную и фазовую модуляции.

В радиопередатчике модуляция осуществляется с помощью специального устройства — модулятора.

При амплитудной модуляции пропорционально напряжению управляющего сигнала с течением времени изменяется амплитуда колебаний.

На рис. 2.16 изображена типичная схема амплитудного модулятора. На переход база — эмиттер транзистора  $T_1$  подаются три различных напряжения.

1. Постоянное напряжение от источника  $E_6$  (подается через вторичную обмотку трансформатора  $Tr_1$  и катушку связи  $L_{св}$ ).

2. Управляющее напряжение низкой частоты (управляющий сигнал) от вторичной обмотки микрофонного трансформатора  $Tr_1$  (подается через катушку связи  $L_{св}$  и конденсатор  $C_2$ ).

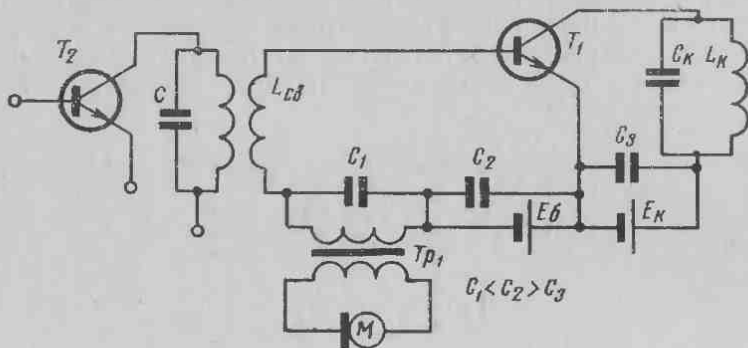


Рис. 2.16. Схема амплитудного модулятора

3. Переменное напряжение высокой частоты от катушки связи  $L_{св}$ , индуктивно связанной с колебательным контуром предыдущего каскада (например, генератора, работающего в режиме усиления колебаний высокой частоты). Это напряжение подается через конденсаторы  $C_1$  и  $C_2$ .

В коллекторную цепь транзистора включен колебательный контур  $L_к C_к$ . На переход коллектор — эмиттер транзистора через катушку контура  $L_к$  подается постоянное напряжение от источника  $E_к$ . Конденсаторы  $C_1$ ,  $C_2$  и  $C_3$  необходимы для того, чтобы переменные токи, протекающие в цепях модулятора, не создавали падения напряжения на индуктивном сопротивлении вторичной обмотки трансформатора  $Tr_1$  и внутренних сопротивлениях источников  $E_6$  и  $E_к$ . Значение напряжения источника  $E_6$  выбирают с таким расчетом, чтобы рабочая точка находилась в начале участка характеристики транзистора, как это показано на рис. 2.17, а.

Пусть на модулятор поступает только напряжение высокой частоты. Тогда при подаче постоянных напряжений модулятор будет работать как генератор, находящийся в режиме усиления колебаний высокой частоты. В этом случае амплитуда импульсов тока в цепи коллектора будет постоянна (рис. 2.17, б).

При включении микрофона (все остальные напряжения также поданы на модулятор) во вторичной обмотке трансформатора  $Tr_1$  будет индуцироваться э. д. с., которая для некоторого момента времени будет направлена навстречу э. д. с. источника  $E_6$  или эти

направления будут совпадать. При совпадении направления э. д. с. обмотки с направлением э. д. с. источника рабочая точка транзистора сместится по характеристике вправо, что приведет к увеличению амплитуды импульса тока в коллекторной цепи, а значит и к увеличению амплитуды колебаний в контуре (рис. 2.17, а). При противоположных направлениях амплитуда колебаний в контуре будет уменьшаться. Таким образом, при работе модулятора амплитуда колебаний в контуре будет изменяться пропорционально изменению напряжения управляющего сигнала. Величина, характеризующая отношение изменения амплитуды колебаний к их амплитуде в отсутствие модуляции, называется коэффициентом (глубиной) модуляции и обозначается буквой  $m$ .

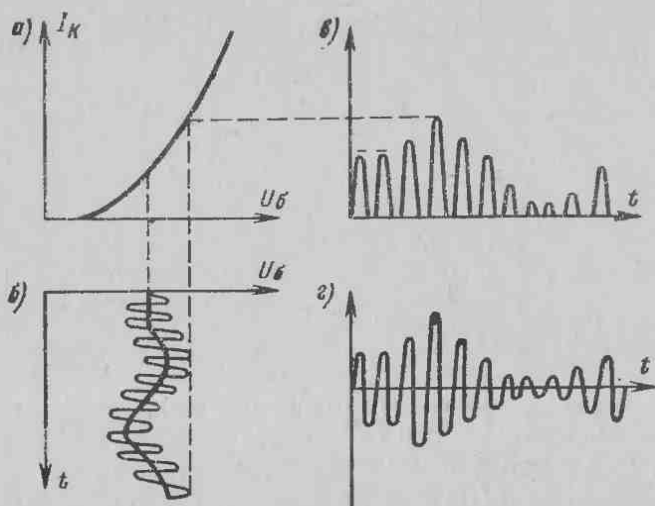


Рис. 2.17. Графики изменения тока и напряжения в основных цепях модулятора

а — характеристика транзистора; б — форма напряжения на базе транзистора; в — форма тока коллектора; г — форма тока в контуре

Высокочастотное колебание, поступающее на модулятор, математически описывается уравнением:

$$U_{\omega} = U_{m0} \cos(\omega_0 t + \varphi_0). \quad (2.9)$$

При амплитудной модуляции вместо параметра  $U_{m0}$  имеем  $U_m(t) = U_{m0} + aU_{\Omega}(t)$  (где  $a$  — коэффициент пропорциональности;  $U_{\Omega}(t)$  — напряжение управляющего сигнала). Если в качестве управляющего на модулятор будет подаваться тональное напря-

жение звуковой частоты, математически описывающееся уравнением вида:

$$U_{\Omega}(t) = U_{m\Omega} \cos \Omega t, \quad (2.10)$$

то, обозначая  $m = aU_{m\Omega}/U_{mo}$  при  $\varphi_0 = 0$ , после несложных преобразований получаем математическое выражение для амплитудно-модулированных колебаний:

$$U(t) = U_{mo} \cos \omega_0 t + \frac{mU_o}{2} \cos(\omega_0 + \Omega)t + \frac{mU_o}{2} \cos(\omega_0 - \Omega)t. \quad (2.11)$$

Выражение (2.11) позволяет оценить частотный состав (спектр) и произвести энергетическую оценку амплитудно-модулированных колебаний.

Спектр высокочастотного колебания модулированного напряжения тонального сигнала звуковой частоты  $F$  представляется в виде суммы трех гармонических высокочастотных колебаний (рис. 2.18).

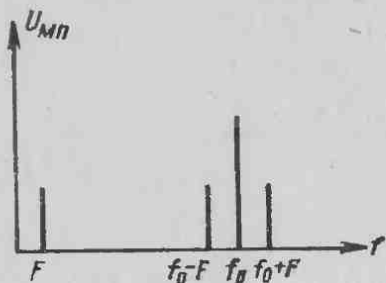


Рис. 2.18. Спектральное представление АМ-колебания

1)  $U_{mo} \cos \omega_0 t$  — высокочастотное колебание, называемое несущим, с частотой  $f_0 = \omega_0/2\pi$  и амплитудой, равной значению амплитуды до осуществления модуляции.

2)  $\frac{mU_{mo}}{2} \cos(\omega_0 + \Omega)t$  — высокочастотное колебание, называемое верхней боковой составляющей, с частотой  $f_{\text{в}} = (\omega_0 + \Omega)/2\pi$  и амплитудой, изменяющейся прямо пропорционально изменению коэффициента модуляции  $m$ . Это колебание включает в себе полезную информацию.

3)  $\frac{mU_{mo}}{2} \cos(\omega_0 - \Omega)t$  — высокочастотное колебание, называемое нижней боковой составляющей, с частотой  $f_{\text{н}} = (\omega_0 - \Omega)/2\pi$  и амплитудой, изменяющейся прямо пропорционально изменению коэффициента модуляции  $m$ . Это колебание также включает в себе полезную информацию.

При модуляции колебаний управляющим сигналом сложной формы, например речевым, спектр амплитудно-модулированного колебания будет состоять из суммы гармонических колебаний: несущего и двух боковых полос с суммарным и разностным значением частот.

Ширина спектра радиосигнала  $F_c$  равна удвоенной максимальной частоте модуляции  $F_{\text{макс}}$ , т. е.

$$F_c = 2F_{\text{макс}} \quad (2.12)$$

Недостатком амплитудной модуляции является слабая помехозащищенность радиосигнала и сосредоточение значительной части энергии в несущем колебании, которое не заключает в себе полезной информации. Поэтому в линиях радиосвязи, имеющих большую протяженность, используют радиопередатчики, излучающие только одну боковую полосу колебаний. При однополосной передаче более чем в 2 раза уменьшается ширина спектра радиосигнала, в несколько раз возрастает энергетический выигрыш по сравнению с системами, использующими обычную амплитудную модуляцию, и увеличивается надежность связи.

При частотной модуляции (ЧМ) пропорционально напряжению управляющего сигнала с течением времени изменяется частота колебаний.

На рис. 2.19 изображена схема частотного модулятора, состоящая из схем задающего генератора с индуктивной обратной связью (левая часть) и управляемого конденсатора (правая часть). Роль управляемого конденсатора выполняет полупроводниковый диод  $D_1$  — варикап. Его действие основано на изменении емкости элек-

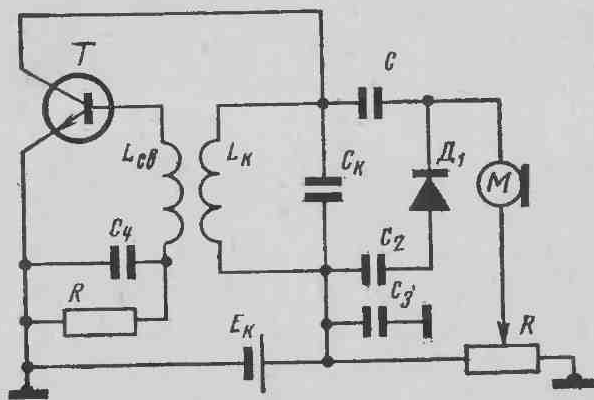


Рис. 2.19. Схема частотного модулятора

тронно-дырочного перехода в зависимости от изменения напряжения такой полярности, при которой диод не проводит тока. Варикап через конденсаторы  $C_1$  и  $C_2$  включен в колебательный контур генератора и поэтому его емкость входит в состав суммарной емкости контура. Конденсаторы  $C_1$  и  $C_2$  отделяют цепи варикапа от



цепей задающего генератора по постоянному току. С помощью переменного резистора  $R$  устанавливается первоначальное значение емкости варикапа.

При работе микрофона с увеличением напряжения управляющего сигнала емкость варикапа уменьшается, что приводит к увеличению частоты колебания в контуре. При уменьшении напряжения управляющего сигнала громкость звука уменьшается, увеличивается емкость варикапа, а частота колебаний в контуре уменьшается (рис. 2.20).

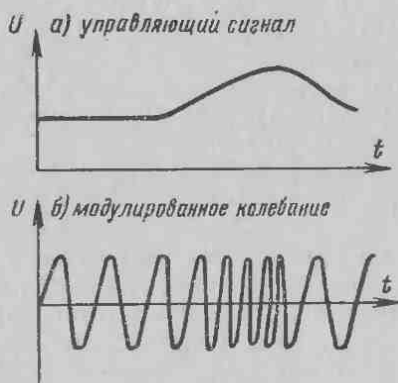


Рис. 2.20. Временное представление ЧМ-колебания

Для упрощения анализа колебаний, модулированных на частоте, и нахождения значений их основных параметров предположим, что в качестве управляющего используется тональное напряжение звуковой частоты. В этом случае изменения круговой частоты колебаний в контуре модулятора будут описываться уравнением:

$$\omega(t) = \omega_0 + \Delta\omega \cos \Omega t. \quad (2.13)$$

Здесь величина  $\Delta\omega$  обозначает максимальное отклонение круговой частоты колебаний модулятора при воздействии управляющего сигнала от значения круговой частоты колебаний при отсутствии модуляции.

Высокочастотные колебания математически описываются уравнением [3]:

$$U(t) = U_m \cos \left( \int_0^t \omega dt \right), \quad (2.14)$$

где  $\Phi = \int_0^t \omega dt$  — фаза колебаний.

Решая уравнение (2.14) с подстановкой в него значения  $\omega(t)$  из выражения (2.13), находим

$$U(t) = U_m \cos(\omega_0 t + \beta \sin \Omega t);$$

$$\beta = \Delta\omega/\Omega; \quad \varphi_0 = 0,$$

или в виде ряда Фурье [3]:

$$U(t) = U_m \sum_{n=-\infty}^{n=\infty} I_n(\beta) \cos(\omega_0 + n\Omega)t. \quad (2.15)$$

Таким образом, колебание, модулированное по частоте, может быть представлено в виде суммы простых колебаний: несущего —  $U_m I_0(\beta) \cos \omega_0 t$  и бесконечного ряда парных боковых составляющих —  $U_m I_{\pm n}(\beta) \cos(\omega_0 \pm n\Omega)t$ , в которых заключена информация. Величина  $\beta = \Delta\omega/\Omega$  называется индексом модуляции, а  $I_n(\beta)$  — функцией Бесселя первого рода. Первая определяет число пар боковых составляющих, в которых сосредоточена основная энергия сигнала, вторая учитывает значения амплитуды каждой составляющей сигнала. При определении ширины спектра сигнала учитывают то обстоятельство, что значение амплитуды гармоники с номером  $n = \beta + 1$  составляет не более 0,1 значения амплитуды несущего колебания и поэтому более отдаленные составляющие не учитываются. Ширина спектра при частотной модуляции не зависит от значения частоты модулирующего напряжения и равна

$$F_c = 2(\beta + 1)F = 2nF = 2\Delta f. \quad (2.16)$$

При фазовой модуляции пропорционально напряжению управляющего сигнала с течением времени изменяется фаза высокочастотного колебания.

Практически фазовая модуляция может быть осуществлена в схеме, изображенной на рис. 2.19. Высокочастотные колебания, модулированные по фазе, описываются уравнением (2.14). При подаче на фазовый модулятор тонального напряжения звуковой частоты это уравнение принимает вид, аналогичный уравнению (2.15)

$$U(t) = U_m \sum_{n=-\infty}^{n=\infty} I_n(\varphi) \cos(\omega_0 + n\Omega)t. \quad (2.17)$$

Ширина спектра радиосигнала с фазовой модуляцией равна:

$$F_c = 2\varphi F \quad (2.18)$$

и в отличие от сигнала, модулированного по частоте, зависит от значения частоты управляющего сигнала.

На рис. 2.21 в качестве примера изображены спектры сигналов, модулированных по частоте и фазе. При изменении частоты управляющего сигнала ширина спектра сигнала, модулированного по частоте, не изменяется (кроме интервала между гармоническими составляющими), но ширина спектра сигнала, модулированного по фазе, изменяется.

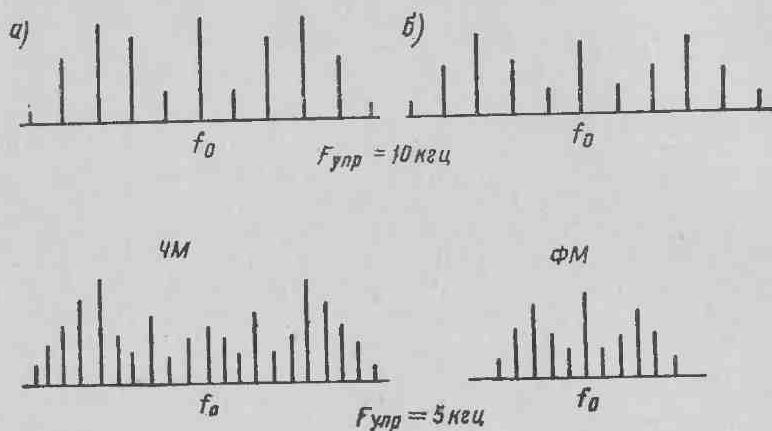


Рис. 2.21. Сравнение графических изображений спектров ЧМ- и ФМ-сигналов  
а—спектр ЧМ-сигнала; б—спектр ФМ-сигнала

Выражения, полученные для колебаний, модулированных по амплитуде, частоте и фазе, позволяют обнаружить следующие различия.

1. Колебания, модулированные по амплитуде, имеют изменяющуюся амплитуду и в этих изменениях заключена информация. Колебания, модулированные по частоте или фазе, имеют постоянную амплитуду, а информация заключается в изменениях фазы.

2. При одном и том же управляющем сигнале ширина спектра сигналов, модулированных по частоте или фазе (за исключением малых индексов, например при  $\beta < 1$ ), всегда больше, чем ширина спектра сигнала, модулированного по амплитуде.

3. Значительная часть энергии колебаний, модулированных по частоте или фазе, сосредоточена в боковых составляющих сигнала, тогда как в колебаниях, модулированных по амплитуде, большая часть сосредоточена в несущем колебании.

4. Колебания, модулированные по частоте или фазе, обладают помехоустойчивостью большей, нежели колебания, модулированные по амплитуде.

Таким образом, изменение одного из параметров высокочастотного колебания приводит к тому, что передающее устройство излу-

чает в пространство не одну частоту, а целую полосу. Ширина этой полосы зависит от вида модуляции и является одной из важнейших характеристик радиопередатчика, определяя не только качество, но и надежность связи.

Радиостанции, находящиеся на вооружении пожарной охраны, используют практически все рассмотренные виды модуляции.

Амплитудная обычная и амплитудная однополосная модуляции применяются в радиостанциях дальней коротковолновой связи, а частотная и фазовая — в радиостанциях ближней ультракоротковолновой связи.

### § 2.3. Радиоприемные устройства

**Структурная схема и основные характеристики.** В радиоприемных устройствах, используемых пожарной охраной, реализуются следующие принципы приема радиосигналов: улавливание радиоволн и превращение их в электрический сигнал, селекция, усиление, детектирование и извлечение полезной информации.

Наиболее простыми по схемному построению являются радиоприемники прямого усиления. Они получили такое название потому, что значение частоты принятого сигнала не претерпевает изменений до детектора. Однако из-за ряда существенных недостатков (в частности, низкая чувствительность и избирательность) они почти не применяются. Наиболее широкое распространение получили радиоприемники, построенные по супергетеродинной схеме.

Сущность супергетеродинного приема заключается в том, что с помощью специального устройства, называемого преобразователем частоты, спектр принятого сигнала смещают в область более низких, так называемых промежуточных частот, на которых и осуществляют основное усиление сигнала.

На рис. 2.22 изображена структурная схема супергетеродинного приемника. Электрические сигналы с антенно-фидерного уст-

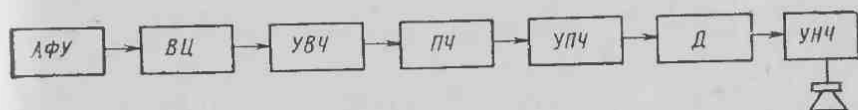


Рис. 2.22. Структурная схема супергетеродинного радиоприемника

ройства АФУ подаются на входную цепь ВЦ. Выделенный с помощью входной цепи полезный сигнал подается на усилитель высокой частоты УВЧ. После усиления все составляющие сигнала с помощью преобразователя частоты ПЧ без изменения закона модуляции преобразуются в колебания, имеющие более низкие и постоянные для данного радиоприемника значения частоты.

Частота несущего колебания сигнала после осуществления преобразования называется промежуточной частотой. Сигнал промежуточной частоты усиливается с помощью усилителя промежуточной частоты *УПЧ* и подается на детектор *Д*. В результате детектирования получается сигнал, повторяющий форму управляющего сигнала радиопередатчика. Данный сигнал с помощью усилителя низкой частоты *УНЧ* усиливается и с помощью динамического громкоговорителя преобразуется в первичный сигнал, т. е. речь.

Для оценки радиоприемного устройства вводятся характеристики, позволяющие объективно судить о качестве его работы, производить сравнение приемников различных типов и делать выводы о совершенстве их конструкции. К основным качественным характеристикам радиоприемника относятся следующие.

1. *Чувствительность* — способность радиоприемника обеспечивать нормальный прием слабых сигналов. Она оценивается минимальной величиной э. д. с. или мощности сигнала в антенне, при которой возможен устойчивый прием и воспроизведение сигнала с допустимыми для данного приемника искажениями. Чувствительность обеспечивают усилительные каскады радиоприемника.

На первый взгляд кажется, что можно принимать радиосигналы в любой отдаленной от передатчика точке путем подбора приемника соответствующей чувствительности. Однако в месте приема существует, наряду с полем сигнала, поле помехи, обусловленное наличием промышленных предприятий, густотой сети электротранспорта и т. п. Кроме того, необходимо учитывать шумы, возникающие внутри радиоприемника, действие которых эквивалентно действию мешающего сигнала с частотой, равной частоте принимаемого полезного сигнала. Все это накладывает определенные ограничения на возможность приема слабых сигналов.

Для обеспечения нормального приема в условиях действий помех в месте приема должно быть определенное превышение сигнала над помехами, и чувствительность радиоприемника оценивают не только минимальным значением э. д. с. полезного сигнала, но и минимальным значением отношения э. д. с. сигнала к э. д. с. помехи.

2. *Избирательность* — способность радиоприемника выделять полезный сигнал из совокупности колебаний с различными несущими частотами. В профессиональных приемниках используется различие между сигналом и помехой (сигналами других передающих устройств) по частоте. В качестве различителя применяют колебательный контур, настроенный на частоту принимаемого сигнала.

Избирательность оценивается по общей резонансной кривой радиоприемного устройства и выражается безразмерной величиной, показывающей, во сколько раз уменьшится чувствительность приемника при данной расстройке по сравнению с чувствительностью на резонансной частоте.

3. *Полоса пропускаемых частот*, т. е. интервал частот колебаний, усиливаемых приемником без искажения. На рис. 2.23 изображена реальная резонансная характеристика приемника и спектральный рисунок узкополосного сигнала. В идеальном случае полоса пропускаемых приемником частот должна быть равна полосе частот, занимаемых спектром сигнала, а резонансная характеристика приближаться к прямоугольнику. В реальных условиях это трудно осуществимо. Поэтому учитывая, что изменение громкости на 3 дБ (или 30%) не оказывает существенного влияния на человеческое ухо, принимают полосу пропускания такой, в пределах которой составляющие сигнала ослабляются не более, чем в  $\sqrt{2}$  раз, т. е. на уровне 0,707 максимального значения.

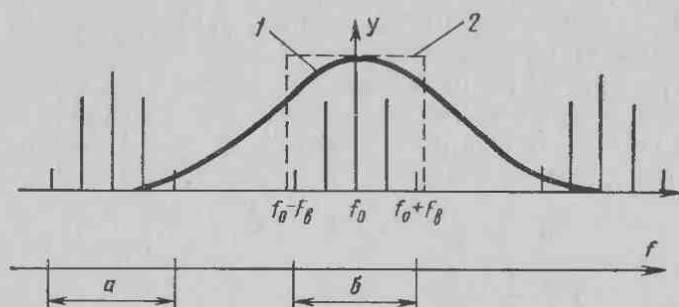


Рис. 2.23. Резонансная характеристика радиоприемника

1—реальная частотная характеристика; 2—идеальная частотная характеристика; а—спектр соседнего сигнала (помеха); б—спектр полезного сигнала

4. *Удобство управления.* Эта характеристика отражает специфику работы пожарных подразделений и сводится к требованию уменьшения органов управления для сокращения времени перехода радиостанции от передачи к приему и обратно. В идеальном случае ее осуществление приводит к кнопочному управлению, что частично и решено в радиостанциях ближней связи.

В состав радиоприемного устройства входят три основных блока:

- 1) антенна;
- 2) радиоприемник;
- 3) оконечный аппарат (телефон, громкоговоритель, электроннолучевая трубка, телеграфный аппарат и т. д.).

В данном параграфе рассматриваются только устройства, входящие в состав радиоприемника.

**Входными цепями** радиоприемника называются электрические цепи, связывающие приемную антенну с первой усилительной ступенью. Их назначение состоит в том, чтобы передать напряжение полезного сигнала из антенны на управляющий электрод первой

усилительной ступени и ослабить мешающее действие сигналов-помех.

Основным элементом входной цепи является колебательный контур, настраиваемый в резонанс с колебаниями, имеющими частоту принимаемого сигнала. За счет резонансных свойств колебательного контура осуществляется разделение полезного сигнала и сигнала-помехи. При этом передача напряжения полезного сигнала из антенны на первую усилительную ступень характеризуется определенной величиной резонансного коэффициента передачи и полосой частот колебаний, пропускаемых контуром без значительных искажений.

Антенна может быть связана с колебательным контуром входной цепи радиоприемника при помощи катушки индуктивности, конденсатора постоянной или переменной емкости или одновременно с помощью того и другого.

Присоединение антенны к контуру входной цепи не применяется, так как изменяющиеся параметры антенны будут смещать значение резонансной частоты колебаний контура в ту или другую сторону от значения частоты несущего колебания принимаемого сигнала.

На рис. 2.24, а изображена схема входной цепи с индуктивной связью. Действие схемы заключается в следующем. Ток антенны, протекая по катушке связи  $L_{св}$ , индуцирует в контуре  $L_k C_k$  э. д. с. сигнала, которая за счет резонансных свойств контура создает на

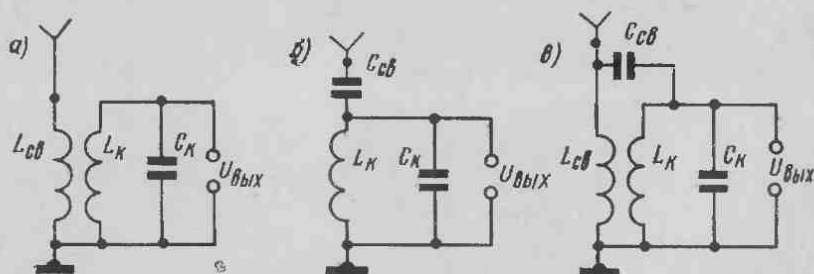


Рис. 2.24. Схемы входных цепей радиоприемника

его выходных зажимах напряжение, превышающее напряжения сигналов-помех. Это увеличенное по сравнению с напряжением помехи напряжение сигнала и подается на последующие устройства радиоприемника.

Действия остальных схем, имеющих емкостную (рис. 2.24, б) и комбинированную (рис. 2.24, в) связь между антенной и колебательным контуром, отличаются от рассмотренной лишь путем поступления энергии сигнала в колебательный контур.

Полоса частот колебаний, пропускаемых контуром входной цепи, определяется из выражения [3]:

$$2\Delta f = \frac{f_0}{Q}, \quad (2.19)$$

где  $2\Delta f$  — полоса пропускания,  $гц$ ;  
 $f_0$  — резонансная частота контура,  $гц$ ;  
 $Q$  — добротность контура.

Величина  $Q$  в количественном отношении характеризует резонансные свойства контура и показывает, во сколько раз падение напряжения на реактивном сопротивлении контура больше падения напряжения на его активном сопротивлении.

Полоса пропускания увеличивается с ростом частоты, поэтому при приеме сигналов, значения частот которых располагаются в ультракоротковолновом диапазоне, приходится принимать ряд специальных мер, чтобы обеспечить необходимую избирательность и добротность контура.

Выражение, определяющее максимальное значение коэффициента передачи входной цепи, получим исходя из следующих простых рассуждений.

Генератор отдает в нагрузку максимальную мощность  $P_{\text{макс}}$  в том случае, если величина сопротивления нагрузки равна величине внутреннего сопротивления генератора. Поэтому, если считать, что сопротивление входной цепи на резонансной частоте носит активный характер и равно сопротивлению антенны, выступающей в роли генератора, то

$$P_{\text{макс}} = \frac{E_a^2}{4R_a},$$

где  $R_a$  — сопротивление антенны,  $ом$ ;  
 $E_a$  — э. д. с. сигнала в антенне,  $в$ .

Эта мощность подается в цепь управляющего электрода первой усилительной ступени, обладающей определенной величиной входного сопротивления  $R_{вх}$ , на котором целиком расходуется

$$P_{\text{макс}} = \frac{U^2}{R_{вх}}.$$

Решая совместно оба уравнения, получаем:

$$K = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{R_{вх}}{R_a}}. \quad (2.20)$$

В профессиональных радиоприемниках в состав входной цепи входит несколько колебательных контуров, образуя полосовой фильтр. Полосовые фильтры имеют резонансную характеристику, приближающуюся к прямоугольнику, и поэтому обладают лучши-



ми фильтрующими свойствами по сравнению с одиночными контурами. Графическое изображение резонансной характеристики полосового фильтра совпадает с изображением кривой избирательности радиоприемника (см. рис. 2.27). Однако кривая избирательности полосового фильтра имеет более пологие скаты.

**Усилители высокой частоты** предназначены для увеличения напряжения или мощности радиосигнала, выделенного входной цепью радиоприемника. Усиление осуществляется на частоте несущего колебания без существенного изменения спектра радиосигнала.

На рис. 2.25 изображена схема резонансного усилителя высокой частоты. На вход усилителя подается модулированное напряжение сигнала, выделенного входной цепью. Усиленный сигнал выделяется в колебательном контуре, включенном в коллекторную цепь транзистора  $T_1$ . Процесс усиления радиосигнала сходен с

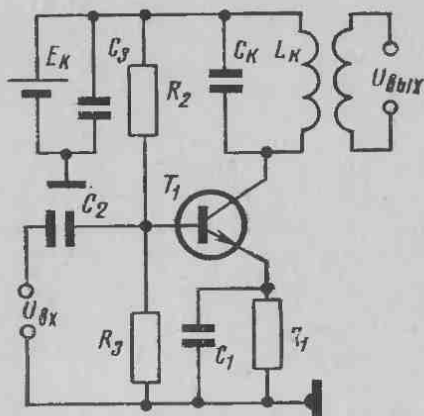


Рис. 2.25. Схема резонансного усилителя

процессом усиления электрических колебаний в генераторе, однако режим работы транзистора усилителя отличается от режима работы в генераторе. Это отличие заключается в том, что положение рабочей точки выбирается не в начале, а в середине прямолинейного участка характеристики, как это показано на рис. 2.26, а. Такой выбор положения рабочей точки обеспечивает минимальное искажение формы радиосигнала.

На рис. 2.26, б и в изображены графики изменения напряжения на базе транзистора, тока в коллекторной цепи и колебательном контуре. Сравнение графиков данного рисунка позволяет сделать вывод о том, что в усилителях высокой частоты форма напряжения, подаваемого на управляющий электрод, совпадает с формой тока в колебательном контуре, что физически означает неизменяемость закона модуляции при усилении радиосигнала.

Резисторы  $R_1$ ,  $R_2$  и  $R_3$  определяют положение рабочей точки на характеристике транзистора в отсутствие высокочастотного сигнала. Конденсатор  $C_1$  необходим для того, чтобы переменная составляющая тока эмиттера транзистора не создавала падения напряжения на резисторе  $R_1$ .

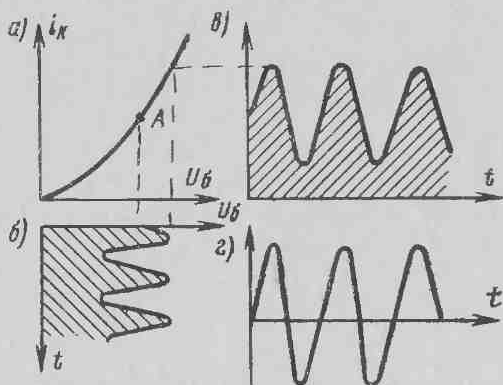


Рис. 2.26. Форма тока в основных цепях усилителя

$a$  — характеристика транзистора;  $b$  — форма напряжения на базе;  $c$  — форма тока коллектора;  $d$  — форма тока в контуре

Усилители высокой частоты профессиональных радиоприемников содержат несколько каскадов. Обычно первые каскады являются резонансными, с помощью которых обеспечивается необходимая избирательность, а последующие резистивными, у которых в коллекторную цепь включен не колебательный контур, а резистор (с их помощью обеспечивается необходимое усиление радиосигнала). Усилители высокой частоты характеризуются следующими основными электрическими параметрами: избирательностью, диапазоном рабочих частот, коэффициентом усиления, коэффициентами частотных, фазовых и нелинейных искажений.

Избирательность усилителя оценивается по его резонансной кривой.

Для облегчения сравнения избирательности данного усилителя с другими резонансную кривую вычерчивают в приведенных координатах так, как это показано на рис. 2.27. По оси ординат откла-

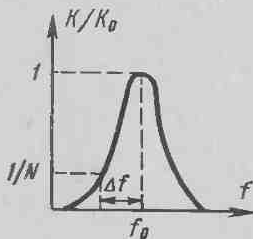


Рис. 2.27. Резонансная кривая радиоприемника

дывается отношение коэффициента усиления на любой частоте  $K$  к коэффициенту усиления на частоте резонанса  $K_0$ , по оси абсцисс — величину расстройки, т. е. смещение частоты в ту и другую сторону от резонансной.

Коэффициентом усиления называется отношение напряжения сигнала на выходе к напряжению, действующему на входе усилителя, т. е.

$$K = \frac{U_{\text{вых}}}{U_{\text{вх}}} \quad (2.21)$$

Выражение для его определения получим, исходя из следующих рассуждений. Действие транзистора в схеме рис. 2.25 можно заменить равным ему действием генератора переменной э. д. с. Генератор развивает э. д. с., равную  $E = \mu U_{\text{вх}}$ , и по цепи, состоящей из внутреннего сопротивления генератора  $R_i$  и сопротивления  $R_3$  (по своему действию эквивалентного действию колебательного контура), потечет ток, величина которого определяется по закону Ома. Этот ток создаст на сопротивлении  $R_3$  определенное значение падения напряжения. Беря отношение падения напряжения на  $R_3$  к напряжению, подаваемому на вход усилителя, получаем

$$K = \mu \frac{R_3}{R_i + R_3} \quad (2.22)$$

Диапазон рабочих частот усилителя определяется рабочими частотами радиоприемника.

В резонансном усилителе имеют место те же виды искажения, которые возникают в усилительных каскадах радиопередающего устройства. Нелинейные искажения оцениваются величиной коэффициента гармоник [43]:

$$K_r = \frac{\sqrt{U_2^2 + U_3^2 + U_4^2 + \dots}}{U_1} \quad (2.23)$$

где  $K_r$  — коэффициент гармоник;

$U_1, U_2, U_3, \dots$  — амплитудные значения напряжений соответствующих гармоник, в.

Для уменьшения нелинейных искажений рабочую точку усилительного элемента выбирают в пределах сравнительно линейной части характеристики. Частотные искажения оцениваются по частотной характеристике усилителя, а в случае резонансного усилителя — по форме его резонансной кривой.

При работе усилителя между его входными и выходными электродами возникают так называемые паразитные связи, образующиеся за счет взаимной индукции проводников и емкости монтажа. Если они носят характер положительной обратной связи, то работа усилителя становится неустойчивой, а иногда наличие этих связей приводит к его возбуждению.

Устойчивость работы усилителя зависит от частоты усиливаемого сигнала, параметров усилительного элемента и оценивается коэффициентом устойчивости, значение которого всегда меньше коэффициента усиления каскада.

**Преобразование частоты в радиоприемнике.** Преобразование частоты применительно к приемнику заключается в том, что высокочастотный модулированный сигнал при помощи вспомогательного маломощного генератора преобразуется в другой высокочастотный модулированный сигнал, имеющий более низкие значения частот несущей и составляющих сигнала. Спектр принимаемого сигнала оказывается сдвинутым по шкале частот в область более низких значений.

Для смещения спектра сигнала в область более низких частот напряжение сигнала перемножают с напряжением гетеродина. В качестве перемножителя может быть использован нелинейный элемент (диод, транзистор, электронная лампа).

На рис. 2.28 изображена типичная схема преобразователя частоты. Процессы преобразования аналогичны процессам, происходящим в умножителях частоты, только на вход преобразователя

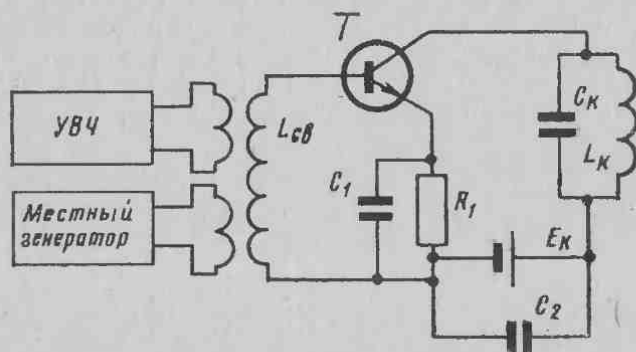


Рис. 2.28. Схема преобразователя

подаются два напряжения  $U_c$  с частотой сигнала и  $U_r$  от местного генератора (гетеродина). В моменты совпадения этих напряжений по фазе они складываются, а при противоположных фазах — вычитаются; образуются так называемые бина, и амплитуда суммарного напряжения изменяется с разностной частотой, т. е.  $f_{np} = f_r - f_c$ . Ток коллекторной цепи имеет сложную форму, поэтому его можно представить суммой токов, в состав которой входят колебания с частотами  $m f_c \pm n f_r$  (где  $m$  и  $n$  — целые числа). Обычно колебательный контур или полосовой фильтр, включаемый в коллекторную цепь транзистора, настраивают в резонанс с колебаниями, имеющими разностную, т. е. промежуточную частоту, остальные колебания отфильтровывают. Математическое описание процесса преобразования выглядит следующим образом.

Предположим, что характеристика нелинейного элемента квадратична и может быть представлена полиномом второй степени

$$i = I_0 + aU + bU^2. \quad (2.24)$$

При подаче на такой элемент напряжения сигнала  $U_c \cos \omega_c t$  и напряжения гетеродина  $U_r \cos \omega_r t$  по цепи потечет ток, определяемый характеристикой нелинейного элемента:

$$\begin{aligned} i &= I_0 + a(U_r \cos \omega_r t + U_c \cos \omega_c t) + b(U_r \cos \omega_r t + U_c \cos \omega_c t)^2 = \\ &= I_0 + aU_r \cos \omega_r t + aU_c \cos \omega_c t + bU_r^2 \cos^2 \omega_r t + bU_c^2 \cos^2 \omega_c t + \\ &\quad + 2bU_r U_c \cos \omega_r t \cos \omega_c t. \end{aligned} \quad (2.25)$$

Преобразуя последний член ряда, найдем

$$2bU_r U_c \cos \omega_r t \cos \omega_c t = bU_r U_c \cos (\omega_r + \omega_c)t + bU_r U_c \cos (\omega_r - \omega_c)t. \quad (2.26)$$

Из всех слагаемых ряда (2.25) в преобразователе частоты используют последнее (2.26), соответствующее разностной частоте гетеродина и сигнала, т. е. промежуточной. Остальные колебания отфильтровываются колебательным контуром.

Специфической особенностью супергетеродинного приемника является наличие зеркальных каналов приема (рис. 2.29). Зеркальный или дополнительный канал приема получается вследствие

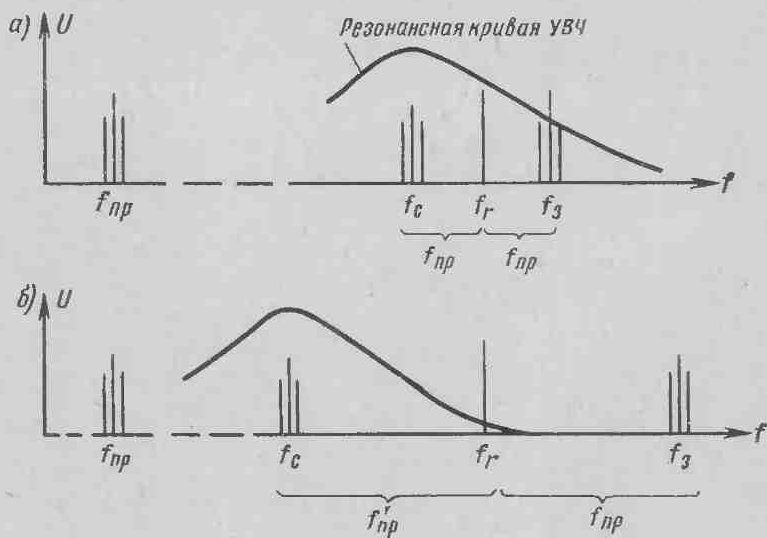


Рис. 2.29. Образование зеркальных каналов при супергетеродинном приеме

$a$  — при небольших значениях  $f_{np}$ ;  $б$  — при больших значениях  $f_{np}$

того, что процесс преобразования частоты происходит с одинаковой эффективностью как для принимаемого сигнала  $f_c$ , так и для зеркального ( $f_z = f_c + 2f_{np}$ ), отстоящего от основного на двойное значение промежуточной частоты. Для устранения этого недостатка стремятся увеличить значение промежуточной частоты. Однако такое увеличение вступает в противоречие с требованиями по устойчивости, усилению и избирательности. Поэтому применяют двойное преобразование частоты. Значение первой промежуточной частоты выбирают достаточно высокое с тем, чтобы зеркальная станция находилась вне полосы пропускания входной цепи и усилителей высокой частоты. Значение второй промежуточной частоты выбирают с учетом получения максимального усиления в последующих каскадах при большой устойчивости усилителей.

В преобразовательных каскадах большое значение придается стабилизации частоты гетеродина. Уход частоты гетеродина приводит к смещению спектра принимаемого сигнала относительно резонансной характеристики колебательного контура или фильтра смесителя. Это смещение влечет за собой искажение сигнала, а при значительных изменениях — полное пропадание принимаемой станции. Принципиально способы стабилизации частоты гетеродина не отличаются от способов стабилизации частоты задающего генератора, описанных в § 2.2.

**Детектирование модулированных колебаний.** При детектировании высокочастотный модулированный сигнал преобразуется в низкочастотный, форма которого повторяет форму первичного сигнала в передатчике.

Очевидно, что процесс детектирования сходен с процессом преобразования частоты, поэтому преобразователи частоты иногда называют детекторами. В зависимости от вида принимаемого сигнала различают амплитудное, частотное и фазовое детектирование, соответствующим образом называются и схемы детекторов.

Амплитудный детектор предназначен для преобразования амплитудно-модулированных колебаний высокой частоты в колебания низкой или звуковой частоты. В процессе детектирования происходит изменение спектра сигнала и из суммы гармонических колебаний высоких частот получаются низкочастотные колебания.

Пусть на нелинейный элемент, имеющий характеристику вида (2.24), подается сигнал с амплитудой  $U_c = U_m (1 + m \cos \Omega t) \cos \omega t$ . В этом случае на выходе детектора в состав тока будут входить и низкочастотные составляющие сигнала:

$$I\Omega = \dots + bm U_m^2 \cos \Omega t + \frac{bm^2 U_m^2}{4} \cos 2\Omega t. \quad (2.27)$$

Из них составляющая с частотой  $f = \Omega/2\pi$  является полезной, а составляющая с частотой  $f' = 2\Omega/2\pi$  вызывает нелинейные искажения.

Для уменьшения нелинейных искажений в схему детектора дополнительно вводят резистор, уменьшающий амплитуду мешающих гармоник, и конденсатор, позволяющий их отфильтровывать.

Обычно амплитудные детекторы строятся на полупроводниковых диодах. Схема такого детектора и графики, поясняющие процесс детектирования, изображены на рис. 2.30.

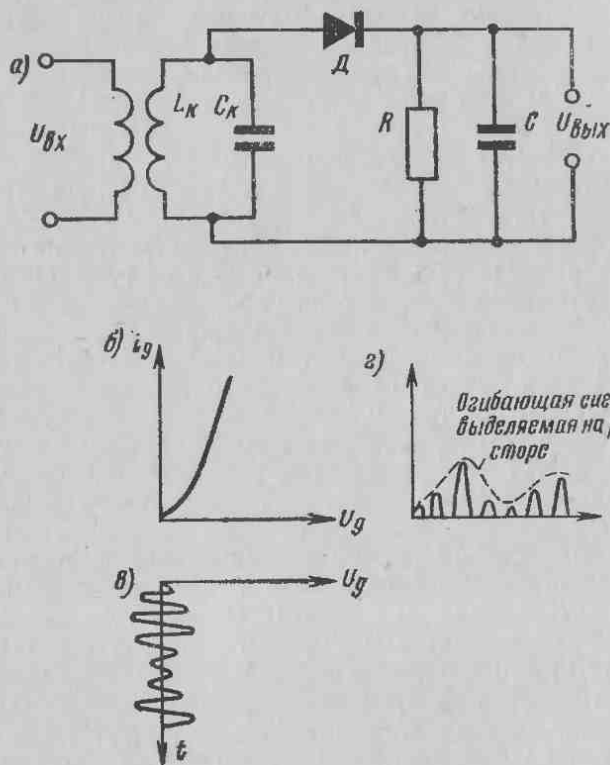


Рис. 2.30. Амплитудный детектор и графики, поясняющие процесс детектирования

а — схема амплитудного детектора; б — характеристика диода; в — форма сигнала, подаваемого на амплитудный детектор; г — форма тока диода

Модулированное напряжение высокой частоты поступает от предыдущего каскада (усилителя промежуточной частоты) и подается на колебательный контур  $L_k C_k$ . Сопротивление емкости  $C$  для переменного тока незначительно и напряжение, развиваемое контуром, оказывается приложенным к нелинейному элементу (диоду), который, обладая вентильными свойствами, пропускает только положительные полуволны тока, изменения амплитуд которых заключают в себе полную информацию.

С помощью конденсатора  $C$  происходит отфильтрование высших составляющих сигнала, для которых величина его реактивного сопротивления мала и на резисторе  $R$  за счет падения напряжения от низкочастотной составляющей сигнала выделяется только напряжение звуковой частоты. Это напряжение поступает затем в усилитель низкой частоты и оконечный аппарат.

Детектор характеризуется коэффициентом передачи, величиной входного сопротивления (так как последняя шунтирует колебательный контур), коэффициентом частотных и нелинейных искажений, определяемых так же, как и в усилителях.

**Частотные и фазовые детекторы.** Частотный детектор преобразует вначале частотно-модулированные колебания в колебания, модулированные по амплитуде, а затем происходит их детектирование в обычном амплитудном детекторе.

В качестве простейшего преобразователя вида модуляции может быть использован расстроенный колебательный контур. Процессы, происходящие в таком преобразователе, изображены на рис. 2.31.

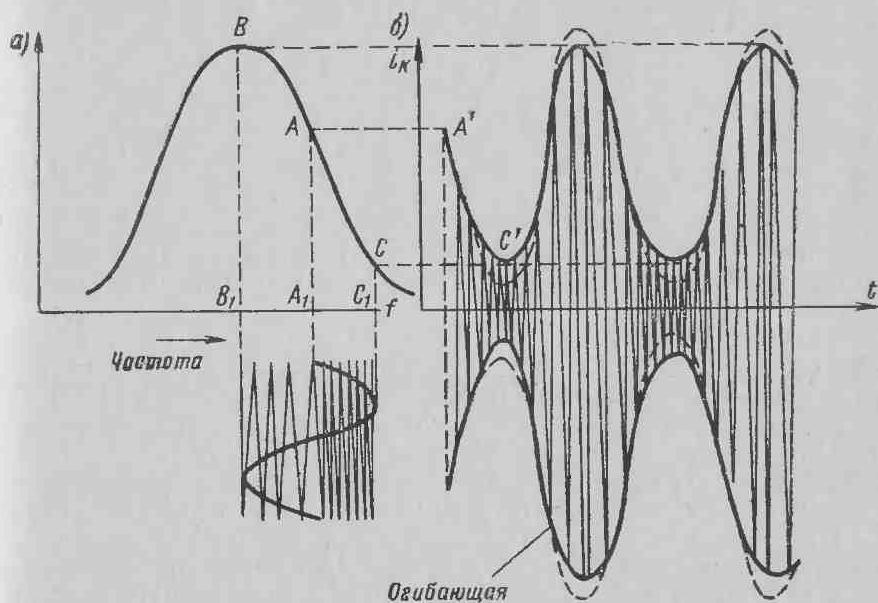


Рис. 2.31. Преобразование ЧМ-колебаний в колебания, модулированные по амплитуде, с помощью расстроенного контура  
 $a$  — характеристика контура;  $b$  — форма тока в контуре

При уменьшении частоты принимаемого сигнала (приближении к резонансной частоте контура) возрастает коэффициент передачи контура, а следовательно, амплитуда колебаний в нем. Увеличение частоты сигнала приводит к уменьшению амплитуды. Снимае-



мый с контура высокочастотный сигнал, модулированный по амплитуде, подается на диодный детектор. Однако такой детектор, обладая большими нелинейными искажениями, практически не применяется. Чаще всего применяют дискриминатор, схема которого изображена на рис. 2.32.

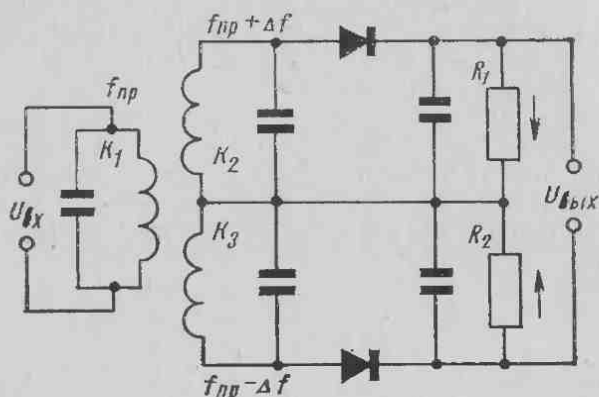


Рис. 2.32. Схема дискриминатора

Первый контур дискриминатора настроен на промежуточную частоту приемника, а два других — индуктивно связаны с ним и настроены в резонанс с колебаниями, имеющими значения частот, равные максимальному и минимальному отклонению частоты от промежуточной. Когда изменение частоты сигнала не происходит, оба контура оказываются одинаково расстроенными относительно частоты принимаемого сигнала и напряжения на них будут одинаковы. Выпрямленные диодами токи, протекая по резисторам  $R_1$  и  $R_2$ , создадут одинаковое падение напряжения, а так как они направлены навстречу друг другу, их результирующая равна нулю. При изменении значения частоты колебаний принимаемого сигнала (например, в сторону увеличения) возрастет коэффициент передачи контура, настроенного в резонанс с колебаниями, имеющими максимальное значение частоты. Это приводит к увеличению напряжения на резисторе  $R_1$  и уменьшению на резисторе  $R_2$ . Результирующая напряжений не будет равна нулю, а так как частота изменяется по закону передаваемого сигнала, то на выходе такого детектора получается напряжение низкой частоты.

Недостатком данной схемы детектора является сложность ее настройки. Поэтому наибольшее распространение получила схема с двумя контурами, причем оба контура настроены на одну и

ту же частоту, равную промежуточной. Схема такого детектора, получившего название фазового различителя, показана на рис. 2.33.

Между контурами детектора существует двойная связь: индуктивная и емкостная. К обоим диодам подводится два переменных напряжения с контура  $L_1C_1$  в фазе, а с контура  $L_2C_2$  в противофазе. Напряжения на резисторах  $R_1$  и  $R_2$  направлены навстречу друг другу. Так как диоды включены навстречу друг другу, то результирующая падений напряжений при постоянной частоте будет равна нулю.

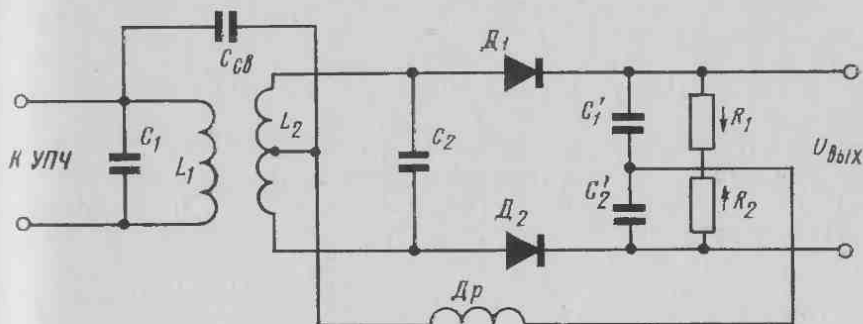


Рис. 2.33. Схема фазового детектора

Если частота детектируемых сигналов изменится, то напряжение, поступающее в контур через емкость  $C_{св}$ , будет сдвинуто по фазе относительно тока контура, наведенного за счет взаимной индукции. Величина и знак фазового сдвига пропорциональны изменениям частоты, а следовательно, результирующее напряжение на резисторах  $R_1$  и  $R_2$  будет отличаться от нуля и повторять форму управляющего сигнала радиопередатчика.

Чтобы устранить вредное влияние паразитной амплитудной модуляции, перед частотными детекторами обычно устанавливают амплитудные ограничители. Ограничитель «срезает» все отклонения амплитуды высокочастотного напряжения, вызванные помехами.

Так как последняя схема частотного детектора реагирует на отклонения фазового угла, то она применяется в качестве детектора при приеме модулированных по фазе колебаний.

Принцип действия и графическое изображение схем усилителей низкой частоты не отличаются от принципа действия и графического изображения усилителей высокой частоты.

**РАСПРОСТРАНЕНИЕ РАДИОВОЛН И АНТЕННО-ФИДЕРНЫЕ  
УСТРОЙСТВА****§ 3.1. Излучение и общие свойства радиоволн**

Радиоволны представляют собой переменные электромагнитные поля, распространяющиеся в пространстве со скоростью 300 000 км/сек. Электромагнитное поле — сложное поле. Его составляющими являются взаимосвязанные переменные электрические и магнитные поля, характеризующиеся силовым воздействием на электрические заряды и взаимно перпендикулярным расположением силовых линий одного поля относительно силовых линий другого поля. В радиотехнике распространяющиеся в пространстве электромагнитные поля принято называть свободными.

Интенсивное образование свободных электромагнитных полей, или излучение радиоволн, происходит при достаточно высокой частоте электрических колебаний, подводимых к антенне, параметры которой согласованы с параметрами окружающей среды.

Некоторое представление о процессе излучения радиоволн можно получить при рассмотрении условной схемы излучения, в которой взаимодействие электрического и магнитного полей заменено взаимодействием между силовыми линиями этих полей. Необходимо учесть, что взаимодействия между электрическими и магнитными полями происходят в соответствии с уравнениями Максвелла [3].

1. Всякое изменение электрического поля во времени сопровождается появлением в пространстве магнитного поля.

2. Всякое изменение магнитного поля во времени сопровождается появлением в пространстве электрического поля.

На рис. 3.1 изображена картина изменений, происходящих в расположении силовых линий электрического поля, в плоскости рисунка, в пространстве, окружающем антенну, за один период изменения электрических колебаний, подводимых к антенне.

При подключении передатчика к антенне за счет работы, совершаемой источником тока, в электрически нейтральных проводниках антенны осуществляется разделение зарядов и начинается их движение к концам проводников. Ток в цепи антенны возрастает от нуля до максимального значения. За это время  $t_1$  вокруг

проводников антенны возникает связанное с движением зарядов электрическое поле. Энергия источника тока превращается в энергию поля, которая движется от антенны. За время  $t_2$  уменьшения тока от максимального значения до нуля заряды двигаются к центру проводника, а энергия частично возвращается в источник, так как уменьшается связанное магнитное поле.

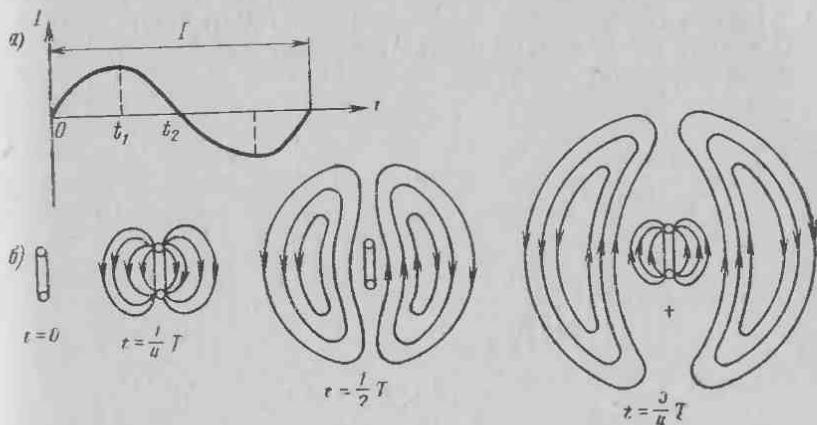


Рис. 3.1. Процесс излучения

а—график изменения тока в антенне; б—картина полей в зависимости от времени действия передатчика

В момент смены полярности источника тока скорость убывания магнитного поля становится максимальной, что по второму уравнению Максвелла приводит к появлению свободного электрического поля (силовые линии замыкаются). В этот момент вокруг проводника антенны возникает новое связанное с движением зарядов электрическое поле, силовые линии которого имеют то же направление, что и силовые линии свободного поля. При увеличении энергии связанного электрического поля свободное поле как бы выталкивается из зоны антенны. Изменяющееся связанное электрическое поле по первому уравнению Максвелла наводит в пространстве свободное магнитное поле, которое, как и электрическое, как бы выталкивается из зоны антенны связанным магнитным полем.

Процесс будет продолжаться до тех пор, пока работает источник тока (передатчик). При его отключении разделение зарядов прекращается, проводник антенны становится электрически нейтральным. Электрические и магнитные поля, связанные с движением зарядов, исчезают, а их энергия возвращается в источник. Однако первоначально излученные свободные электрические и магнитные поля будут существовать самостоятельно и продолжать движение до тех пор, пока их энергия не перейдет в другие формы.

Излученная электромагнитная волна характеризуется напряженностью электрического  $E$  и магнитного  $H$  полей. По мере удаления волны от источника силовые линии электрического поля (см. рис. 3.1) все более спрямляются, поэтому на достаточно большом расстоянии от антенны  $r \gg \lambda$  такую волну можно считать плоской.

На рис. 3.2 приведено условное изображение плоской радиоволны. Изменения напряженности электрического поля происходят в плоскости  $ZOX$ , а изменения напряженности магнитного поля в плоскости  $YOX$ .

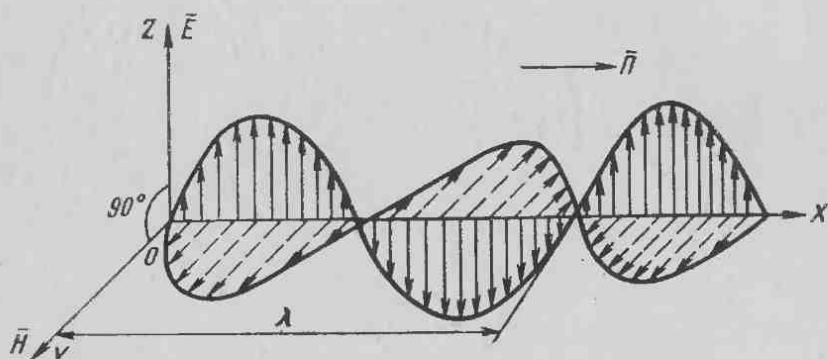


Рис. 3.2. Графическое изображение плоской электромагнитной волны

Произведение вектора напряженности электрического поля  $\vec{E}$  и вектора напряженности магнитного поля  $\vec{H}$  равно вектору  $\vec{P}$ :

$$\vec{P} = \vec{E} \vec{H}, \quad (3.1)$$

где  $\vec{P}$  — вектор Пойнтинга, *вт.*

Вектор Пойнтинга указывает направление распространения электромагнитной волны, а его значение определяет величину переносимой радиоволновой энергии.

На рис. 3.1 и 3.2 видно, что для плоской электромагнитной волны вектор напряженности электрического поля всегда параллелен проводнику передающей (излучающей) антенны. Это обусловлено тем, что силовые линии электрического поля начинаются на положительно заряженных частицах и оканчиваются на отрицательных, а движение заряженных частиц в антенне происходит только вдоль проводника.

Расстояние, на которое распространится электромагнитная энергия за время одного полного колебания, совершаемого источником тока, называется длиной волны.

Длина волны связана со скоростью, периодом и частотой колебаний следующими соотношениями:

$$\lambda = CT = \frac{c}{f}, \text{ м}, \quad (3.2)$$

где  $\lambda$  — длина радиоволны, м;  
 $T$  — время одного полного колебания, сек;  
 $f$  — частота колебания, гц;  
 $C$  — скорость света, м/сек.

Распространение радиоволн в пространстве носит сложный характер и сопровождается следующими основными явлениями.

1. При увеличении расстояния плотность потока энергии радиоволны уменьшается. Если предположить, что в центре сферы, изображенной на рис. 3.3, находится точечный излучатель (т. е.

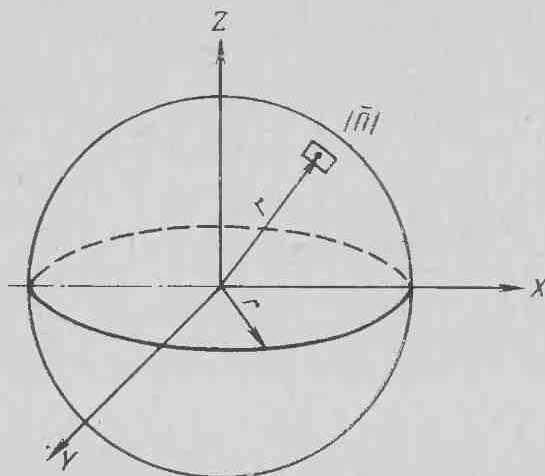


Рис. 3.3. К определению плотности потока энергии переносимого радиоволной

такой, линейные размеры которого намного меньше излучаемой им длины радиоволны), то на расстоянии  $r$  от него количество энергии, проходящей через единицу поверхности сферы, будет определяться из выражения:

$$|\vec{\Pi}| = \frac{P}{4\pi r^2}, \text{ вт/м}^2, \quad (3.3)$$

где  $P$  — мощность, подводимая к излучателю, вт;

$r$  — радиус сферы или расстояние до точки пространства, в которой определяется значение модуля вектора Пойнтинга, м.

Таким образом, величина плотности потока энергии радиоволны убывает пропорционально квадрату расстояния.

2. Распространение радиоволны сопровождается поглощением их энергии. С физической точки зрения это объясняется тем, что при распространении радиоволны часть их энергии теряется на образование токов проводимости, что всегда связано с частичным переходом определенного количества энергии тока в тепло. Часть энергии теряется на сообщение дополнительной скорости заряженным частицам, всегда присутствующим в атмосфере и особенно в ее верхней части — ионосфере.

3. При переходе из одной среды в другую радиоволны испытывают отражение и преломление. Если поверхность раздела двух сред достаточно ровная, то, как и в волновой оптике, угол падения будет равен углу отражения, а преломление плоских радиоволн будет подчиняться закону синусов (рис. 3.4), т. е.

$$\frac{\sin \theta}{\sin \psi} = \frac{\sqrt{E_2}}{\sqrt{E_1}}, \quad (3.4)$$

где  $\theta$  — угол падения;  
 $\psi$  — угол преломления.

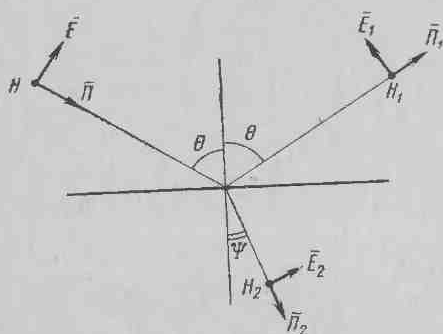


Рис. 3.4. Отражение и преломление вертикально поляризованной волны на границе раздела двух сред

В реальных условиях значение диэлектрической проницаемости атмосферы меняется в зависимости от высоты и метеорологического состояния, поэтому путь распространения радиоволн искривляется. Это явление получило название атмосферной рефракции.

Степень отражения радиоволны принято оценивать коэффициентом отражения, определяемым из выражения:

$$R = \frac{E_{\text{отр}}}{E_{\text{пад}}}, \quad (3.5)$$

где  $R$  — коэффициент отражения;

$E_{\text{отр}}$  — напряженность электрического поля отраженной волны;

$E_{\text{пад}}$  — напряженность электрического поля падающей волны.

Земная поверхность является хорошим отражателем для радиоволн, но для того чтобы отражение было зеркальным, необходимо выполнение неравенства Рэлея [14], т. е.

$$\Delta h_{\text{макс}} \leq \frac{\lambda}{(8 \div 16) \sin \theta}, \quad (3.6)$$

где  $\Delta h_{\text{макс}}$  — максимальная высота неровности, расположенной на отражающей поверхности, м.

4. Радиоволны частично огибают встретившиеся на пути их распространения препятствия. Это явление получило название дифракции. Дифракция тем сильнее, чем больше длина волны.

5. В том случае, когда волна приходит к приемнику по нескольким различным путям, в месте приема возникает явление, получившее название замираний. Оно обусловлено интерференцией когерентных волн.

Амплитуда результирующей волны зависит от значения фаз складывающихся волн. Значение фазы волны легко определить из рис. 3.2. Фаза вектора  $\vec{E}$  при прохождении расстояния, равного длине волны, меняется на  $2\pi$ , следовательно, для любой точки пространства, отстоящей от передающей антенны на расстоянии  $r$ , можно записать значение фазы волны:

$$\varphi = \frac{2\pi}{\lambda} r. \quad (3.7)$$

6. Радиоволны, распространяющиеся от передатчика к приемнику, принято условно разделять на: поверхностную волну, т. е. волну, распространяющуюся вдоль земной поверхности и частично огибающую ее выпуклости, и пространственную волну, т. е. волну, излученную антенной передатчика и пришедшую в точку приема после отражения от ионосферы.

В радиотехнике широкое применение нашли радиоволны с частотами, лежащими в пределах от  $3 \cdot 10^3$  гц до  $3 \cdot 10^{12}$  гц. По условиям распространения они подразделяются на диапазоны, указанные в таблице деления радиоволн на диапазоны. Земная поверхность и атмосфера оказывают существенное влияние на распространение радиоволн. Атмосфера подразделяется на тропосферу (до 15 км) и ионосферу (свыше 60 км). Ионосфера обладает некоторой проводимостью и для длинных, средних, а также коротких волн служит естественным экраном.

Земная поверхность в зависимости от частоты радиоволн меняет свои электрические свойства от проводника до диэлектрика. В диапазоне сверхдлинных и длинных волн она приближается к идеальному проводнику и практически не поглощает энергию радиоволн. В этом диапазоне распространение радиоволн происходит как поверхностной, так и пространственной волнами, причем поверхностные волны хорошо огибают земную поверхность и встречающиеся на ней препятствия. С уменьшением длины волны свойства почвы приближаются к диэлектрику (земля-диэлектрик



обладает большими потерями), и это вызывает значительные потери энергии радиоволн при их распространении даже на небольшие расстояния. Поэтому на средних и коротких волнах дальняя радиосвязь осуществляется за счет пространственных волн, которые отражаются от ионосферы. Короткие волны претерпевают многократное отражение прежде, чем их энергия полностью перейдет в другие формы.

В месте приема под действием электрического поля в проводнике антенны возбуждается электрический ток, величина которого пропорциональна амплитудному значению вектора напряженности электрического поля.

Для воздушной среды можно записать

$$\frac{|E_0|}{|H_0|} = \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} = 120\pi, \text{ ом}, \quad (3.8)$$

где  $\mu_0 = 4 \cdot 10^{-7}$  гн/м;

$$\epsilon_0 = \frac{1}{36\pi} \cdot 10^{-9}, \text{ ф/м}.$$

Учитывая, что

$$|\vec{\Pi}| = |\vec{E}| |\vec{H}|, \quad (3.9)$$

определив из выражения (3.8) значение  $|\vec{H}_0|$  и подставляя его в формулу (3.9), получим

$$|\vec{\Pi}| = \frac{|E|^2}{120\pi}, \text{ в/ом}. \quad (3.10)$$

#### Деление радиоволн на диапазоны

Длины волн	Частота	Наименования диапазона	
		принятые в СССР	принятые в соответствии с международным регламентом радиосвязи
100—10 км	3—30 кГц	Сверхдлинные волны	Очень низкие частоты (ОНЧ)
10—1 км	30—300 кГц	Длинные волны	Низкие частоты (НЧ)
1 км — 100 м	300 кГц — 3 МГц	Средние волны	Средние частоты (СЧ)
100 — 10 м	3—30 МГц	Короткие волны	Высокие частоты (ВЧ)
10 — 1 м	30—300 МГц		Очень высокие частоты (ОВЧ)
1 — 0,1 м	300 МГц — 3 ГГц	Ультракороткие волны	Ультравысокие частоты (УВЧ)
10 — 1 см	3—30 ГГц		Сверхвысокие частоты (СВЧ)
10 — 1 мм	30—300 ГГц		Крайневысокие частоты (КВЧ)
1 — 0,1 мм	300 ГГц—3000 Гц	—	

Приравнивая правые части выражений (3.3) и (3.10) и решая полученное уравнение относительно  $|\bar{E}|$ , при переходе к амплитудным значениям в окончательном виде получим:

$$E_m = \frac{\sqrt{60P}}{r}, \text{ в/м.} \quad (3.11)$$

Для радиостанций, применяемых в пожарной охране, величина напряженности электрического поля в месте приема определяется единицами микровольт на метр. Однако необходимая для устойчивой связи величина напряженности поля существенно зависит от местных условий и, в частности, от поля помех, а также от конструкции антенно-фидерного тракта. При наихудших условиях приема необходимое значение напряженности поля может достигать сотен микровольт на метр.

### § 3.2. Антенны

Антенной называется устройство, предназначенное для излучения или приема радиоволн.

Антенны подразделяются на передающие и приемные. *Передающая антенна* преобразует электрическую энергию токов высокой частоты, поступающую от передатчика, в энергию электромагнитного поля. *Приемная антенна* преобразует энергию приходящей радиоволны, т. е. энергию поля, в электрическую энергию высокой частоты, передаваемую на вход радиоприемника.

Антенные устройства характеризуются рядом параметров, которые можно подразделить на две группы.

К первой группе относятся параметры, определяющие качество передающих антенн: сопротивление излучения, коэффициент полезного действия, входное сопротивление и характеристика направленности.

Вторую группу составляют параметры, определяющие качество приемных антенн: действующая длина, коэффициент усиления, коэффициент направленного действия и др.

Передающие антенны отличают следующие параметры:

1. *Сопротивление излучения* характеризует способность антенны к излучению электромагнитных волн.

Количественно сопротивление излучения определяется как активное сопротивление, на котором выделяется мощность, численно равная мощности излучения:

$$R_{\text{изл}} = \frac{P_{\Sigma}}{I_a^2}, \quad (3.12)$$

где  $R_{\text{изл}}$  — сопротивление излучения, ом;

$P_{\Sigma}$  — мощность, излучаемая антенной, вт;

$I_a$  — ток в антенне, а.

Будучи активным сопротивление излучения тем не менее не вызывает преобразования электрической энергии в тепловую. Физически сопротивление излучения обусловлено тем, что в процессе излучения генератор (передатчик) совершает определенную работу, затрачиваемую на преодоление сопротивления со стороны излученной энергии, стремящейся вновь возвратиться в генератор.

2. Коэффициент полезного действия характеризует эффективность излучения антенны и определяется из выражения:

$$\eta = \frac{P_{\Sigma}}{P_a}, \quad (3.13)$$

где  $P_a$  — полная мощность, подводимая к антенне, *вт*.

Полная мощность может быть представлена в виде следующей зависимости:

$$P_a = P_{\Sigma} + P_{\text{пот}} = I_a^2 (R_{\text{изл}} + R_{\text{пот}}). \quad (3.14)$$

Тогда

$$\eta = \frac{R_{\text{изл}}}{R_{\text{изл}} + R_{\text{пот}}}, \quad (3.15)$$

где  $R_{\text{пот}}$  — эквивалентное сопротивление потерь антенны, *ом*.

Эквивалентное сопротивление потерь состоит из нескольких слагаемых, обусловленных потерями энергии, идущими на нагрев проводников антенны, потерями в изоляторах и системе заземления. Для ультракоротковолнового диапазона волн, в котором работает большинство радиостанций пожарной охраны, величина сопротивления потерь очень мала и при расчетах ее практически не учитывают.

3. Входное сопротивление антенны — определяется как отношение напряжения на входных зажимах антенны к максимальному значению протекающего через них тока.

В общем случае входное сопротивление антенны — величина комплексная

$$Z_a = R_{\text{вх}} + jX_{\text{вх}}, \quad (3.16)$$

где  $Z_a$  — входное сопротивление антенны, *ом*;

$R_{\text{вх}}$  — активная составляющая входного сопротивления, *ом*;

$jX_{\text{вх}}$  — реактивная составляющая входного сопротивления, *ом*.

Наличие составляющих обусловлено характером электромагнитного поля вокруг антенны. Активная составляющая определяет величину сопротивления излучения и показывает, что энергия, излученная антенной в передатчик (генератор), не возвращается. Реактивная составляющая обусловлена тем, что на небольшом расстоянии от антенны (порядка нескольких длин волны) существует индукционное поле, т. е. поле, энергия которого возвращается в передатчик (генератор).

4. *Характеристика, или диаграмма, направленности* — параметр, определяющий интенсивность излучения в зависимости от направления в пространстве. Для большинства случаев в качестве показателя направленности используют не мощность, а напряженность электрического поля:

$$E = f(\varphi; \Theta), \quad (3.17)$$

где  $E$  — напряженность электрического поля, в/м;

$\varphi$  — угол, определяющий направление в горизонтальной плоскости;

$\Theta$  — угол, определяющий направление в вертикальной плоскости.

Величина напряженности электрического поля при значении угла  $\varphi$  или  $\Theta$ , соответствующих направлению максимального излучения, принимается за единицу. Диаграмма излучения строится в безразмерных единицах, т. е.

$$f(\varphi; \Theta) = \frac{E(\varphi; \Theta)}{E_{\text{макс}}}, \quad (3.18)$$

где  $E(\varphi; \Theta)$  — текущее значение напряженности поля;

$E_{\text{макс}}$  — максимальное значение напряженности поля.

На рис. 3.5 изображена объемная (пространственная) диаграмма направленности уединенного полуволнового вибратора, а на рис. 3.6 — соответствующие ей диаграммы в вертикальной и горизонтальной плоскостях.

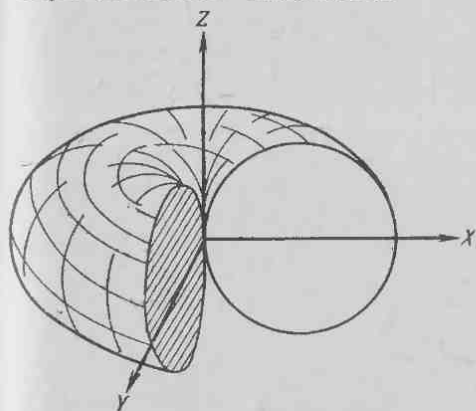


Рис. 3.5. Объемная (пространственная) диаграмма направленности симметричного полуволнового вибратора

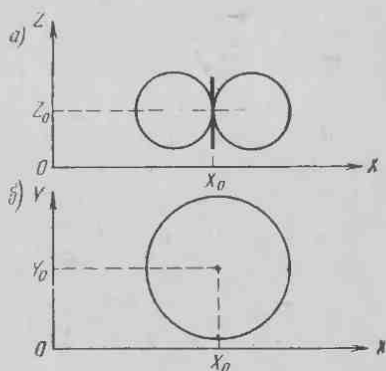


Рис. 3.6. Диаграмма направленности симметричного полуволнового вибратора в вертикальной  $a$  и горизонтальной  $b$  плоскостях

Полуволновый вибратор, как это показано на рис. 3.6, в горизонтальной плоскости не обладает направленными свойствами, поэтому антенну автомобиля не надо ориентировать на ЦППС. Именно этим и обусловлено широкое применение полуволнового вибратора в пожарной охране.

Диаграмма направленности четвертьволнового вибратора представляет собой верхнюю половину пространственной диаграммы полуволнового вибратора. Для горизонтальной плоскости она, как и предыдущая, не обладает направленностью.

Различают следующие параметры приемной антенны.

1. Действующая длина характеризует эффективность антенны как преобразователя электромагнитной энергии в электрическую. Под действующей длиной понимают длину такой антенны, которая имеет равномерное распределение тока вдоль вибраторов.

При известном значении действующей длины  $l_d$  можно определить э. д. с. на зажимах приемной антенны  $U_a$ , возникающую под действием электрического поля радиоволны

$$U_a = E_m l_d f(\varphi; \theta), \quad (3.19)$$

где  $E_m$  — напряженность поля радиоволны, в/м.

Для полуволнового вибратора действующая длина волны  $\lambda/\pi$ , для четвертьволнового в 2 раза меньше.

2. Характеристика направленности приемной антенны представляет зависимость наводимой в ней э. д. с. от угла падения приходящей волны.

В радиостанциях передатчик и приемник подсоединяются к одной и той же антенне, поэтому характеристика направленности, входное сопротивление, действующая длина и другие параметры остаются неизменными при работе антенны в качестве передающей, как и в качестве приемной.

В пожарной охране наиболее широкое распространение получили простые антенны типа полуволнового или четвертьволнового вибраторов. Они же используются в более сложных антеннах в качестве основных принимающих и излучающих элементов.

Полуволновый, или симметричный, вибратор состоит из двух проводников одинаковой длины, между которыми включается питающая линия, соединяющая вибратор с передатчиком или приемником. В качестве проводников (плеч вибратора) используются пустотелые металлические трубки, суммарная длина которых равна половине длины принимаемой или излучаемой волны (рис. 3.7).

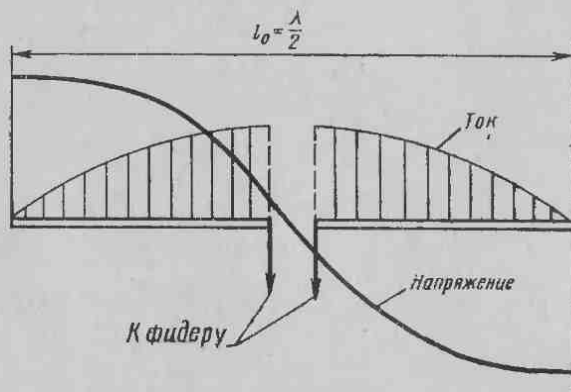


Рис. 3.7. Распределение тока и напряжения по длине симметричного вибратора

т. е.

$$l_0 = \frac{\lambda}{2}. \quad (3.20)$$

где  $l_0$  — суммарная длина вибратора, м;  
 $\lambda$  — длина принимаемой или излучаемой радиоволны, м.

Четвертьволновый вибратор представляет собой одну из половин полуволнового вибратора, к которой подсоединена питающая линия. Погонная длина вибратора равна четверти принимаемой или излучаемой длины радиоволны, т. е.

$$l'_0 = \frac{\lambda}{4}. \quad (3.21)$$

где  $l'_0$  — длина вибратора, м.

**Конструкции основных типов антенн, применяемых в пожарной охране.** Радиостанции, применяемые в пожарной охране, в зависимости от назначения и места установки комплектуются соответствующими типами антенн, имеющими определенные особенности конструктивного исполнения.

Стационарные радиостанции оснащаются антеннами типа «стакан» и «корзинка».

Антенна типа «стакан», изображенная на рис. 3.8, представляет собой полуволновый вибратор, выполненный из полых медных трубок. Конструктивно идентичные верхний и нижний вибраторы образуют как бы два опрокинутых «стакана». Оба «стакана» эквивалентны четвертьволновым отрезкам коаксиальной фидерной линии, замкнутой на конце. Для токов высокой частоты такая фидерная линия эквивалентна электрической линии, имеющей очень большое активное сопротивление. Поэтому, хотя верхнее и нижнее плечи вибратора имеют электрическое соединение с заземляющейся металлической опорой, высокочастотные токи через последнюю не замыкаются. Такая конструкция антенны, обеспечивающая эффективное преобразование энергии высокочастотных токов в энергию электромагнитного поля, одновременно выполняет роль молниеотвода.

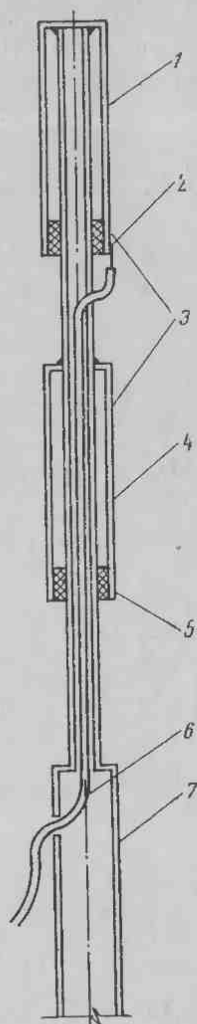


Рис. 3.8. Конструкция антенны типа «стакан»

- 1 — верхнее плечо;
- 2 — место присоединения центральной жилы кабеля;
- 3 — металлические трубки (стаканы);
- 4 — нижнее плечо;
- 5 — изолятор;
- 6 — коаксиальный кабель;
- 7 — металлическая опора

Принцип действия антенны типа «корзинка» (рис. 3.9) практически не отличается от описанного выше. Конструктивное отличие антенны «корзинка» от антенны «стакан» заключается в том, что в качестве вибратора «стакана» была применена не пустотелая трубка, а система из трех металлических проводников, расположенных радиально друг от друга на  $120^\circ$ .

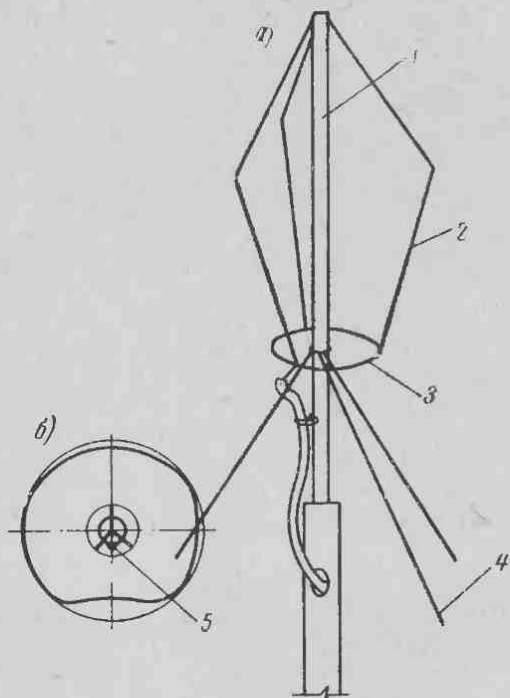


Рис. 3.9. Конструкция *a* и диаграмма направленности *b* антенны типа «корзинка»  
 1 — металлическая опора; 2 — вибратор (проводник); 3 — присоединительное кольцо; 4 — противовесы; 5 — место присоединения центральной жилы

Смонтированная система проводников антенны «корзинка» напоминает корзинку, отсюда и вся конструкция получила такое наименование. Такая антенна, как и предыдущая, имеет электрическое соединение с заземляющейся опорой и выполняет одновременно роль молниеотвода.

Конструкция автомобильной и переносной антенны типа «штырь», изображенные на рис. 3.10 и 3.11, представляют собой четвертьволновые вибраторы. Для автомобильной антенны тело вибратора изготавливается из металлического прута или трубки, а

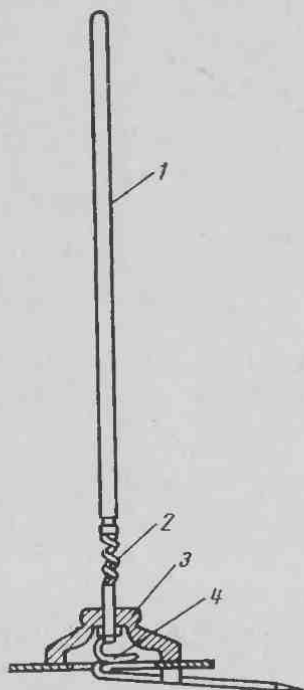


Рис. 3.10. Конструкция автомобильной антенны

1 — металлический штырь; 2 — пружина; 3 — проходной изолятор; 4 — согласующий четвертьволновый трансформатор

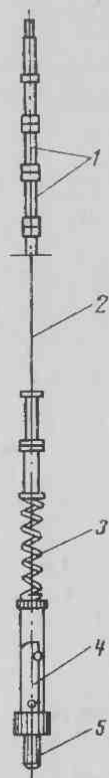


Рис. 3.11. Конструкция переносной антенны

1 — металлические цилиндры; 2 — стальной трос; 3 — пружина; 4 — система натяжения троса и замок; 5 — резьбовое соединение

тело переносной антенны делается гибким. Диаграммы направленности обеих антенн искажаются. В первом случае за счет конструкции автомобиля, во втором — из-за влияния тела человека.



### § 3.3. Основные сведения о фидерных линиях

**Линией передачи или фидером** называется система, состоящая из проводников и изоляторов, служащая для передачи электромагнитной энергии от передатчика к антенне или от антенны к приемнику.

Линии передач могут иметь различное конструктивное исполнение, но все они должны отвечать следующим требованиям.

1. Линии передач должны иметь высокий к. п. д. Это требование обусловлено тем, что при передаче энергии по фидеру часть ее теряется на нагрев проводников линии, на потери в диэлектрике и излучение во внешнюю среду. Поэтому мощность электромагнитной энергии в конце линии отлична от мощности, поступающей в нее. К. п. д. определяется из выражения [3]:

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = e^{-2\alpha l}, \quad (3.22)$$

где  $P_2$  — мощность в конце линии, *вт*;  
 $P_1$  — мощность в начале линии, *вт*;  
 $\alpha$  — коэффициент затухания, *дБ/м*;  
 $l$  — погонная длина линии, *м*.

2. Большой диапазонностью должны обладать линии передач из-за того, что радиостанции работают на различных частотах. Для пожарной охраны выделено несколько участков метрового диапазона: 1,7—2,1 *м* и 6,5—9,1 *м*. Поэтому фидерная линия должна передавать без искажения сигналы с частотами, соответствующими как самой минимальной, так и самой максимальной длине волны.

3. Линия передачи не должна обладать антенным эффектом, т. е. излучать и принимать радиоволны.

4. Линии передач должны иметь небольшие габариты, высокую механическую прочность и быть надежными в работе.

Линии передач подразделяются на закрытые и открытые. Примером открытой линии является двухпроводная воздушная линия, характеристики которой приведены в главе 1, а закрытой — коаксиальный кабель, широко применяемый в радиостанциях.

Коаксиальный кабель представляет собой концентрическую систему из двух проводников. Внешний проводник (оплетка) выполнен из тонких медных проводов, надетых на диэлектрический цилиндр, в центре которого размещен второй цилиндрический проводник. Оплетка изолируется от внешней среды.

Как и двухпроводная линия, коаксиальный кабель обладает распределенными по длине первичными параметрами, т. е. величинами сопротивления, емкости и индуктивности. Количественно эти параметры зависят от конструкции и материала, из которого изготовлены проводники и диэлектрик кабеля.

Наиболее важные вторичные параметры кабеля — волновое сопротивление фидера  $\rho_{\Phi}$  и коэффициент затухания  $\alpha$  — определяются выражениями [20]:

$$\rho_{\Phi} = \sqrt{\frac{L}{C}} = \frac{138}{\sqrt{\epsilon}} \lg \frac{D}{d}, \text{ ом}; \quad (3.23)$$

$$\alpha = \frac{2,6 \cdot 10^{-6} \sqrt{\epsilon f}}{\lg \frac{D}{d}} \left( \frac{1}{D} + \frac{1}{d} \right), \text{ дБ/м}, \quad (3.24)$$

где  $D$  — внутренний диаметр внешнего проводника, мм;  
 $d$  — внешний диаметр внутреннего проводника, мм;  
 $\epsilon$  — диэлектрическая проницаемость изоляции.

Во время передачи энергии по коаксиальному кабелю в нем возбуждается электрическое поле и устанавливается режим бегущей волны (рис. 3.12). Структура поля в этом случае очень проста и однородна. Но это выполняется только для бесконечно длин-

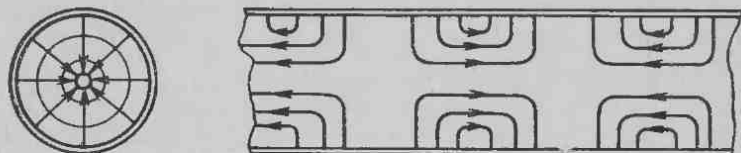


Рис. 3.12. Структура поля в коаксиальном кабеле

ной линии или для линии, нагруженной на сопротивление, равное волновому. Практически без специальных устройств режим бегущей волны получить не удастся. Например, на большинстве пожарных автомобилей в качестве антенны устанавливается четвертьволновый вибратор, волновое сопротивление которого равно 36,5 ом, тогда как волновое сопротивление кабеля РК-75-9-12 равно 75 ом. Структура поля, возбуждаемого в этом случае, в кабеле искажается за счет появления волны, отраженной от несогласованной нагрузки. Появление отраженной волны приводит к дополнительной потере мощности, в результате радиус устойчивой связи уменьшается.

О величине отраженной волны судят по величине коэффициента бегущей волны (к. б. в.), который численно равен отношению минимальной напряженности поля волны к максимальной и обычно определяется экспериментальным путем.

Мощность, получаемая в конце линии, определяется выражением [20]:

$$P_{\Sigma} = \frac{P_1}{1 + \alpha l \left( \frac{1}{\text{к.б.в.}} + \frac{1}{\text{к.б.в.}} \right)}, \text{ вт}, \quad (3.25)$$

т. е. ее величина будет тем больше, чем ближе к. б. в. к единице и чем меньше затухание в линии  $\alpha l$ .

По известному значению к. б. в. легко найти к. п. д. линии, так как дробь при  $P_1$  есть не что иное, как  $\eta_{\Phi}$ .

Для устранения в фидере отраженной волны служат согласующие устройства, которые трансформируют сопротивление нагрузки в активное сопротивление, равное по величине волновому сопротивлению линии (фидера). В качестве таких устройств используют реактивные элементы, которые вызывают в фидере вторую отраженную волну с амплитудой, равной первой, но противоположную ей по фазе.

В антенно-фидерных трактах радиостанций, используемых в пожарной охране, в качестве согласующих устройств применяются четвертьволновые трансформаторы, представляющие собой отрезок коаксиального кабеля с другим значением волнового сопротивления и длиной, равной четверти длины волны. Такой трансформатор подключается между антенной и основным фидером. Волновое сопротивление кабеля четвертьволнового трансформатора определяется из выражения [20]:

$$\rho_{\text{гр.}\Phi} = \sqrt{R_{\text{н}} \rho_{\Phi}}. \quad (3.26)$$

Длина волны, распространяющаяся как в основном фидере, так и в согласующем кабеле, определяется из выражения:

$$\lambda_{\Phi} = \frac{\lambda_0}{\sqrt{\epsilon}}, \quad (3.27)$$

где  $\lambda_{\Phi}$  — длина волны в фидере, м;

$\lambda_0$  — длина волны в вакууме, м;

$\epsilon$  — относительная диэлектрическая проницаемость изолятора фидера.

### § 3.4. Расчет напряженности поля в точке приема

Надежность радиосвязи достигается только в том случае, если напряженность поля в точке приема не ниже некоторой величины, определяемой чувствительностью и избирательностью приемника, электрическими данными приемной антенны и ее направленностью, уровнем атмосферных и других радиопомех.

Для уверенной связи напряженность поля  $E_m$  в точке приема должна превышать напряженность поля помех  $E_n$  в число раз, зависящее от вида радиосвязи. Величина отношения  $E_m/E_n$  для различных видов связи определяется специальными таблицами [6].

Исходя из вышеизложенного напряженность поля может служить количественной мерой для суждения о свойствах радиоволн и об условиях их распространения, а следовательно, и для определения дальности радиосвязи.

Чтобы определить возможность установления радиосвязи между двумя территориально отстоящими пунктами, можно воспользоваться формулой вида [14]:

$$U_{вх} = \frac{|V|\lambda}{4\pi r} \sqrt{P_1 G_1 \eta_1 G_2 \eta_2 \rho_\phi}, \quad (3.28)$$

где  $U_{вх}$  — напряжение на входе приемника, в;

$|V|$  — модуль множителя ослабления;

$r$  — расстояние между точками передачи и приема, м;

$P_1$  — мощность передатчика, вт;

$G_1$  — коэффициент усиления передающей антенны;

$\eta_1$  — коэффициент полезного действия антенно-фидерного устройства передатчика;

$G_2$  — коэффициент усиления приемной антенны;

$\rho_\phi$  — величина волнового сопротивления антенно-фидерного устройства приемника, ом;

$\eta_2$  — коэффициент полезного действия антенно-фидерного устройства приемника.

Модуль множителя ослабления есть отношение напряженности поля  $\bar{E}$  на расстоянии  $r$  от передающей антенны при распространении в реальных условиях к напряженности поля  $\bar{E}_0$  на том же расстоянии при распространении в свободном пространстве:

$$V = \frac{\bar{E}}{\bar{E}_0}.$$

Значение величины множителя ослабления зависит от следующих факторов: расстояния между пунктами передачи и приема, характера рельефа местности и наличия различного рода препятствий; состояния атмосферы, наличия в ней неоднородностей, высот приемной и передающей антенн и т. д. Обилие факторов, влияющих на значение модуля множителя ослабления при расчете реальной радиотрассы, приводит к весьма сложным математическим выкладкам, а в некоторых случаях и к невозможности его теоретического определения для данного конкретного случая. Поэтому будем рассматривать упрощенные модели распространения радиоволн.

На рис. 3.13 схематично изображена упрощенная модель распространения радиоволн в однородной непоглощающей среде при наличии земной поверхности. Распространение прямой волны осуществляется по пути  $AB$ , а отраженной от поверхности земли — по пути  $ACB$ . Применяя метод зеркального отображения, можно считать, что источником обратной волны является не земная поверхность, а вибратор, находящийся под поверхностью земли на рас-

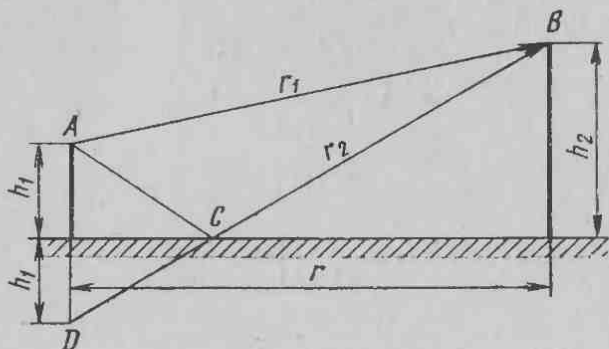


Рис. 3.13. Упрощенная модель распространения радиоволн

стоянии  $h_1$ . Тогда путь отраженной волны  $ACB$  можно заменить равным ему путем  $DCB$ , а поле в месте приема считать результатом сложения двух волн: одной, пришедшей из точки  $A$ , второй — из точки  $D$ . Используя выражение [15]:

$$E = E_m e^{-j\omega t} = E_m e^{-j\varphi},$$

получим

$$E = E_1 + E_2 = E_{m_1} e^{-j\varphi_1} + E_{m_2} e^{-j\varphi_2}, \quad (3.29)$$

где  $E_{m_1}$  и  $E_{m_2}$  — соответственно комплексные амплитуды прямой и отраженной волн;

$\varphi_1$  и  $\varphi_2$  — фазы прямой и отраженной волн.

Фаза волны на расстоянии, равном ее длине, изменяется на  $2\pi$ , поэтому, учитывая выражение (3.7) для прямой волны, можно записать:

$$E_1 = E_{m_1} e^{-j \frac{2\pi}{\lambda} r_1}. \quad (3.30)$$

Для нахождения величины напряженности поля отраженной волны, создаваемой тем же вибратором, вводим множители, учитывающие условия отражения радиоволн от земной поверхности, т. е.

$$E_2 = E_{m_1} e^{-j \frac{2\pi}{\lambda} r_2} R e^{-j\Phi}, \quad (3.31)$$

где  $E_{m_1}$  — комплексная амплитуда прямой волны;

$r_2$  — расстояние  $DCB$  (см. рис. 3.13);

$R$  и  $\Phi$  — множители, учитывающие изменения амплитуды и фазы волны после ее отражения от земной поверхности.

Чтобы освободиться от комплексного значения амплитуды напряженности электрического поля, выразим  $E_2$  через  $E_1$ . После несложных преобразований результирующая напряженность электрического поля в точке приема будет равна:

$$E = E_1 \left( 1 + R e^{-j \left[ \frac{2\pi}{\lambda} (r_2 - r_1) + \Phi \right]} \right). \quad (3.32)$$

Так как расстояние между передающей и приемной антеннами намного больше их высот, то приближенно можно считать, что оба луча, т. е.  $AB$  и  $DCB$ , параллельны друг другу и разность хода лучей можно выразить через высоту передающей антенны и угол  $\theta$  (рис. 3.14):

$$r_2 - r_1 = 2h_1 \cos \theta.$$

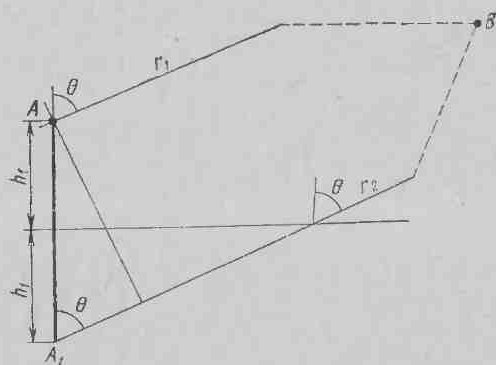


Рис. 3.14. К определению разности хода лучей

Уравнение (3.32) развернем в тригонометрическое, а затем вычислим модуль, т. е.

$$E = E_{m_1} \left[ 1 + R \cos \left( \frac{2\pi}{\lambda} 2h_1 \cos \theta + \Phi \right) - jR \sin \left( \frac{2\pi}{\lambda} 2h_1 \cos \theta - \Phi \right) \right];$$

$$E_m = E_{m_1} \sqrt{1 + R^2 + 2R \cos \left( \frac{2\pi}{\lambda} 2h_1 \cos \theta + \Phi \right)}. \quad (3.33)$$

Полученная формула носит название интерференционной, так как она выведена из предположения сложения двух волн: прямой и отраженной.

Интерференционная формула может быть подвергнута дальнейшему упрощению, если считать, что происходит идеальное отражение радиоволн от земной поверхности. Фаза отраженной волны в этом случае меняется на  $180^\circ$  по сравнению с фазой падающей волны и тогда  $R=1$ ,  $\Phi=180^\circ$ , а  $E_{m_1}$  определяется выражением

$$E_m = \frac{2\sqrt{60P}}{r} \sin\left(\frac{2\pi}{\lambda} h_1 \cos \theta\right). \quad (3.34)$$

Разность хода лучей  $r_2 - r_1 = 2h_1 \cos \theta$  можно выразить через высоты антенн и расстояние по земной поверхности. Не рассматривая всего преобразования, запишем [9]:

$$r_2 - r_1 = 2h_1 \cos \theta = \frac{2h_1 h_2}{r}. \quad (3.35)$$

Поскольку данное выражение стоит под знаком синуса, а  $r \gg h_1 h_2$ , то значение синуса можно заменить значением его аргумента, т. е.

$$E = \frac{4\pi\sqrt{60PG}}{\lambda r^2} h_1 h_2, \text{ мкв/м}, \quad (3.36)$$

где  $P$  — мощность, излучаемая антенной передатчика, *вт*;

$\lambda$  — длина излучаемой радиоволны, *м*;

$r$  — расстояние по поверхности земли между антенной передатчика и антенной приемника, *км*;

$h_1$  — высота передающей антенны, отсчитываемая от поверхности земли, *м*;

$h_2$  — высота приемной антенны, *м*;

$G$  — коэффициент, учитывающий направленные свойства антенны передатчика (для полуволнового вибратора  $G=1,5$ ).

Таким образом, чтобы увеличить напряженность поля в точке приема, не изменяя параметров приемника и передатчика, необходимо увеличить высоты подъема антенн.

При значительных расстояниях между приемной и передающей антеннами следует учитывать сферичность земли, так как в этом случае отраженная волна отсутствует и пользоваться интерференционной формулой нельзя.

Расстояние между передающей и приемной антеннами называется расстоянием прямой видимости, при котором прямая линия,

соединяющая эти антенны, касается земной поверхности. На рис. 3.15 изображена условная прямая линия, длина которой принимается за расстояние прямой видимости  $D = AC + CB$ , радиус земли, равный 6370 км, обозначен  $R_0$ .

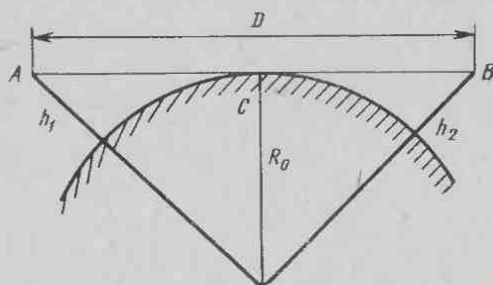


Рис. 3.15. Определение предела прямой видимости

Расстояние прямой видимости определяется следующим образом:

$$\begin{aligned} AC &= \sqrt{(R_0 + h_1)^2 - R_0^2} \approx \sqrt{2R_0 h_1}; \\ CB &= \sqrt{(R_0 + h_2)^2 - R_0^2} \approx \sqrt{2R_0 h_2}; \\ D &= AC + CB = 3,57(\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2}), \end{aligned} \quad (3.37)$$

где  $h_1$  и  $h_2$  — высоты антенн, м;

$D$  — расстояние прямой видимости, км.

На практике расчет напряженности поля осуществляют для трех возможных расстояний.

1. При расстояниях, много меньших предела прямой видимости  $r < 0,2D$ , обычно не учитывают сферичность земли и тропосферную рефракцию.

Характерной особенностью распространения волн метрового диапазона для данных расстояний является большая устойчивость и неизменность уровня сигнала во времени. Расчет напряженности поля можно вести по формуле (3.36).

2. При значительных расстояниях  $0,2D < r < 0,8D$  необходимо учитывать сферическую поверхность земли, т. е. более точно определять положение точки отражения  $C$  и учитывать влияние тропосферной рефракции.

Нормальную рефракцию учитывают, вводя множитель  $k = 4/3$  в выражение (3.37), тогда

$$D' = 4,12(\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2}), \text{ км}, \quad (3.38)$$

т. е. расстояние прямой видимости увеличивается на 15%.

В связи с тем, что диэлектрическая проницаемость различных слоев тропосферы зависит от ее метеорологического состояния и с течением времени меняется, разность фаз между прямой и отраженной волнами, а следовательно, и уровень напряженности



в точке приема также изменяются; происходит так называемое замирание. Мешающее действие замираний усиливается с увеличением расстояния.

3. Распространение радиоволн за пределы видимого горизонта  $r > D$  обусловлено влиянием тропосферы, на неоднородностях которой происходит рассеяние радиоволн. Напряженность поля в этом случае рассчитывается по дифракционной формуле Фока:

$$E_m = \frac{245\sqrt{PG}}{r} F(f), \text{ мВ/м}, \quad (3.39)$$

где  $P$  измеряется в кВт;

$G$  — коэффициент направленного действия антенны;

$F(f)$  — множитель ослабления, определяемый по специальным таблицам;

$r$  измеряется в км.

Распространение радиоволн по пересеченной местности и в городах.

Для расчета напряженности поля в каждом конкретном случае необходимо построить профиль трассы и в зависимости от характера этого профиля вести расчет (рис. 3.16). Профиль трассы

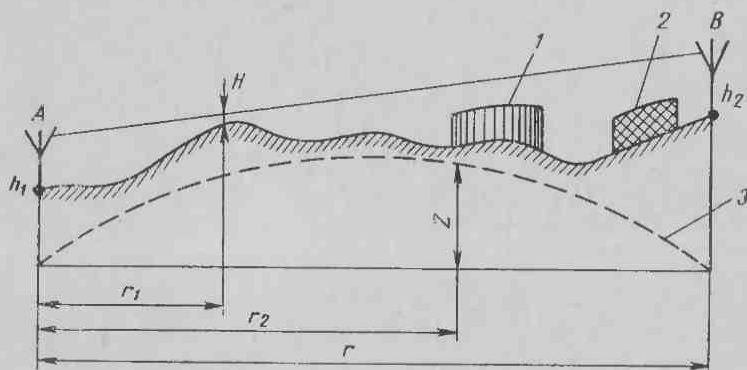


Рис. 3.16. Профиль трассы

1 — лес; 2 — населенный пункт; 3 — уровень моря

строится в прямоугольной системе координат — по горизонтальной оси откладывают расстояние, а по вертикальной высоты. Для сохранения истинного значения высот их откладывают не от нулевого уровня, а от линии, имеющей вид параболы:

$$Z = \frac{r r_z}{2R_0} \left( 1 + \frac{r_z}{r} \right), \quad (3.40)$$

где  $Z$  — текущее значение координаты условного нулевого уровня;

$r$  — расстояние от передающей до приемной антенны;

$r_z$  — расстояние от точки отсчета (от нуля до точки, в которой определяется координата);

$R_0$  — радиус земли.

После построения условной нулевой линии, пользуясь топографическими картами, наносят наиболее характерные точки профиля и соединяют их плавной кривой. На профиле трассы отмечают строения, лес, местные предметы. Затем проводят линию  $AB$ , соединяющую приемную и передающую антенны, и определяют число лучей, приходящих в точку приема. Напряженность поля определяют по интерференционной формуле. Когда на пути распространения радиоволн встречаются различные по величине, форме и размерам препятствия, расчет напряженности поля по интерференционным формулам практически невозможен.

Большой город с точки зрения распространения радиоволн можно рассматривать как сильно пересеченную местность. Расчет напряженности поля в этих условиях невозможен. Многочисленные экспериментальные данные показали, что напряженность поля в пределах города в 3—5 раз меньше, чем на открытой местности. На практике напряженность поля в пределах города также рассчитывают по формуле (3.36) с введением в нее множителя  $K=0,2 \div 0,4$ . Когда имеется прямая видимость между передающей и приемной антеннами, расчет возможен, но высоту антенн следует отсчитывать от среднего уровня крыши.

На величину напряженности поля в пределах города влияют следующие факторы.

1. Рельеф местности.
2. Архитектурная застройка города (этажность, расположение и материал здания).
3. Наличие промышленных предприятий.
4. Наличие и интенсивность городского транспорта.

Рельефом местности определяется возможность связи между двумя отдаленными точками. Застройка города значительно поглощает энергию радиоволн, а наличие промышленных предприятий и сети электротранспорта определяет величину поля помех. Все эти факторы необходимо учитывать при выборе места расположения центрального пункта связи города.

Глава 4  
**РАДИОСВЯЗЬ С ПОДВИЖНЫМИ ОБЪЕКТАМИ**

---

**§ 4.1. Принцип организации радиосвязи**

Радиосвязь в пожарной охране организуется в соответствии с требованиями наставлений по службе связи МВД СССР с учетом местных условий и возможностей по принципу радионаправлений и радиосетей.

Радионаправление организуется для обмена информацией между двумя постоянными или временными пунктами связи. При этом возможны два вида связи.

1. В пункте *А* устанавливается передающее, а в пункте *Б* приемное устройство. Действует один канал связи и передача информации осуществляется только в одну сторону (см. рис. 2.1). Такая связь называется симплексной.

2. В пунктах *А* и *Б* устанавливаются передающие и приемные устройства так, как это показано на рис. 4.1. Действуют два кана-

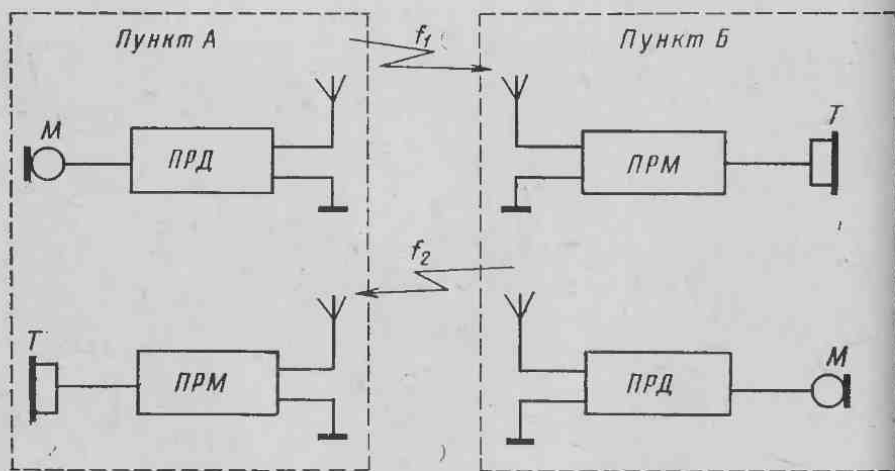


Рис. 4.1. Схема дуплексной связи для одного направления

ла связи и передача информации осуществляется одновременно из пункта *A* в пункт *B* и обратно. Такая связь называется дуплексной.

Для нормального обмена информацией между двумя пунктами при дуплексной связи необходимо, чтобы частота настройки приемника отличалась от частоты электрических колебаний, излучаемых передатчиком. В противном случае мощные сигналы собственного передатчика будут заглушать принимаемые слабые сигналы корреспондента. Поэтому осуществление дуплексной связи возможно при выделении двух рабочих частот. Кроме того, необходимо наличие двух антенно-фидерных устройств, что приводит к усложнению всей конструкции. Чтобы избежать этого, применяют специальные схемы, позволяющие использовать одну антенну как для передатчика, так и для приемника. В этом случае в антенную цепь устанавливают заградительные фильтры (рис. 4.2). Значение час-

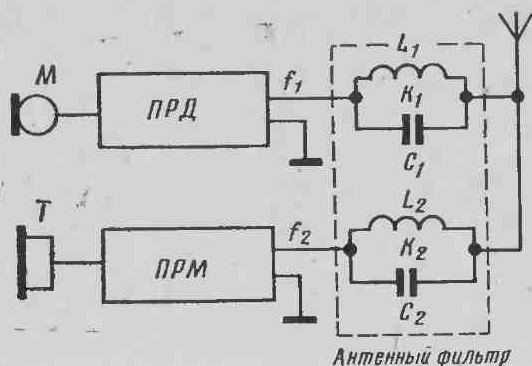


Рис. 4.2. Схема подключения антенны при дуплексной связи

тоты настройки передатчика отличается от значения частоты настройки приемника, поэтому в качестве заградительных фильтров используются параллельные колебательные контуры. Колебательный контур  $L_1C_1$ , установленный в антенной цепи передатчика, настраивается в резонанс с частотой принимаемого сигнала и для последнего его действия эквивалентно действию резистора с очень большим сопротивлением. В то же время для электрических колебаний, поступающих от передатчика, величина сопротивления контура незначительна. Поэтому через контур  $L_1C_1$  будут свободно проходить колебания с частотой  $f_1$ , но не пройдут колебания с частотой  $f_2$ . Колебательный контур  $L_2C_2$ , установленный в антенной цепи приемника, настраивается в резонанс с частотой электрических колебаний, поступающих от передатчика, и представляет для них очень большое сопротивление, для принимаемых же сигналов величина его сопротивления незначительна. Принимаемые сигналы

свободно проходят через контур и поступают на вход приемника. Обычно передающее и приемное устройства объединяются в единую конструкцию — приемопередатчик. Вся же конструкция вместе с органами управления и настройки называется приемопередающей радиостанцией.

Выделение двух рабочих частот для одного направления является существенным недостатком данного вида связи. На этих частотах не могут нормально работать радиостанции других близко расположенных пунктов связи. Поэтому при организации связи между несколькими пунктами потребность в каналах возрастает пропорционально числу пунктов. Соответственно требуется и большее число рабочих частот, однако наиболее приемлемые частоты, как правило, заняты другими службами города. В этом случае вместо дуплексной применяют симплексную двухстороннюю связь, при которой передатчик и приемник настраивают на одну и ту же рабочую частоту.

Передача информации из пункта *A* в пункт *B* и обратно осуществляется путем разнесения сигналов по времени: вначале работает передатчик пункта *A* и приемник пункта *B*, а затем передатчик пункта *B* и приемник пункта *A*.

Симплексная связь менее удобна по сравнению с дуплексной, однако она позволяет обойтись одной частотой при организации связи между двумя пунктами. В этом случае вместо антенных фильтров внутри приемопередатчика устанавливается антенный коммутатор, который на время передачи подсоединяет антенну к выходу передатчика, а во время приема — на вход приемника. Схема подключения антенны при двухсторонней симплексной связи изображена на рис. 4.3.

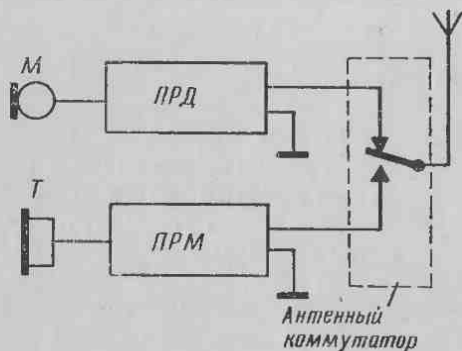


Рис. 4.3. Схема подключения антенны при двухсторонней симплексной связи

Если одни и те же частоты используются для связи с несколькими стационарными или подвижными пунктами, то образуется радиосеть. Состав радиосети определяется ее назначением и числом радионаправлений. Радиостанции, образующие радиосеть, могут быть как дуплексными, так и симплексными. Все стационар-

ные радиостанции целесообразно объединять в одну радиосеть. Однако в зависимости от складывающейся обстановки и местных возможностей любая из стационарных станций может работать и в другой сети (например, с подвижными станциями). Третья радиосеть должна организовываться для связи с соседними гарнизонами пожарной охраны.

Для удобства управления силами и средствами гарнизона одна из радиостанций сети назначается главной, которая, как правило, размещается в помещении центрального пункта радиосвязи (ЦПР) при ЦППС гарнизона.

Главная (центральная) станция определяет режим и работу подчиненных ей радиостанций данной радиосети.

Надежность работы средств радиосвязи обеспечивается резервированием аппаратуры, а в необходимых случаях для связи с отдаленными объектами создаются промежуточные ретрансляционные пункты.

Примерная схема радиосвязи крупного гарнизона показана на рис. 4.4. Радиосеть № 1 объединяет все стационарные радиостан-

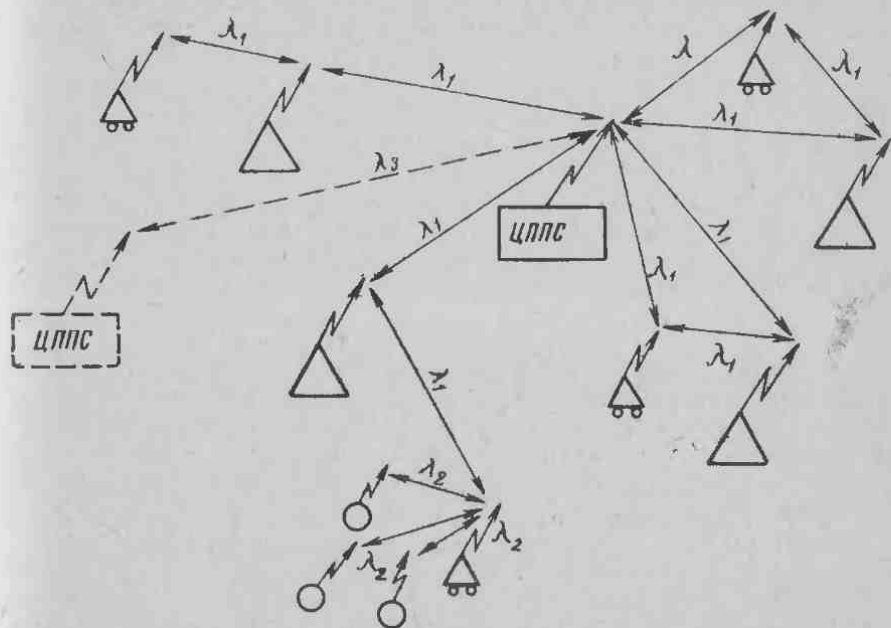


Рис. 4.4. Схема радиосвязи гарнизона

ции, которые обычно располагаются по радиусу от центральной станции. В состав этой радиосети входят и радиостанции, установленные на основных пожарных автомобилях.

Радиосеть № 2 составляют радиостанции, обеспечивающие связь управления. В эту радиосеть входят, кроме центральной ра-

диостанции при ЦППС, радиостанция, обслуживающая штаб пожаротушения, радиостанции, установленные на специальных оперативных автомобилях дежурных служб гарнизона.

Радиосеть № 3 организуется в случае оказания помощи соседнему гарнизону или для связи с удаленными частями.

Для большей универсальности все радиостанции как стационарные, так и установленные на основных автомобилях, должны быть как минимум трехканальными.

Работа на любой радиостанции требует от оператора неукоснительного соблюдения определенных правил вхождения в связь и ведения связи. Существование требований этих правил сводится к следующему.

1. Прежде чем передать сообщение, необходимо убедиться в том, что канал связи свободен. Включать передатчик и вызывать центральную или главную станцию разрешается только в том случае, когда на данной частоте не прослушивается работа других станций.

2. Вступать в переговоры с соседними станциями без разрешения центральной станции можно только в исключительных случаях или тогда, когда расстояния для связи превышают технические характеристики вызываемой станции.

3. Ведение связи начинается с названия позывного той станции, которой предназначено сообщение, а затем собственного позывного. После передачи позывных следует сообщение.

4. Текст сообщения должен быть предельно ясен и лаконичен.

5. В конце сообщения вновь передаются позывные вызываемой станции и свои. Перед окончанием связи после названия позывных разрешено произнести слова: «полный конец связи».

Ведение радиопереговоров регламентируется специальными приказами и наставлениями, знание которых обязательно для лиц, обслуживающих радиосредства и использующих их.

Предложенные в данном параграфе схемные решения радиосвязи гарнизона не являются единственно приемлемыми, оптимальность схемного построения зависит от местных условий, создавшейся обстановки и технических характеристик радиосредств.

#### **§ 4.2. Технические требования и особенности построения структурных схем радиостанций, применяемых в пожарной охране**

**Технические требования.** Радиосвязь позволяет располагать практически непрерывной информацией с момента получения сообщения о пожаре до его ликвидации. Радиосвязь в пожарной охране во многих случаях оказывается незаменимой. Так, связь с автомобилями, находящимися в пути следования и в период боевого развертывания, можно обеспечить только с помощью радиосредств.

Радиостанции, устанавливаемые на автомобилях, должны обеспечить устойчивую и надежную радиосвязь при тяжелых условиях

работы (высокие перепады температур, тряска, ударные и вибрационные механические воздействия, большая влажность и большой уровень мешающего поля помех). Все это определяет особенности конструктивного исполнения радиостанций, применяемых в пожарной охране.

Специфичность условий работы и применения радиостанций в пожарной охране определяет следующие основные тактико-технические требования.

1. Радиостанции должны обеспечивать бесперерывную и бесподстроечную дуплексную или двухстороннюю симплексную телефонную радиосвязь с однотипными радиостанциями, установленными на постоянных или подвижных пунктах связи в диапазонах и на частотах, выделенных для организации связи в пожарной охране.

2. Дальность связи между однотипными радиостанциями (за исключением носимых) как в городе, так и в сельской местности, должна лежать в пределах 20—40 км при связи с подвижными станциями и 40—80 км при связи со стационарными станциями.

3. Комплект функциональных узлов радиостанции должен обеспечить возможность ее размещения и простого монтажа на автомобилях различного назначения, а также установки на пунктах связи.

4. В функциональном отношении радиостанции, устанавливаемые на постоянных пунктах связи, должны иметь круглосуточный режим работы, а устанавливаемые на основных автомобилях, кроме того, — обеспечивать управление радиостанцией из двух независимых точек.

5. Конструкция станции должна обеспечивать:  
максимальную эксплуатационную надежность работы;  
максимальную унификацию основных узлов при их минимальных габаритах и весе;  
удобство, простоту и безопасность обслуживания;  
минимальное количество органов настройки, регулировки и контроля.

**Особенности, связанные с использованием ультракоротковолнового диапазона.** Использование ультракоротковолнового диапазона позволяет резко уменьшить габариты антенны, снизить вес и размеры конструкций приемопередатчика.

Линейные размеры антенны находятся в прямой зависимости от используемой длины волны. Так, линейные размеры стационарных антенных устройств, использующие симметричные полуволновые вибраторы и работающие в диапазоне 140—174 мГц, составляют:

$$l_0 = \frac{\lambda}{2} = \frac{1}{2} \frac{c}{f} = \frac{150}{174 \div 140} = 0,86 \div 1,07 \text{ м.}$$

Антенны, устанавливаемые на пожарных автомобилях, будут иметь меньшие размеры и составят:

$$l'_0 = \frac{\lambda}{4} = \frac{0,86 \div 1,07}{2} = 0,43 \div 0,5 \text{ м.}$$



При использовании метровых радиоволн резко снижаются величины индуктивности катушек и емкости конденсаторов, входящих в состав колебательных контуров основных усилительных и преобразовательных каскадов приемопередатчика, что в конечном счете приводит к уменьшению объема как отдельных каскадов, так и всей конструкции в целом.

Ультракоротковолновый диапазон характеризуется малым уровнем поля помех. Это позволяет увеличить чувствительность радиоприемных устройств, что в соответствии с формулой (7.36) приводит к увеличению дальности связи. В таком диапазоне можно применить широкополосные виды модуляции, т. е. частотную или фазовую. Это увеличивает помехозащищенность линии связи, а значит позволяет полностью реализовать большую чувствительность приемных устройств. Применение помехозащищенных видов модуляции, кроме того, позволяет поддерживать устойчивую радиосвязь с движущимися автомобилями.

Из материала предыдущей главы известно, что радиоволны ультракоротковолнового диапазона слабо проникают за горизонт и очень быстро затухают с увеличением расстояния. Это позволяет одни и те же рабочие частоты, а следовательно, и совершенно однотипные радиостанции применять для организации радиосвязи в территориально разобщенных гарнизонах пожарной охраны.

На рис. 4.5 изображена условная территория, защищаемая несколькими гарнизонами. Как видно из рисунка, одну и ту же частоту можно использовать без взаимных помех для обслуживания разных гарнизонов.

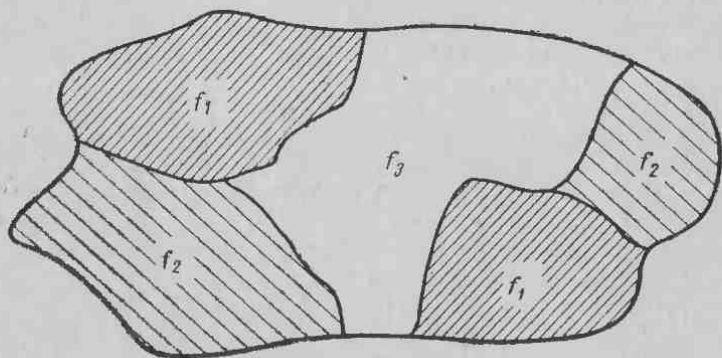


Рис. 4.5. Примерная схема распределения каналов связи для нескольких гарнизонов пожарной охраны

**Особенности по режимам работы радиостанций.** Радиостанции, устанавливаемые в пунктах связи, принимают и передают информацию эпизодически, хотя и должны находиться в постоянной готовности. Для того чтобы шум нормально работающего радиоприемника станции не мешал работе диспетчера ЦППС или ЦПР,

на радиостанции вводится дополнительный режим — дежурный прием, а на передающей стороне канала связи, т. е. в передатчике, другой — посылка тонального вызова. Последний необходим как сигнал для автоматического или ручного перевода радиостанции из режима «дежурный прием» в режим «прием».

Перечисленные особенности оказывают существенное влияние на выбор и построение структурных схем радиостанций, применяемых в пожарной охране.

На рис. 4.6 изображена структурная схема передающей части современной ультракоротковолновой радиостанции. Ее отличие от схемы, изображенной на рис. 2.3, заключается в построении низкочастотного тракта передатчика.

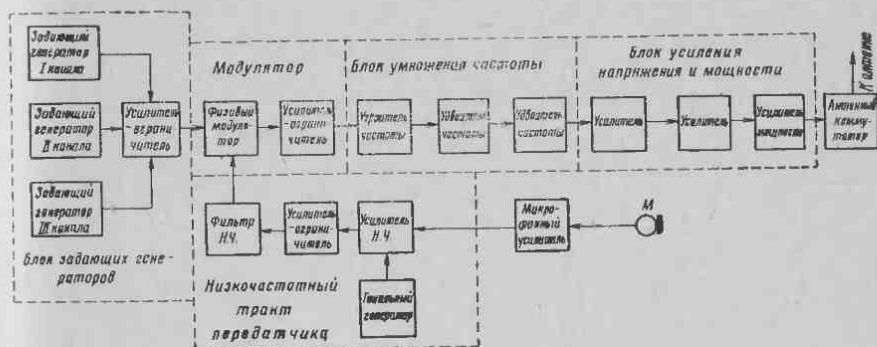


Рис. 4.6. Структурная схема передающей части радиостанции

Построение основных каскадов передатчика практически не отличается от схем, рассмотренных в § 2.2.

За микрофоном следует повышающий амплитуду звукового сигнала микрофонный усилитель, который встроен в микрофонную трубку, входящую в общий комплект радиостанции. Микрофонный усилитель позволяет разнести собственно приемопередатчик от пульта управления на расстояние до 100 м.

В связи с тем, что при передаче по линии, связывающей пульт управления с приемопередатчиком, низкочастотный сигнал значительно ослабляется, применяют еще один усилитель низкой частоты, находящийся в корпусе радиостанции. Сигнал с этого усилителя поступает на усилитель-ограничитель и с выхода последнего — на фильтр, пропускающий только определенную полосу звуковых частот. Оба последних функциональных блока необходимы для того, чтобы полоса частот, излучаемых антенной передатчика, не выходила за рамки стандартных значений, т. е.  $\pm 10$  кГц от среднего значения несущей частоты сигнала. Ширина спектра сигнала, или полоса излучаемых частот при фазовой модуляции, зависит как от значения амплитуды звукового сигнала (громкая или тихая речь), так и от собственного значения частоты модулирующего

сигнала (низкий или высокий звук). Усилитель-ограничитель, кроме усиления амплитуды звукового сигнала, срезает наиболее громкие звуки, а фильтр пропускает только сигналы с частотами, лежащими в пределах 300—3400 гц.

В состав низкочастотного тракта передатчика, кроме того, входит тональный генератор, вырабатывающий три фиксированных значения звуковой частоты. Сигналы этих частот необходимы для функционирования устройства вызова тонального приемника.

Сигнал, вырабатываемый тональным генератором, поступает на модулятор передатчика.

**Структурная схема приемной части УКВ радиостанций.** Построение основных каскадов приемника не отличается от построения схем, рассмотренных в § 2.3.

На рис. 4.7 изображена структурная схема приемной части ультракоротковолновой радиостанции. Ее отличие от схемы на рис. 2.22 проявляется в построении гетеродинов преобразователей и в наличии приемного устройства системы вызова.

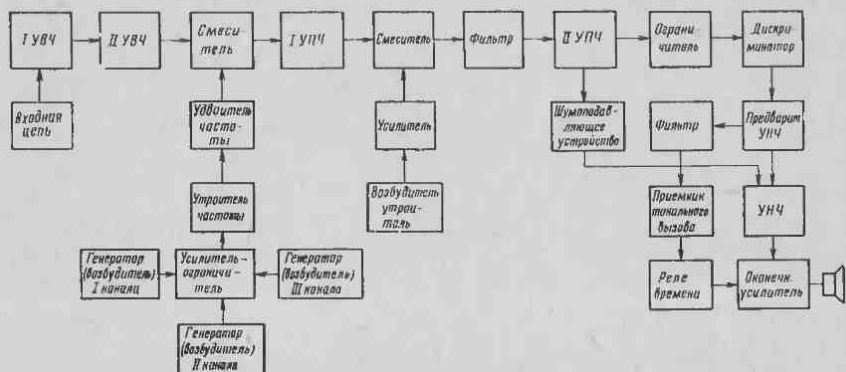


Рис. 4.7. Структурная схема приемной части радиостанции

Первый гетеродин приемника имеет сложную структуру, обусловленную тем, что значение частоты принимаемого сигнала имеет большую величину. Поэтому в состав гетеродина входят умножители частоты и усилители-ограничители. Для преобразования трех фиксированных частот колебаний полезного сигнала в сигнал промежуточной частоты в гетеродине имеются три задающих генератора, частоты колебаний которых стабилизированы кварцами. Высокочастотное напряжение, выработанное одним из канальных задающих генераторов, поступает на усилитель-ограничитель, который подает на вход умножителя частоты строго определенное значение напряжения сигнала.

Умножители частоты увеличивают значение частоты колебаний сигнала канального генератора в целое число раз. Таких каскадов

может быть несколько; на схеме показаны утроитель и удвоитель частоты.

С выхода смесителя преобразователя напряженне полезного сигнала, имеющее частоту колебаний значительно более низкую, чем частота сигнала, действующего на входе приемника, поступает на усилитель первой промежуточной частоты и после усиления подается на второй преобразователь.

Гетеродии второго преобразователя, одновременно выполняющий роль умножителя частоты, построен по многоконтурной схеме. В связи с тем, что величина высокочастотного напряжения, получаемая в многоконтурных генераторах, имеет малое значение, между генератором и смесителем устанавливаются усилитель. Напряжение второй промежуточной частоты выделяется многоконтурным полосовым фильтром, что обеспечивает высокую избирательность всего приемника по соседнему каналу.

Напряженне звуковой частоты, поступающее с выхода дискриминатора, усиливается предварительным усилителем звуковой частоты и через управляемый резистор поступает в оконечный усилитель, после которого преобразуется в громкоговорителе в первоначальный вид информации.

Управляемый резистор имеет два крайних положения: первое — при поступлении сигнала определенной величины (его сопротивление мало), второе — в отсутствие сигнала (сопротивление резистора велико). При приеме сигнала тонального вызова последний с усилителя промежуточной частоты поступает на вход шумоподавляющего устройства, которое вырабатывает сигнал управления, уменьшающий значение сопротивления управляемого резистора. Однако в громкоговорителе сигнал не прослушивается, так как с усилителя звуковой частоты сигнал тонального вызова вначале подается на приемник тонального вызова, где осуществляется его частотная селекция. При этом, если тональная частота колебаний принимаемого сигнала вызова совпадает с частотой настройки одного из трех контуров фильтра, то от напряжения, выделенного на контуре, срабатывает реле времени, которое на 10—20 сек переводит всю радиостанцию в режим «прием» и подает питание на оконечный звуковой усилитель. В динамике прослушивается тон вызова, а при передаче — речь. Если же тональная частота колебаний сигнала вызова не совпадает с частотой настройки включенного в данный момент контура фильтра, то реле времени не срабатывает и на оконечный усилитель питание не подается.

Величину напряжения высокочастотного сигнала, при котором управляемый резистор изменяет свою величину сопротивления и станция автоматически переходит в режим «прием», можно регулировать, добиваясь такого положения, при котором в динамике не прослушиваются не только собственные шумы приемника, но станция не реагирует на определенную величину поля помех, всегда существующего вокруг антенны автомобиля.

### § 4.3. Стационарные радиостанции

При установке стационарных радиостанций необходимо соблюдать определенные правила с тем, чтобы не ухудшились условия связи. Примерная схема размещения радиостанции на пункте связи изображена на рис. 4.8.

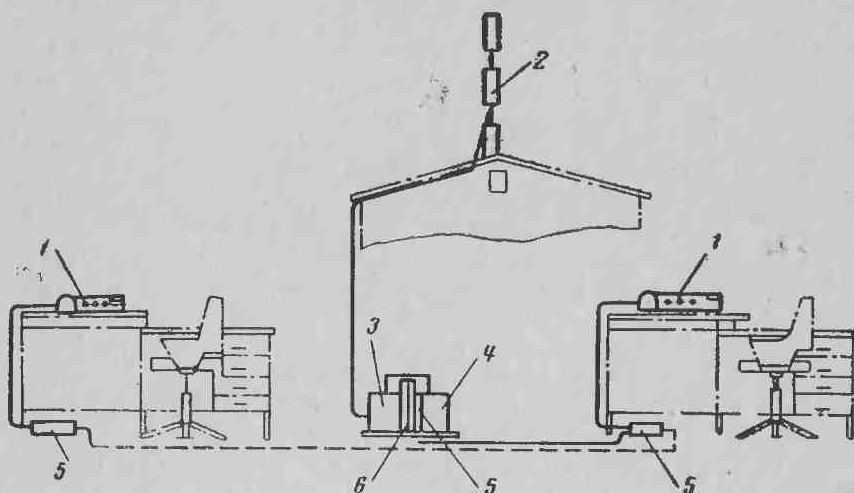


Рис. 4.8. Схема размещения радиостанции на центральном пункте радиосвязи  
1—пульт управления; 2—антенна; 3—присмопередатчик; 4—блок питания; 5—распределитель; 6—рама

Радиостанции, работающие в диапазоне частот 140—174 мц, комплектуются антенно-фидерными системами, имеющими максимальную длину фидера 25 м. Однако это не означает, что максимально возможная высота установки антенны связана с этой величиной.

Известно, что потери в фидере повышаются как с ростом частоты сигнала, транслируемого по нему, так и с увеличением погонной длины фидера.

График на рис. 4.9, рассчитанный по формуле (3.22), наглядно показывает, что при увеличении погонной длины фидера в нем может теряться значительная доля мощности полезного сигнала, поступающего от передатчика. То же самое будет происходить и при увеличении частоты сигнала, поступающего в фидер (верхняя кривая).

Для исключения ненужных потерь в фидере стремятся сократить его длину, приблизив приемопередатчик к антенне. Когда по каким-либо причинам это сделать не удастся, а требуемая длина фидерной линии превышает заводские поставки, необходимо перенести пункт радиосвязи ближе к антенне или применять радиостанции, имеющие дистанционное управление, либо заменить заводской фидер на другой, величина затухания которого меньше.

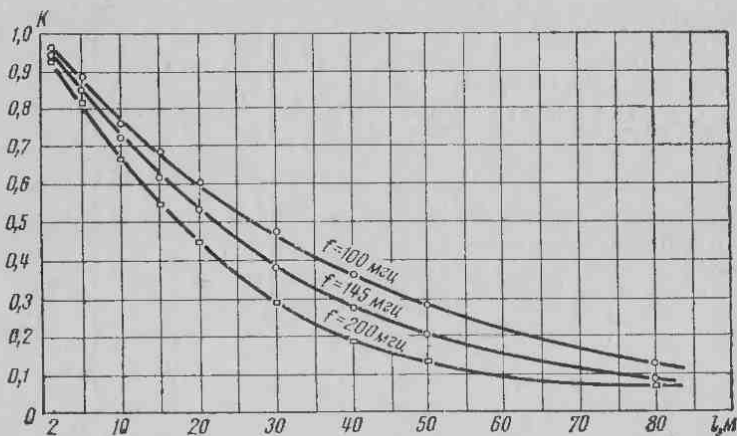


Рис. 4.9. График величины потерь мощности сигнала в фидере типа РК-75-9-12

Во всех случаях наиболее предпочтительным будет тот вариант, применение которого позволит, не уменьшая мощности излучения передатчика, увеличить высоту установки антенны. Когда исчерпаны все возможности, а добиться желаемой дальности связи не удастся, необходимо применить блоки уможнения, аналогичные блокам 32P1, на выходе которых может быть получена мощность полезного сигнала значительно большая, нежели непосредственно от передатчика. И, наконец, еще одним вариантом увеличения дальности связи на всех режимах работы может являться замена ненаправленной антенны на направленную типа «Волновой канал». Однако в этом случае система подвески антенны, или антенная опора, должна быть оборудована механизмами поворота, а на пункте связи рядом с пультом управления должен быть установлен пульт дистанционного управления и контроля за углом поворота антенны.

На пункте связи на каждую действующую радиосеть устанавливают две радиостанции: одна рабочая, другая в резерве.

Основные тактико-технические характеристики стационарных радиостанций приведены в табл. 4.1.

Тактико-технические характеристики стационарных пожарных радиостанций

Параметры	Тип станции		
	„Марс“ (4ЭРЗ)	„Пальма“ (56Р1)	„Гранит“ (3РТС-Ц2-ЧМ)
Диапазон рабочих частот, мГц	144 — 176	144 — 178	33 — 46
Число каналов связи	3	3	1
Выходная емкость передатчика, вт	4 — 7	8	30 + 50
Разнос частот между каналами, кГц	75	50	50
Вид модуляции	Частотная	Фазовая	Фазовая
Чувствительность приемника при соотношении сигнал/шум на выходе 20 дБ, мкв	1,5	1	1,5
Предполагаемая дальность, км:	со стационарными станциями	15 — 20	20 — 40
	с передвижными станциями	6 — 10	7 — 15
Мощность, потребляемая от источника питания, ват	120	165	400
Условия применения:	температура, °С	— 40 + 50	— 30 + 50
	влажность, %	90	90 ± 3

Ориентировочный расчет дальности связи между стационарными станциями может осуществляться по теоретическим кривым (рис. 4.10). Кривые рассчитаны по интерференционным формулам

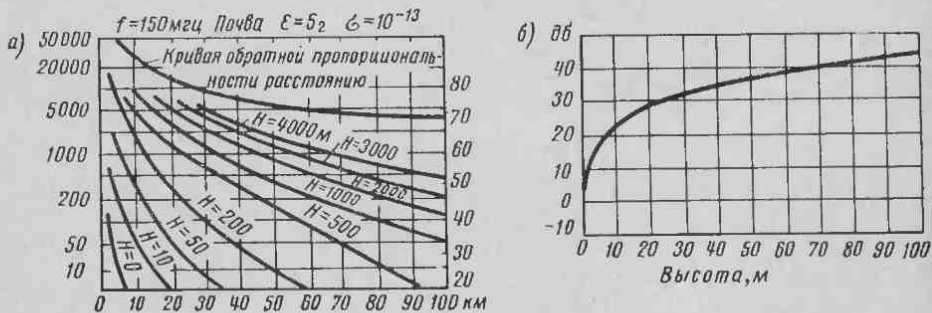


Рис. 4.10. Теоретические кривые для определения дальности связи

а—график изменения величины напряженности поля сигнала; б—график изменения напряженности электрического поля сигнала в зависимости от высоты подъема приемной антенны

в предположении, что мощность, излучаемая передатчиком, равна 1 кВт, а антенна расположена непосредственно у поверхности земли. Способ применения теоретических кривых можно проиллюстрировать на следующем примере.

**Пример.** Требуется определить ожидаемую напряженность электрического поля для расстояния 30 км от передатчика при следующих характеристиках канала связи:

высота передающей антенны 50 м;

мощность, излучаемая антенной передатчика, 35 вт;

высота приемной антенны 3 м;  
 потери в фидерных линиях передающей и приемной антенны линии связи можно не учитывать.

Решение. Если бы мощность, излучаемая на передающей стороне линии, была равна 1 квт, а приемная антенна расположена у поверхности земли, то предполагаемое значение напряженности поля в месте приема по кривой (рис. 4.10, а) для данной высоты передающей антенны и расстояния 30 км было бы равно 10 мкв. Однако при подъеме приемной антенны на высоту 3 м направленность поля будет на 20 дб, или в 10 раз больше (рис. 4.10, б), т. е.

$$E = 10 \text{ мкв} \cdot 10 = 100 \text{ мкв/м.}$$

Для мощности 35 кв полученное значение необходимо уменьшить в  $\sqrt{\frac{1000}{35}} = 5,34$  раза. Итоговое значение предполагаемой напряженности поля сигнала будет:

$$E = 100,0 : 5,34 = 18,8 \text{ мкв/м.}$$

Чтобы полученный результат расчета можно было применить на практике, необходимо учесть наличие поля помех и потерю в фидерной линии. Более точный метод расчета приводится в § 4.5.

Приведенный пример расчета можно использовать для расчета радиотрасс при расстояниях, превышающих пределы прямой видимости, или, когда расчет по формулам Введенского затруднителен.

#### § 4.4. Мобильные радиостанции

В качестве передвижных станций, устанавливаемых на пожарных автомобилях, применяют те же радиостанции, что и на стационарных пунктах связи, с той лишь разницей, что последние имеют аккумуляторный блок питания и несколько отличную конструкцию пульта управления.

Автомобильные варианты радиостанций, как и стационарные, могут иметь два пульта управления. Схема размещения радиостанции на пожарном автомобиле показана на рис. 4.11.

Автомобильные варианты радиостанций комплектуются четвертьволновыми антеннами, предпочтительным местом крепления

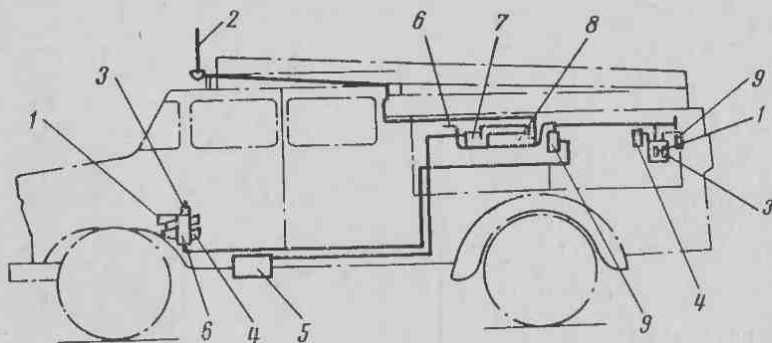


Рис. 4.11. Схема размещения радиостанции на пожарном автомобиле  
 1—пульт управления; 2—антенна; 3—держатель с микрофоном; 4—громкоговоритель;  
 5—аккумулятор; 6—кронштейн; 7—блок питания; 8—приемопередатчик; 9—распределитель



которых является переднее обрамление кабины водителя. При таком размещении диаграмма направленности антенны имеет некоторую вытянутость (рис. 4.12). Это объясняется тем, что кабина автомобиля и металлическое покрытие кузова оказывают некоторое отражающее воздействие, в результате чего диаграмма направленности антенны несколько искажается. Ее изменения можно использовать на практике, устанавливая пожарные автомобили соответствующим образом.

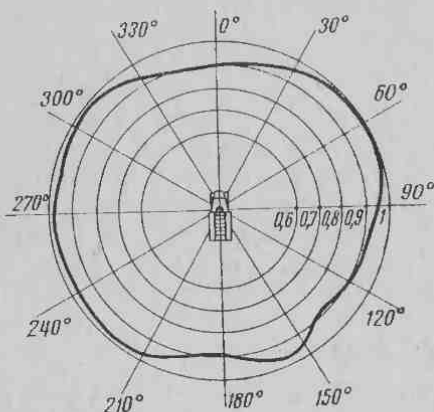


Рис. 4.12. Искажения диаграммы направленности за счет влияния кузова автомобиля

Система зажигания автомобиля является достаточно мощным источником помех в ультракоротковолновом диапазоне. Это необходимо учитывать при выезде на значительные расстояния, так как принимаемые сигналы при значительном удалении от ЦПР могут прослушиваться лишь при выключенном двигателе.

Таблица 4.2

Тактико-технические характеристики носимых радиостанций пожарной охраны

Параметры	Тип станции	
	„Уран“ (27P1)	„Тюльпан“ (61P1)
Диапазон рабочих частот, мГц	146 — 174	140 — 174
Число каналов связи	2	1
Выходная мощность передатчика, вт	0,3 — 0,4	0,1
Вид модуляции	Частотная	Фазовая
Чувствительность приемника при соотношении 5:1 (на входе), мкв	2	1,5
Предполагаемая дальность связи, км	2,5 — 3	0,8
Вес комплекта, кг	3,5	0,8
Условия применения:		
температура, °С	— 40 + 50	+ 20
влажность, %	До 80	До 80

На автомобилях связи и освещения или автомобилях дежурных служб пожарной охраны вывозятся носимые радиостанции, работающие в одной сети с автомобильной радиостанцией.

Как правило, носимые радиостанции одноканальные. У них отсутствует режим «дежурный прием», нет оконечных усилителей, питание осуществляется от компактных аккумуляторных батарей. Структурная схема этих радиостанций значительно упрощена, но принцип ее построения не отличается от описанной выше. При работе на несимой радиостанции необходимо учитывать небольшую высоту антенны и влияние тела человека на диаграмму направленности.

Основные тактико-технические характеристики носимых радиостанций, применяемых в пожарной охране, приведены в табл. 4.2.

#### **§ 4.5. Методика определения ожидаемой дальности радиосвязи с подвижными объектами**

При проведении организационно-технических мероприятий, связанных с управляемостью сил и средств в гарнизоне пожарной охраны, наряду с вопросами организационного порядка необходимо решить некоторые технические задачи, к числу которых следует отнести:

1. Определение ожидаемой дальности действия радиосвязи при известной высоте установки антенны центрального пункта радиосвязи.

2. Определение необходимой высоты установки антенны центрального пункта радиосвязи при заданной дальности действия радиосвязи.

В отличие от стационарных линий радиосвязи, пример расчета которых был дан в предыдущих параграфах, линии связи с объектами, находящимися в движении, обычными методами рассчитать нельзя, так как основные параметры линии подвижной связи непрерывно изменяются. Решение данного типа задач становится возможным, если исходить из средних значений параметров, влияющих на дальность и качество связи.

В основу предполагаемого метода расчета положены данные статической обработки измерений, проведенных в реальных условиях, и рекомендации X пленарной ассамблеи МККР. Хотя данный метод и дает средние результаты, однако с достаточной степенью точности можно оценить предполагаемые условия связи и на их основе разработать мероприятия, обеспечивающие устойчивую радиосвязь в гарнизоне пожарной охраны.

Сущность метода заключается в вычислении напряженности электрического поля полезного сигнала и определении по графикам МККР ожидаемой дальности или предполагаемой высоты установки антенны центрального пункта связи.

На дальность радиосвязи существенное влияние оказывает ряд факторов:

чувствительность приемника и величина поля помех в месте приема;

типы применяемых антенн, их расположение по отношению к странам света и предполагаемая диаграмма направленности для горизонтальной плоскости;

разница между высотными отметками передающей и приемной антенн, влияние различных строений и препятствий, встретившихся на пути распространения радиоволн;

электрические характеристики применяемой радиоаппаратуры.

Чтобы учесть действие этих факторов, основные расчетные соотношения и построенные по ним графики МККР были выведены из предположения, что:

а) мощность, эффективно излучаемая антенной передатчика, составляет 1 квт;

б) приемная антенна установлена на высоте 10 м;

в) напряженность электрического поля сигнала приведена для точки приема, а ее значения существуют для 50% пунктов приема в течение 50% времени.

В реальных условиях приведенные выше значения отличаются от тех, при которых производились измерения, поэтому расчетная формула содержит необходимые поправки, учитывающие конкретные условия распространения радиоволн [4]:

$$E_n = N_{ш} + \left( \frac{S}{N} \right)_{вх} + B_{p_{эвк}} + B_{h_2} - B_{%местн} + B_{зам} + B_p + \sigma_{пр}, \quad (4.1)$$

где  $E_n$  — необходимая величина напряженности поля полезного сигнала, *дб/мкв/м*;

$N_{ш}$  — величина поля помех в точке приема, *дб/мкв/м*;

$\left( \frac{S}{N} \right)_{вх}$  — отношение сигнал/шум на входе приемника, *дб*;

$B_{p_{эвк}}$  — поправка, учитывающая отличие эквивалентной мощности передатчика от мощности 1 квт, *дб*;

$B_{h_2}$  — поправка, учитывающая отличие высоты установки приемной антенны от высоты 10 м, *дб*;

$B_{%местн}$  — поправка на медленные замирания при отличии заданного процента приемных пунктов от 50%, *дб*;

$B_{зам}$  — поправка на быстрые замирания, учитывающая отличие заданного процента времени от 50%, *дб*;

$B_p$  — поправка, учитывающая отличие рельефа местности от принятого при составлении графиков, *дб*;

$\sigma_{пр}$  — поправка, учитывающая неравномерность диаграммы направленности приемной антенны в горизонтальной плоскости, *дб*.

Уровень шумов в точке приема складывается из уровня внешних шумов, т. е. поля помех, существующего для данной местности,

и уровня собственного шума приемника. Суммарное значение шума рассчитывается по формуле [4]:

$$N'_{с.ш} = \sqrt{N_{вн}^2 + \frac{G_{ном}^2 (\alpha l)_{пр}^2}{\left(\frac{S}{N}\right)_{вх}^2 h_d^2}}, \quad (4.2)$$

- где  $N'_{с.ш}$  — уровень суммарного шума в точке приема,  $мкв/м$ ;  
 $N_{вн}$  — уровень внешних шумов в точке приема,  $мкв/м$ ;  
 $G_{ном}$  — номинальная чувствительность приемника,  $мкв$ ;  
 $\left(\frac{S}{N}\right)_{вх}$  — номинальное отношение сигнал/шум на входе приемника, при котором задана чувствительность;  
 $(\alpha l)_{пр}$  — затухание в антенном тракте приемника;  
 $h_d$  — действующая высота приемной антенны (для полуволнового вибратора  $h_d = \lambda/\pi$ , для четвертьволнового  $h_d = \lambda/2\pi$ ).

Полученная при расчете по формуле (4.2) величина напряженности поля помех может быть переведена в децибелы по графику (рис. 4.13) или по формуле:

$$N'_{с.ш}(дб) = 10 \lg N'_{с.ш}, \text{ мкв/м}. \quad (4.3)$$

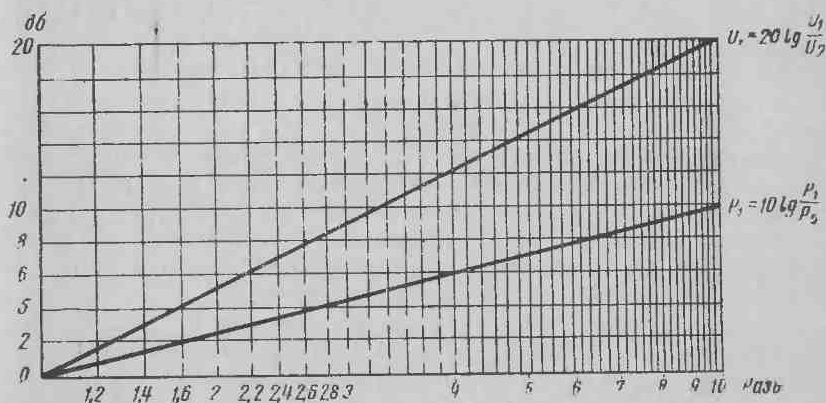


Рис. 4.13. График перевода в относительные единицы значений напряженности и мощности, выраженных в дб

Поправку на эквивалентную мощность, эффективно излучаемую антенной передатчика  $B_{P_{экр}}$ , можно определить по формуле [4]:

$$B_{P_{экр}} = B_{P_{ном}} + B_{ф} + B_{в} + (\alpha l)_{п} - \sigma_{п} - \epsilon_{п}, \quad (4.4)$$

где  $B_{p_{\text{ном}}}$  — поправка, учитывающая отличие номинальной мощности, излучаемой антенной передатчика, от мощности в 1 квт, дб;

$B_{\Phi}$  — поправка на затухания в переходных устройствах антенно-фидерного тракта передатчика, дб;

$B_{\text{н}}$  — поправка на затухания в неоднородностях фидера передатчика, дб;

$(\alpha l)_{\text{н}}$  — поправка на затухание энергии сигнала в фидере передатчика, дб;

$\sigma_{\text{н}}$  — поправка, учитывающая неравномерность диаграммы направленности передающей антенны для горизонтальной плоскости, дб;

$\varepsilon_{\text{н}}$  — поправка, учитывающая усиление передающей антенны, дб.

Подставляя значение величины поля помех из формулы (4.2) и поправку на эквивалентную мощность, эффективно излучаемую антенной передатчика, в выражение (4.1), окончательно получим

$$E_{\text{н}} = 10 \lg \left[ N_{\text{вн}}^2 + \frac{G_{\text{ном}}^2 (\alpha l)_{\text{пр}}^2}{\left(\frac{S}{N}\right)_{\text{вх}}^2 R^2} \right] + \left(\frac{S}{N}\right)_{\text{вх}} + B_{p_{\text{ном}}} + B_{\Phi} + B_{\text{н}} + (\alpha l)_{\text{н}} - \sigma_{\text{н}} - \varepsilon_{\text{н}} + B_{\text{дз}} - B_{\% \text{местн}} + B_{\text{зам}} + B_{\text{р}} + \sigma_{\text{пр}}. \quad (4.5)$$

При расчете считаются известными технические характеристики используемой аппаратуры и антенно-фидерного тракта, т. е. высота антенны, выходная мощность передатчика радиостанции, тип примененного коаксиального кабеля и его погонное затухание для данной частоты радиосигнала.

Расчетом необходимо определить ожидаемую дальность с подвижными объектами при известном соотношении сигнал/шум на выходе приемника и известных величинах обеспеченности связи по месту и по времени. Порядок расчета следующий.

1. По паспортным данным на заданный тип радиостанции определяются ее основные электрические параметры:

рабочая частота канала связи  $f$ , мГц;

номинальная чувствительность приемника радиостанции автомобиля при заданном соотношении сигнал/шум на выходе,  $G_{\text{ном}}$ ;

максимальное отклонение частоты передатчика от среднего значения (девиация)  $\Delta f$ , кГц;

полоса телефонного канала по низкой частоте 0,3—3,4 кГц;

характеристика антенны автомобиля для четвертьволнового вибратора. Диаграмма направленности для горизонтальной плоскости предполагается равномерной, а высота антенны равной 2,5 м.

2. По формуле (4.5) определяется величина необходимой напряженности поля в точке приема, а расчет ведется в следующей последовательности.

а) По формуле (4.2) определяется величина суммарных шумов в точке приема. Значение уровня внешних шумов берется из табл. 4.3.

Таблица 4.3

Значения уровня внешних шумов

Уровни внешних шумов											
для автомобильной станции								для стационарной станции			
в городе				за городом							
вероятное		рекомендуемое для расчета		вероятно		рекомендуемое для расчета		вероятное		рекомендуемое для расчета	
дБ	мкв/м	дБ	мкв/м	дБ	мкв/м	дБ	мкв/м	дБ	мкв/м	дБ	мкв/м
6 <sup>-10</sup>	2 <sup>-3,16</sup>	8	2,5	0 <sup>-6</sup>	1 <sup>-2</sup>	3	1,42	0 <sup>-17</sup>	1 <sup>-1,71</sup>	10	3,16

При точных расчетах значение внешних шумов следует определять по результатам измерений для конкретной местности, в случае применения ненаправленных антенн величина помех для антенны центральной станции может быть определена по формуле:

$$N_{п.с} = N_{п.с.табл} - 10 \lg D, \quad (4.6)$$

где  $N_{п.с}$  — расчетный уровень помех для антенны центральной станции, дБ;

$N_{п.с.табл}$  — уровень помех, указанный в табл. 4.3, дБ;

$D$  — коэффициент направленного действия антенны, равный 1,5.

Чувствительность приемника известна из паспортных данных. Затухание в антенно-фидерном тракте определяется также по известной величине погонного затухания фидера на данном участке.

Найденные значения величин подставляют в формулу (4.5).

б) В связи с тем, что значение величины сигнал/шум для большинства станций, применяемых в пожарной охране, дается по выходу приемника, ее пересчет на вход производится по формуле:

$$\left(\frac{S}{N}\right)_{вх} = \frac{\left(\frac{S}{N}\right)_{вых} F_{макс}}{\Delta f \sqrt{3}}, \quad (4.7)$$

где  $\left(\frac{S}{N}\right)_{вх}$  — отношение сигнал/шум на входе приемника;

$\left(\frac{S}{N}\right)_{вых}$  — отношение сигнал/шум на выходе приемника;

$F_{макс}$  — максимальная звуковая частота модуляции, кГц;

$\Delta f$  — величина девиации, кГц.

Найденное значение в относительных единицах пересчитывается в децибелы и подставляется в формулу (4.5).

в) Величина поправки на эквивалентную мощность передатчика определяется по формуле (4.4), а затем по графику (рис. 4.14) находится ее значение.

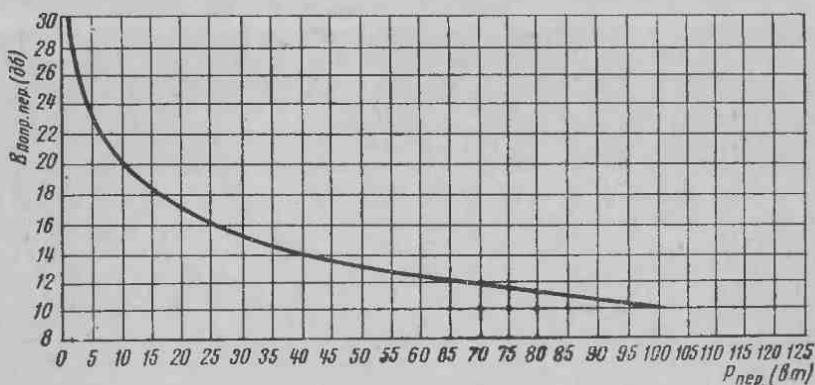


Рис. 4.14. График величины поправки, учитывающий номинальную мощность передатчика

Учет величины  $B_{\text{ф}}$ ,  $B_{\text{н}}$ ,  $\sigma_{\text{пер}}$  и  $\epsilon$  обычно производят при применении сложных антенн типа волновой канал, для простых антенн эти величины не учитываются, поэтому

$$B_{\text{ф}} = B_{\text{н}} = \sigma_{\text{пер}} = \epsilon = 0.$$

Величина затухания в фидере передатчика определяется аналогично затуханию в фидере приемника. Неравномерность диаграммы направленности антенны центрального пункта связи в горизонтальной плоскости в случае применения ненаправленных антенн принимается равной 3 дБ.

Найденные значения подставляются в формулу (4.5).

г) По графику (рис. 4.15) определяется значение поправки  $B_{\% \text{ местн.}}$ .

д) Для расстояний, не превышающих пределы прямой видимости, и расстояний, находящихся в пределах прямой видимости, величина  $B_{\text{зам}}$  для диапазона частот 140—174 мГц принимается равной +2 дБ, т. е.

$$B_{\text{зам}} = 2 \text{ дБ.}$$

Для тех же расстояний, т. е. при соблюдении условий прямой видимости, поправка на рельеф местности принимается равной —5 дБ.

Подставляя найденные величины в формулу (4.5), находят необходимую напряженность электрического поля в точке приема.

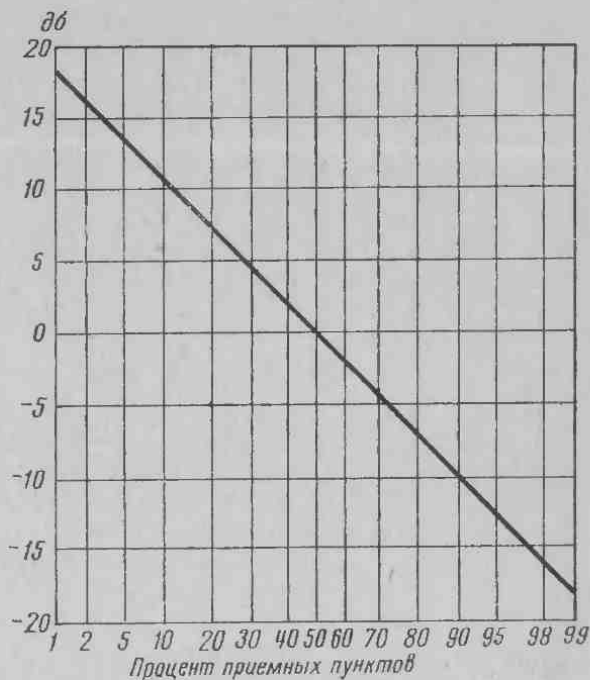


Рис. 4.15. Отношение напряженности поля для заданного процента пунктов приема к напряженности поля для 50% приемных пунктов

По графикам (рис. 4.16) определяется ожидаемая дальность связи.

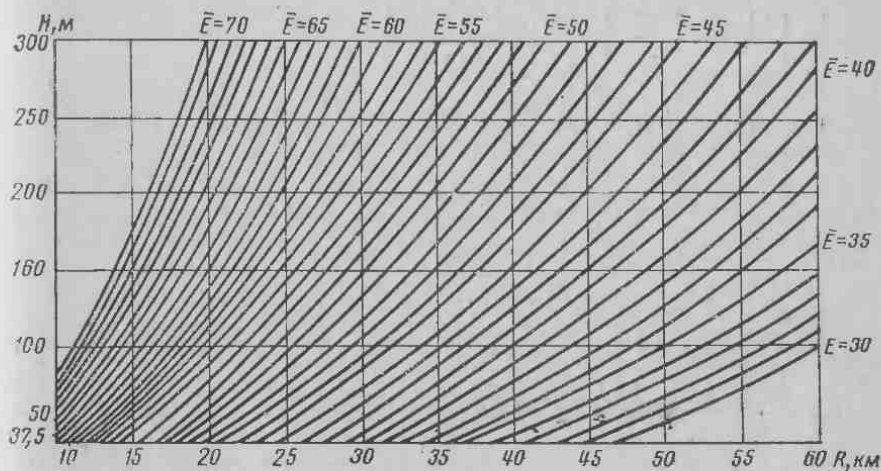


Рис. 4.16. Дальность связи в зависимости от высоты установки антенны и напряженности поля (дБ относительно 1 мкв/м) для 1 квт эффективно излучаемой мощности. Частота 40—450 мгц, суша; 50% времени, 50% пунктов;  $h_2 = 10$  м;  $\Delta h = 50$  м



Расчет производится для двух направлений, т. е. по направлению от центральной станции на автомобильную станцию и наоборот. За основу принимается меньшее значение.

Необходимо отметить, что за пределами рассчитанного расстояния радиосвязь с подвижными объектами не прекращается, лишь ухудшается качество связи. По мере удаления от центрального пункта связи разборчивость речи будет уменьшаться.

В реальных условиях в пределах рассчитанной зоны могут быть отдельные участки, на которых связь будет ухудшаться или совсем пропадет. Данное явление связано с интерференцией радиоволн, состоянием атмосферы и конкретным рельефом местности. Поэтому после определения зоны связи необходимо убедиться в наличии связи, особенно с территориями наиболее пожароопасных объектов.

Определение необходимой высоты установки антенны радиостанции центрального пункта радиосвязи осуществляется в несколько этапов, т. е. предполагается известной высота антенны, а затем, как и в предыдущем случае, дальность связи. По нескольким рассчитанным значениям строится график зависимости дальности связи от высоты антенны, по которому и определяется необходимая высота установки антенны. Примерный график показан на рис. 4.17.

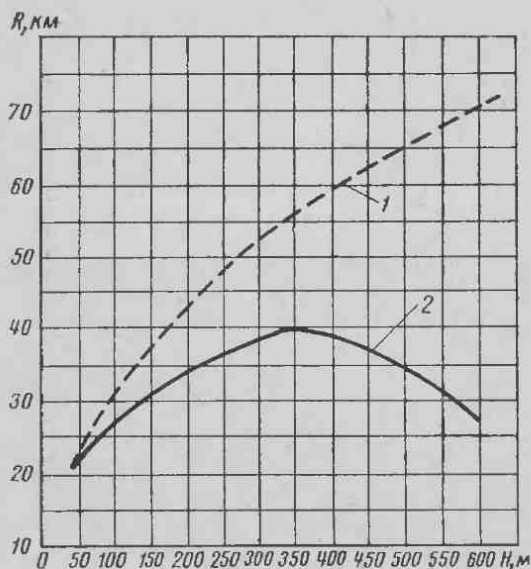


Рис. 4.17. Примерный график зависимости дальности действия УКВ-радиосвязи от высоты установки антенны  
1 — длина фидера равна 50 м;  
2 — длина фидера равна высоте подвеса антенны

В процессе расчета приходится переходить от относительных величин к децибелам и наоборот. Поэтому на рис. 4.13 дан график, позволяющий осуществлять такой переход.

## Глава 5

# ЭКСПЛУАТАЦИЯ РАДИОСТАНЦИЙ, ПРИМЕНЯЕМЫХ В ПОЖАРНОЙ ОХРАНЕ

### § 5.1. Помехи радиоприему и их подавление

Под помехами радиоприему понимаются посторонние электрические возмущения, накладывающиеся на передаваемый радиосигнал и затрудняющие его прием. При большой интенсивности радиопомех прием становится практически невозможным. В зависимости от происхождения и физических свойств помехи радиоприему подразделяются на следующие виды: помехи от соседних (по частоте) станций, промышленные, атмосферные и флуктуационные помехи.

Непрерывное увеличение количества радиостанций и ограниченные возможности использования радиочастотных диапазонов — противоречивые факторы современной радиосвязи.

**Помехи от соседних (по частоте) станций** обусловлены тем, что почти на всех диапазонах работает большое количество мощных радиостанций. Если эти помехи лежат в полосе пропускания приемного устройства, то они искажают полезный сигнал и воспринимаются в телефоне приемника как треск, щелчки, шорох и т. п.

Для осуществления нормального радиоприема необходимо, чтобы уровень полезного сигнала превышал уровень помех, в противном случае удовлетворительно выделить сигнал на фоне помех не удастся. Необходимое отношение уровня сигнала к уровню помех зависит от рода передачи. Нормальный прием при радиотелефонной связи может быть обеспечен при условии:

$$\frac{U_{\text{сиг}}}{U_{\text{пом}}} \geq 10. \quad (5.1)$$

Количественная оценка уровня помех производится измерением величины напряженности поля помех. Напряженность поля помех  $U_{\text{пом}}$  может быть определена, если известна величина общего коэффициента усиления радиоприемника  $K$  и действующая высота антенны  $h_d$ . Измеряя напряжение помехи на выходе приемника  $U_{\text{вых}}$ , легко рассчитать, что

$$U_{\text{пом}} = \frac{U_{\text{вых}}}{Kh_d}.$$

Как и напряженность поля сигнала,  $U_{\text{ном}}$  выражают в микро-вольтах на метр.

Так как воздействие помех на приемник зависит от его полосы пропускания, то, кроме величины напряженности поля помех, обычно указывают и ширину полосы пропускания приемника, при которой производилось измерение.

Причина помех от соседних станций — плохая техника и организация связи.

Для устранения взаимных помех между радиостанциями необходимо:

а) строго придерживаться установленного соответствующими соглашениями расписания волн, т. е. работать только на разрешенных каналах связи;

б) фильтровать низкочастотный сигнал так, чтобы ширина спектра не превышала половины интервала между несущими частотами;

в) устранять гармоники несущей частоты.

**Промышленные помехи** создаются от всевозможных электрических устройств, в которых при работе образуется мощное электромагнитное излучение. Источником промышленных помех может быть любая электрическая цепь, в которой происходят частые и резкие изменения тока, обычно связанные с размыканием и замыканием контактов, искрообразованием, ионизацией газа и т. п.

Примерное представление о значении уровня промышленных помех дает табл. 5.1.

Таблица 5.1

Средняя напряженность поля промышленных помех

Диапазон волн, мц	Род местности	Средняя напряженность поля промышленных помех (мкв.м) для ширины полосы, гц	
		200	6000
Средние волны 0,3 — 3,0	Большой город	35	200
	Средний город	15	80
Короткие волны 3 — 30	Сельская местность	3,5	20
	Город	0,7	4
	Сельская местность	0,4	2

Из табл. 5.1 видно, что сила промышленных помех понижается с увеличением частоты и при уменьшении полосы пропускания приемника. В диапазоне УКВ уровень промышленных помех еще более низкий.

При эксплуатации радиостанций пожарной охраны источниками сильных радиопомех являются электрооборудование и шины колес пожарных автомобилей.

Карбюраторные двигатели внутреннего сгорания с электрической системой зажигания создают радиопомехи за счет искровых разрядов, возникающих при работе систем зажигания и других элементов автомобильного электрооборудования и сопровождающихся высокочастотными электрическими колебаниями. Помехи в диапазоне от километровых до сантиметровых волн (электростатические заряды и последующие искровые разряды) возникают также при трении шин автомобиля о дорожное покрытие (в сухую погоду) и кузова о воздух.

В табл. 5.2 указаны уровни промышленных помех, создаваемых пожарными автомобилями типа ЗИЛ-150, ЗИЛ-151 на расстоянии 1 м от середины левого крыла.

Таблица 5.2

Уровни поля радиопомех, создаваемых различными устройствами пожарных автомобилей

Источники помех пожарных автомобилей	Уровни поля радиопомех (мкв/м) для диапазона частот, мГц	
	0,15 — 20	120 — 150
Система зажигания	3000	30 000
Генератор и реле-регулятор	10	300
Импульсные приборы	8	150
Стартер	15	250
Сигнал	5	500
Переключатель света	7	350

Как видно из табл. 5.2, система зажигания — наиболее опасный источник помех на автомобиле. Особенно велики помехи от системы зажигания в диапазоне УКВ. Если учесть, что длительность искрового разряда равна 0,2—0,5 мксек, а крутизна фронта тока и напряжения очень велика, то будет ясно, почему спектр помех простирается до 1000 мГц и выше (максимальные помехи от автомобилей возникают в полосе частот 120—150 мГц). Происходит это потому, что токоведущие провода системы зажигания, свечи и распределитель образуют колебательные контуры, резонансные частоты которых находятся как раз в диапазоне УКВ.

В зависимости от режима работы двигателя изменяется интенсивность радиопомех. Так, уровень помех возрастает, если повысить мощность двигателя. Кроме того, на уровень и спектр помех оказывает влияние расстояние между электродами свечи. С увеличением зазора от 0,4 до 1,0 мм уровень помех снижается примерно в 2 раза, а при дальнейшем росте расстояния между электродами свечи уровень помех вновь повышается.

Как видно из табл. 5.2, другие электрические устройства (генератор, импульсные приборы, переключатель света и т. д.) также создают помехи радиоприему, однако уровень поля этих помех

значительно меньше уровня поля помех, создаваемого системой зажигания автомобильного двигателя.

Борьба с промышленными помехами, попавшими в приемное устройство, чаще всего сложна и малоэффективна. Поэтому необходимо подавлять помехи в местах их возникновения, т. е. в источниках этих помех.

Для этого следует разрабатывать схемы и конструкции устройств, обеспечивающие необходимый уровень подавления помех, нужно отказаться от конструкций и схем, имеющих разрывные контакты; необходимо применять асинхронные двигатели вместо коллекторных, ламповые высокочастотные генераторы с двухтактной схемой (для устранения второй гармоники) вместо искровых ВЧ-генераторов; помехообразующие элементы следует помещать в металлические корпуса устройств, как в экраны; выбирать нужно такой режим работы устройств, при котором помехи минимальны. Для этих же целей следует уменьшать э. д. с. и токи помех, устанавливать искрогасительные устройства на разрывных контактах, увеличивать затухание в проводах.

Основным способом подавления промышленных радиопомех, распространяющихся по проводам, является их фильтрация. Фильтры включаются, как правило, между каждым токонесящим проводом и землей (в качестве «земли» можно использовать металлический корпус устройства). Применяются как емкостные (чаще всего), так и индуктивно-емкостные фильтры (рис. 5.1).

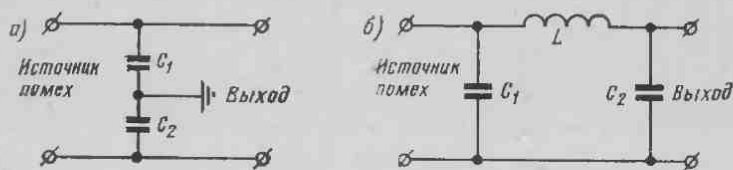


Рис. 5.1. Схемы фильтров для подавления помех  
а — емкостные; б — индуктивные

В этих фильтрах используются специальные помехоподавляющие конденсаторы и дроссели. Защитные конденсаторы имеют небольшую собственную индуктивность. Для подавления помех используются также специальные конденсаторы проходного типа, которые включают в разрыв токонесящего провода, а металлические корпуса конденсатора и источника помех соединяют.

Самым простым и распространенным способом подавления помех, возникающих в системе зажигания пожарных автомобилей, является применение резистивных свечей и экранирование проводов и свечей зажигания (уровень помех при этом в полосе 100—400 мГц значительно уменьшается). В настоящее время все пожарные автомобили отечественного производства выпускаются с помехоподавляющими устройствами.

Эффективным способом подавления промышленных помех является экранирование их источника с помощью магнитоэлектрических, электростатических и электромагнитных экранов.

С 1 июля 1963 г. для вновь проектируемого, разрабатываемого и выпускаемого оборудования, агрегатов и механизмов введены общесоюзные нормы допустимых промышленных радиопомех. В 1966 г. на основе накопленного опыта применения норм были разработаны и утверждены дополнения и изменения к ним. Нормы на аналогичные устройства, изготовленные до 1 июля 1963 г., были введены с 1 января 1967 г. Главная цель принятых норм — обеспечение более качественной работы радиоэлектронных средств в полосе частот 0,15—400 мГц, в которой создаются наибольшие промышленные радиопомехи.

Согласно этим нормам устройства с двигателями внутреннего сгорания с электрической системой зажигания должны иметь уровень поля радиопомех в полосе частот 20—400 мГц не более 20 мкВ (при измерении на расстоянии 10 м от автомобиля).

**Атмосферные помехи**, обусловленные электрической деятельностью атмосферы, относятся к радиопомехам природного происхождения. Источники этих помех: грозовые разряды, явление электризации приемных антенн атмосферным электричеством, атмосферные осадки и песчаные бури. При грозовом разряде в радиоприемнике слышен сильный треск, в особенности на длинных волнах. Сильную помеху создает, например, иней на антенне, так как каждая оседающая на антенну частица может нести значительный электрический заряд. Аналогичный эффект могут вызвать пыльные бури, когда частицы пыли наэлектризовываются при трении о воздух.

Представление о величине напряженности поля, созданного грозовыми помехами, можно получить из табл. 5.3.

Таблица 5.3

**Напряженность поля грозовых помех**

Длина волны, м	Напряженность поля грозовых помех летом (мкВ/м) для ширины полосы	
	200 гц	6000 гц
2000	14	80
800	6	32
200	1,5	8

Таблица 5.3 отражает сильное возрастание атмосферных помех с увеличением ширины полосы пропускания и длины волны. Энергия излучения грозовых разрядов сосредоточена главным образом в области низких радиочастот. Коротковолновый диапазон, широко используемый для радиосвязей, практически свободен от атмосферных помех.

В связи с освоением ультракоротковолнового диапазона в некоторой степени изучены помехи, обусловленные излучением внеземных объектов, в частности Солнца. Мощное излучение Солнца не только влияет на ионизацию верхних слоев атмосферы и изменяет таким образом условия связи на коротких волнах, большая доля энергии излучения лежит также в области ультракоротковолнового диапазона и непосредственно воспринимается в качестве помехи приемниками, работающими в этом диапазоне.

**Флуктуационные помехи** могут проникать в систему связи не только извне, они могут зарождаться также внутри самой системы в различных ее звеньях.

Такого рода помехи неизбежно сопутствуют основным явлениям, происходящим в аппаратуре. Помехи, обусловленные флуктуациями тех или иных физических величин, носят название флуктуационных.

Примером флуктуационных помех является дробовый эффект в электронных лампах или переменное напряжение, обусловленное тепловым движением свободных электронов (электронов проводимости) в веществе сопротивления.

Таким образом, всякое сопротивление является генератором шума. Эффективное значение флуктуационного напряжения выражается формулой Найквиста:

$$E_{ш}^2 = 4kTRF, \quad (5.2)$$

где  $k$  — постоянная Больцмана;  $k = 1,37 \cdot 10^{-23}$  вт·сек/град;  
 $T$  — абсолютная температура, которую имеет сопротивление  $R$ ;  
 $R$  — действительная составляющая комплексного сопротивления;  
 $F$  — полоса частот.

Характерная особенность флуктуационных помех заключается в том, что явления, порождающие эти помехи, принципиально не могут быть устранены. Они связаны с дискретным строением вещества, с дискретной природой электрического тока. Устранить тепловое движение невозможно, оно прекращается лишь при температуре абсолютного нуля.

Таким образом, наличие любой помехи затрудняет прием сигналов. При большой же интенсивности помех распознавание сигнала может стать невозможным.

Увеличение отношения сигнал/помеха можно получить несколькими способами: либо за счет увеличения длительности сигнала, либо за счет расширения его спектра.

## § 5.2. Эксплуатация радиостанций. Вопросы эксплуатационной надежности

Радиостанции, применяемые в пожарной охране, представляют собой сложные радиотехнические устройства, разработанные с учетом последних достижений в области радиоэлектроники и автоматики.

Трудность обеспечения высокой надежности радиостанций в ряде случаев обусловлена тяжелыми условиями их эксплуатации. Действительно, радиостанции, применяемые в пожарной охране и используемые для ведения связи на ходу пожарного автомобиля, а также в период тушения пожара, работают в условиях интенсивных воздействий различных внешних факторов (температуры, влажности, вибраций, ударов, шума, электрических помех и т. п.).

**Эксплуатация радиостанций**, применяемых в пожарной охране,—это использование их по прямому назначению или в процессе поддержания требуемой готовности. Эксплуатация включает в себя использование радиостанций для целей связи, их техническое обслуживание, ремонт и хранение. Общая схема эксплуатации радиостанций, применяемых в пожарной охране, приведена на рис. 5.2.



Рис. 5.2. Общая схема эксплуатации радиостанций пожарной охраны

Основной частью эксплуатации является непосредственное использование средств связи. Однако некоторые типы радиостанций, установленных на пожарных автомобилях, используются только в течение сравнительно коротких промежутков времени; остальное время радиостанции находятся в состоянии резервной готовности. Таким образом, эксплуатацию радиостанций можно разделить на два этапа: подготовку к применению и применение. На этапе подготовки радиостанции используются так, чтобы обеспечить их боевое применение в требуемый момент и безотказность дальнейшего функционирования.

На этапе применения радиостанция используется по прямому назначению.

Как при использовании, так и при подготовке к применению, в



радиостанциях могут возникать неисправности, которые должны устраняться. Для уменьшения вероятности отказов проводятся профилактические мероприятия, кроме того, для перевода радиостанций из состояния хранения в состояние использования часто требуется проведение ряда подготовительных операций. Все эти операции относятся к техническому обслуживанию радиоаппаратуры. Кроме текущего ремонта, для восстановления ресурса проводятся капитальные ремонты, при проведении которых радиостанции подвергаются полной разборке и поэтому выводятся из состояния использования.

*Техническое обслуживание* представляет собой совокупность организационных и технических мероприятий, направленных на поддержание надежности и готовности используемого и хранящегося радиооборудования. В техническое обслуживание входят работы по непосредственному обеспечению работоспособности радиостанций (профилактика и текущий ремонт), контрольные мероприятия, а также конкретные мероприятия технической подготовки радиостанций к работе (развертывание, настройка, входение в связь и т. п.).

Техническое обслуживание включает как мероприятия, связанные с обнаружением возникших отказов и их устранением, так и профилактические мероприятия, предупреждающие отказы при дальнейшей работе радиостанций.

**Профилактические мероприятия** проводятся с целью предупреждения отказов. Основой этих мероприятий является профилактическая регулировка узлов радиостанции и замена ненадежных элементов, обнаруженных в процессе контроля или прогнозирования.

Таким образом, профилактическая работа представляет собой комплекс мероприятий, направленных на предупреждение отказов радиоаппаратуры и продление срока ее службы.

При организации профилактических работ перед обслуживающим персоналом возникают противоречивые требования: с одной стороны, необходимо повышать надежность работы радиостанций, применяемых в пожарной охране, за счет проведения профилактических мероприятий (что требует определенных затрат времени), с другой стороны, экономически не выгодно длительный простой на профилактике дорогостоящего оборудования. Поэтому существуют оптимальные условия проведения профилактики, при которых обеспечивается достаточно высокая надежность при минимальном простое оборудования.

Профилактические работы характеризуются количественными и качественными показателями.

Эффективность профилактики  $W$  количественно показывает степень повышения надежности аппаратуры за счет проведения на ней профилактических работ:

$$W = \frac{1}{1 - A(T_3)P_{п,в}} \quad (5.3)$$

Это выражение устанавливает количественную зависимость между эффективностью профилактических мероприятий, характером отказов  $A(T_3)$  и вероятностью предотвращения отказов  $P_{п.в}$ .

В формуле (5.3) значение коэффициента характера отказов определяется выражением:

$$A(T_3) = \frac{n_{п}(T_3)}{n_{п}(T_3) + n_{п.в}(T_3)}, \quad (5.4)$$

где  $n_{п}(T_3)$ ,  $n_{п.в}(T_3)$  — количество предотвращаемых и непредотвращаемых отказов соответственно.

Вероятность предотвращения отказов  $P_{п.в}$  определяется качеством работы по выявлению неисправных элементов и в общем случае определяется как

$$P_{п.в} = \frac{n_{п.в}}{n_{п}}, \quad (5.5)$$

где  $n_{п.в}$  — число неисправностей, выявленных в процессе профилактики (предполагается, что все выявленные неисправности должны были привести к отказу радиоаппаратуры);

$n_{п}$  — общее число предотвращаемых отказов, которые определяются неисправностями, накопленными к моменту проведения профилактики, в том числе и не выявленные.

Для оценки эффективности профилактики вводится специальный коэффициент  $k_{э.п}$ , определяемый отношением числа предотвращенных отказов (выявленных неисправностей) ко всему числу неисправностей  $n$ , возникающих в данном типе радиостанций, т. е.

$$k_{э.п} = \frac{n_{п.в}}{n}. \quad (5.6)$$

Учитывая, что

$$n = n_{п.ф} + n_{п.в}, \quad (5.7)$$

где  $n_{п.ф}$  — число отказов профилактируемой аппаратуры; и

$$W = \frac{n}{n_{п.ф}}, \quad (5.8)$$

получим искомое выражение:

$$W = \frac{1}{1 - k_{э.п}}, \quad (5.9)$$

которое показывает качественную оценку профилактическим мероприятиям.

Научно обоснованная система профилактического обслуживания позволяет не только поддерживать уровень надежности ра-

радиостанций, который заложен в нее на стадии проектирования и производства, но и дает возможность повысить его за счет предотвращения части отказов своевременным устранением неисправностей. Поэтому одним из главных вопросов в научном обосновании профилактических мероприятий является изучение закономерностей возникновения и накопления неисправностей радиостанций, применяемых в пожарной охране.

Существующие в настоящее время системы профилактических мероприятий обосновываются на обобщении результатов опыта эксплуатации радиостанций, применяемых в пожарной охране, на протяжении ряда лет. За основу определения интервалов времени между профилактическими мероприятиями принимается число часов работы аппаратуры (наработка). Профилактические работы проводятся по истечении времени наработки аппаратуры. Такая система профилактики называется регламентной.

*Регламентная система* профилактического обслуживания пожарных радиостанций обуславливается как условиями их применения, так и условиями эксплуатации.

Процесс проведения профилактического обслуживания для большинства радиостанций, применяемых в пожарной охране, можно разделить на следующие характерные этапы.

#### 1. Внешний осмотр радиостанции:

осмотр исправности и надежности крепления всех блоков, устройств подвески и крепления;

проверка механической исправности органов управления, замков, держателей, фиксирующих устройств;

осмотр трущихся и шарнирных узлов, крепежных деталей и резьбовых соединений;

проверка исправности соединительных кабелей, штырьков и гнезд разъемов.

#### 2. Профилактические испытания узлов и блоков радиостанции под током:

определение состояния источников питания (аккумуляторов, преобразователей и фильтров);

проверка режимов работы, регулировка и подстройка отдельных элементов;

проверка работоспособности передатчика и приемника радиостанции, а также антенных устройств (фидера, излучателя, проходных и опорных изоляторов).

#### 3. Регламентные работы:

внешний осмотр и смазка радиостанции;

проверка работоспособности радиостанции на соответствие основных электрических характеристик (частоты и мощности передатчика, чувствительности и выходной мощности приемника, допустимые отклонения частот тональных генераторов и гетеродинов приемника и т. п.);

контроль работы радиостанции на двухстороннюю связь с ближней и удаленной станциями.

При проведении профилактического обслуживания радиостанций, применяемых в пожарной охране, при отладке и настройке их в соответствии с заданными параметрами производятся поиск и устранение неисправностей. Уменьшение времени проведения регламентных работ определяется рядом факторов, среди которых важное место занимает общая методика обнаружения неисправностей.

В радиостанции сначала выявляется неисправный тракт, затем в тракте определяется неисправный блок, в блоке — каскад, в каскаде — элемент, цепь. Таким образом, поиск неисправности состоит в последовательном делении всей схемы радиостанции на крупные участки с отбрасыванием исправных, затем на все более мелкие участки. Такой метод обнаружения неисправностей является необходимым, но недостаточным. Для его реализации нужны определенные приемы (способы) испытаний по обнаружению неисправностей и порядок их использования, вытекающий из особенностей радиостанции и характера возникшей неисправности. Наиболее распространенными способами являются: способ внешнего осмотра, контрольных переключений и регулировок, способ промежуточных измерений, способы сравнения и замены и др.

Время, затрачиваемое на обнаружение отказавшего элемента и причины отказа, зависит от рационального применения совокупности способов, так как найти неисправность одним из них, как правило, не удается.

**Капитальные ремонты** направлены на восстановление полностью или частично израсходованного ресурса радиостанции. Под ресурсом понимается наработка в часах до предельного состояния, оговоренного в технической документации. При планировании капитальных ремонтов исходят из степени износа радиостанции, стоимости ремонта, а также морального старения радиоаппаратуры. Основным вопросом при обосновании капитальных ремонтов является определение межремонтных сроков. Оптимальные межремонтные сроки наиболее часто определяют, исходя из экономических соображений.

Качественная техническая документация на радиостанцию — важнейшее условие организации правильной ее эксплуатации, а следовательно, и соблюдения режимов, учтенных при расчете надежности оборудования.

В комплект технической документации обычно входят техническое описание, инструкция по применению, инструкция по техническому обслуживанию, а также формуляр.

В техническом описании указываются состав радиостанции, ее конструктивное оформление, рассматриваются принцип работы элементов и их взаимодействие в разных режимах, а также влияние всех органов управления на функционирование радиостанции. Здесь же приводятся принципиальные и монтажные схемы, а также схемы электрических соединений.

Инструкция по применению предназначена для обучения радиотелеграфистов правильной эксплуатации радиостанции с учетом соблюдения правил по технике безопасности.

В инструкции по техническому обслуживанию излагаются указания об условиях эксплуатации радиостанции, о периодичности и объеме профилактических работ и методике их проведения.

В формуляре радиостанции делаются отметки о неисправностях и произведенном ремонте, а также объем профилактических мероприятий.

Рационально организованное техническое обслуживание пожарных радиостанций позволяет не только поддерживать на определенном уровне их надежность, но и существенно повысить ее. Поэтому регламентные работы, а также ремонт с заменой деталей производятся специализированными мастерскими.

Для проверки основных параметров радиостанций, применяемых в пожарной охране, используются осциллографы и генераторы стандартных сигналов, ламповые вольтметры и измерители нелинейных искажений, звуковые генераторы и частотомеры, испытатели ламп и транзисторов, комбинированные приборы типа ампервольтметра и др. Основными параметрами радиостанций являются те количественные показатели, которые определяют выполнение рабочих функций: выходная мощность передатчика, чувствительность микрофонного входа и приемника в целом, максимальная девиация частоты и допустимые отклонения частот генераторов, выходная мощность и др.

Иногда для большей конкретизации и определенности различают техническую надежность и надежность эксплуатационную.

**Под технической надежностью** понимается надежность, определяемая путем испытания радиостанции при работе с типовыми режимами, оговоренными в технических условиях.

**Под эксплуатационной надежностью** понимается надежность, определяемая в реальных условиях эксплуатации с учетом комплексного воздействия внешних и внутренних факторов, связанных с климатическими особенностями эксплуатации, реальными режимами работы радиостанции и условиями ее обслуживания.

При эксплуатации радиостанций, применяемых в пожарной охране, на их надежность влияют следующие основные факторы.

1. Условия эксплуатации: производственные и климатические. Воздействие высоких и низких температур, высокая влажность и дождь оказывают большое влияние на надежность радиостанций, работающих вне помещений.

Размещение радиостанций около крупных агрегатов и силовых установок связано с воздействием на них механических и акустических колебаний. Это вызывает ускорение старения деталей и появление отказов. Если радиостанция установлена на автомобиле, то к действию климатических факторов прибавляется воздействие вибраций и ускорений.

2. Тщательно продуманная система обслуживания имеет существенное значение для сохранения надежности радиоаппаратуры. Налаженный уход за радиостанцией, профилактика и ремонт с заменой износившихся деталей и элементов, характеристики которых показали при контроле отклонения от нормы, позволяют предотвратить отказы и продлить срок службы станции.

3. Квалификация и ответственность обслуживающего персонала имеют важнейшее значение для обеспечения надежности и эффективности работы радиостанции. Практика показывает, что влияние оператора на безотказность радиоаппаратуры очень велико. Среднее время безотказной работы одной и той же радиостанции увеличивается при эксплуатации ее более квалифицированными специалистами.

Для повышения эксплуатационной надежности радиостанций, применяемых в пожарной охране, необходимо:

применять тщательно разработанные и обоснованные инструкции и методики по эксплуатации, профилактике и ремонту радиостанций;

использовать персонал, только вполне подготовленный к обслуживанию данного типа радиостанции и допущенный к работе приказом начальника УПО — ОПО;

правильно устанавливать права, обязанности и ответственность обслуживающего персонала. В соответствии с установленным правилом при заступлении на дежурство каждая радиостанция, закрепленная за определенными лицами, должна проверяться на двухстороннюю связь;

организовать сбор полных и достоверных статистических данных об отказах и простоях радиоаппаратуры;

периодически проводить анализ данных и разрабатывать рекомендации по улучшению эксплуатации радиостанций, а также совершенствованию конструкции и технологии изготовления отдельных узлов и деталей;

для новых радиостанций организовывать опытную эксплуатацию в условиях, близких к реальному использованию (при пожаре), с участием разработчиков и изготовителей аппаратуры.

## Глава 6

### ПОЖАРНЫЕ ИЗВЕЩАТЕЛИ

#### § 6.1. Общие характеристики пожарных извещателей

Пожарный извещатель, как и всякий элемент автоматики, в общем виде можно рассматривать в качестве преобразователя энергии, на вход которого подается некоторая величина  $x$ , а с выхода получается величина  $y$ .

Различают два вида преобразователей. В одних энергия выходной величины  $y$  берется исключительно из входной величины  $x$  (рис. 6.1, а). В других преобразователях необходим вспомогательный источник энергии  $z$  (рис. 6.1, б), а величина  $x$  лишь управляет передачей энергии источника  $z$  в выходную величину  $y$ . Преобразование малой входной энергии величины  $x$  в изменение большой выходной энергии величины  $y$  возможно при наличии вспомогательного источника. Величины входных и выходных параметров могут быть как электрическими, так и не электрическими. Нам больше интересуют способы преобразования неэлектрических входных величин в электрические выходные величины.

Извещателем (преобразователем энергии) называют чувствительный элемент, преобразующий контролируемую величину в величину другого вида, более удобного для воздействия на управляющий орган системы сигнализации и противопожарной автоматики.

Извещатель, преобразующий изменение контролируемой величины непосредственно в э. д. с. без наличия дополнительного источника питания, относится к типу генераторных извещателей (рис. 6.1, а).

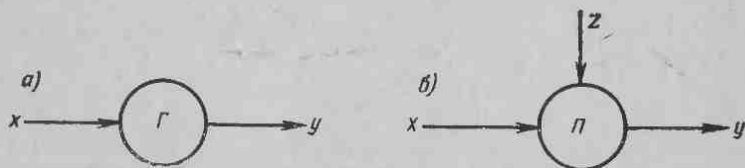


Рис. 6.1. Преобразователи энергии  
а — генераторный преобразователь; б — параметрический преобразователь

Извещатель, преобразующий изменение контролируемой величины в изменение параметра электрической цепи (в изменение емкости, индуктивности, активного сопротивления) через средство дополнительного источника питания, относится к типу параметрических извещателей (рис. 6.1, б).

Связь между значениями  $x$  и  $y$  определяется некоторой функцией вида

$$y = F(x). \quad (6.1)$$

Извещатели могут характеризоваться рядом общих параметров: коэффициентом преобразования, чувствительностью, инерционностью (или постоянной времени), рабочим диапазоном, коэффициентом усиления, коэффициентом стабилизации, погрешностью. Эти характеристики применяются ко всем извещателям, выполняющим те или иные функции, независимо от физического принципа действия и конструктивного исполнения.

Для извещателя коэффициент преобразования и чувствительность  $S$  — понятия идентичные и представляют собой отношение выходной величины  $y$  к входной величине  $x$  или отношение приращения выходной величины ( $\Delta y$ ;  $dy$ ) к приращению входной величины ( $\Delta x$ ;  $dx$ )

$$S = \frac{y}{x}; \quad S_{\Delta} = \frac{\Delta y}{\Delta x} \approx \frac{dy}{dx}. \quad (6.2)$$

Графически чувствительность извещателя  $S_r$  определяется углом наклона касательной к характеристике извещателя в рабочей точке  $S_r = \operatorname{tg} \alpha$  (рис. 6.2).

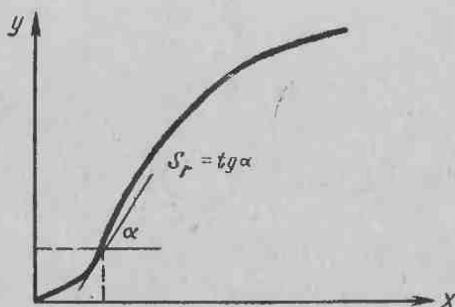


Рис. 6.2. Нелинейная характеристика извещателя

В извещателе с прямолинейной характеристикой его чувствительность не зависит от выбора рабочей точки. При использовании непрямолинейного участка характеристики извещателя вво-



дится понятие о средней чувствительности в пределах используемого участка характеристики.

Реальный извещатель в связи с наличием внешних и внутренних причин обладает порогом чувствительности, представляющим собою минимальное (по абсолютной величине) значение отклонения входной величины, способное вызвать заданное изменение выходной величины.

В извещателях, имеющих элементы усиления входного сигнала, при постоянстве входной величины может возникнуть некоторое изменение выходной величины в виде ее нестабильности, дрейфа, шума.

Допустим, что при отсутствии шума зависимость между выходной и входной величинами выражается характеристикой 1, а уровень шума, не зависящий от входной величины, выражается характеристикой 2 (рис. 6.3). Как известно, шум носит случайный характер, но не превышает какую-то известную величину  $\Delta y$ . Поэтому

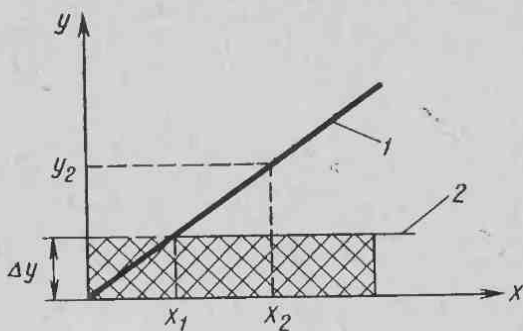


Рис. 6.3. Прямолинейная характеристика извещателя

му, если  $x \leq x_1$ , то выходная величина  $y \leq \Delta y$  может появиться как под действием  $x$ , так и в результате наличия шума. Появление на выходе величины  $y_2 > \Delta y$  — несомненно результат наличия на входе величины  $x_2$ . Обычно известно заранее, имеется ли на выходе шум или нет. Однако во всех случаях при  $x_2 > x_1$  на выходе заведомо появляется  $y_2 > \Delta y$ . Величину  $x_1$  в связи с этим можно считать порогом чувствительности (практически обычно за порог чувствительности принимают величину, несколько большую  $x_1$ ). Подобное определение является по существу приведением нестабильности выходной величины (шума, помех, дрейфа) ко входу.

Инерционность, или постоянная времени, извещателя показывает, сколько быстро его выходной параметр принимает значение, соответствующее его входному параметру после изменения последнего.

Простейший случай, когда входная величина  $x$  изменяется скачком от 0 до значения  $x_1$ , показан на рис. 6.4, а.

Допустим, что значению  $x_1$  (рис. 6.4, а) соответствует в статическом режиме значение  $y_1$  выходной величины (рис. 6.4, б). После изменения входной величины  $x$  величина  $y$  достигает своего значения  $y_1$  не сразу, а спустя некоторое время  $t_y$ , в течение которого в извещателе происходит так называемый переходный процесс.

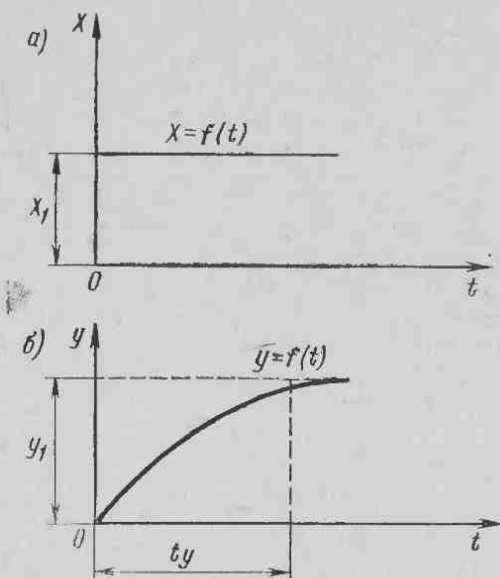


Рис. 6.4. Временные зависимости характеристик извещателя

а — временная зависимость входной величины;  
б — временная зависимость выходной величины

Установление выходной величины  $y$  в наиболее простых случаях технических решений происходит по показательному закону

$$y = y_1(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}), \quad (6.3)$$

где  $\tau$  — коэффициент, называемый постоянной времени;  
 $t$  — текущее время.

Инерционность извещателя в общем виде характеризуется временем, необходимым для приближения выходной величины  $y$  с достаточной точностью к установившемуся значению  $y_1$ . Это время  $t_y$  называется временем установления выходной величины (рис. 6.4, б).

Графики, представленные на рис. 6.4, при соответствующих допущениях могут отражать временные характеристики модели извещателя пожара, возникшего в виде вспышки пламени.

Извещатели пожара по температуре будут иметь другие динамические характеристики с некоторым временем нарастания входной величины до порогового значения скачкообразного возникновения выходной величины.

Важным параметром извещателя является погрешность, выраженная в изменении выходной величины  $y$  и возникающая вследствие внутриэлементных свойств извещателя (износ элементов, старение и т. д.) или в результате изменения внешних условий его работы (изменение окружающей температуры, направления питания и т. п.). Различают абсолютную, относительную и приведенную относительную погрешности.

Абсолютной погрешностью называется разность между полученным значением выходной величины  $y'$  и градуировочным (или расчетным) ее значением  $y$ :

$$\Delta y = y' - y. \quad (6.4)$$

Относительной погрешностью называется отношение абсолютной погрешности к действительному значению выходной величины. В процентах относительная погрешность определяется следующим образом:

$$a\% = \frac{\Delta y}{y} 100. \quad (6.5)$$

При постоянстве абсолютной погрешности относительная погрешность тем больше, чем меньше выходная величина  $y$ .

Приведенной относительной погрешностью называется отношение абсолютной погрешности к максимальному значению выходной величины, определяющему диапазон ее изменения:

$$b\% = \frac{\Delta y}{y_{\max}} 100. \quad (6.6)$$

Относительная и приведенная относительная погрешности являются величинами безразмерными.

Разрешающие способности извещателя пожара во многом предопределяют эффективность работы всего комплекса противопожарной автоматики.

Основным показателем эффективности работы пожарной сигнализации является время от начала возникновения очага пожара на контролируемом объекте до выдачи сигнала тревоги на диспетчерском пункте, а при наличии автоматических средств тушения — до выдачи сигнала на привод средств тушения. Чем меньше указанное время, тем выше вероятность ликвидации пожара.

Наиболее характерным для пожаров на обычных объектах является развитие их из небольших локальных очагов загорания. Сложность обнаружения очага пожара на ранней стадии заключается в первую очередь в том, что извещатель зачастую оказывается на значительном удалении от очага пожара, в связи с чем энергетические компоненты достигнут чувствительного элемента

извещателя спустя некоторое время. Относительное изменение температуры среды, а также концентрации продуктов горения на этой стадии незначительны, с низкими энергетическими возможностями. Следовательно, для своевременного обнаружения пожара извещатель должен обладать высокой чувствительностью.

С другой стороны, чтобы не выдавать ложных сигналов, извещатель должен обладать достаточной помехозащищенностью. В связи с этим при выборе типа извещателя необходимо учитывать категорию объекта как с точки зрения пожарной опасности материальных ценностей, так и наличия помех.

Общим требованием для извещателей пожара является необходимость получения скачкообразного изменения выходной величины при достижении входной величины наперед заданного значения, т. е. извещатели, как правило, должны иметь порог срабатывания по выбранному параметру обнаружения пожара. Выходная величина в виде дискретного сигнала подается в цепь системы автоматики пожарной сигнализации только в том случае, когда первичный параметр пожарной опасности достиг критического значения. Это значение задается при конструировании извещателя.

При изменении входной величины  $x$  от 0 до  $x_2$  выходная величина  $y$  остается постоянной и равной  $y_1$  или нулю (рис. 6.5).

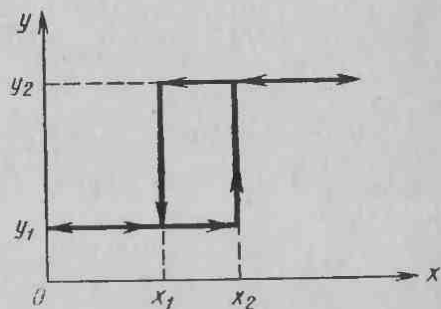


Рис. 6.5. Релейная характеристика извещателя

В момент  $x = x_2$  происходит скачок и выходная величина изменяется от  $y_1$  до  $y_2$ .

При дальнейшем увеличении  $x$  выходная величина остается постоянной и равной  $y_2$ .

При уменьшении входной величины до значения  $x_1$  выходная величина также остается равной  $y_2$ , но в момент  $x = x_1$  происходит скачок, выходная величина уменьшается до значения  $y_1$  и это значение приблизительно сохраняется неизменным при уменьшении  $x$  до нуля.

Отношение величины сброса  $x_1$  к величине срабатывания  $x_2$  можно назвать коэффициентом возврата, или коэффициентом сброса, информации

$$k_{в(с.и)} = \frac{x_1}{x_2}. \quad (6.7)$$

Извещатели характеризуются еще и таким важным параметром, как достоверность выданной информации. Извещатели пожара работают в условиях сложной нестационарной среды, воздействующей на его разрешающие параметры. В результате этого достоверность выданной информации снижается и увеличивается вероятность возникновения ложных сигналов.

Обеспечение избирательных качеств (селективности) извещателя по основному параметру обнаружения пожара является одним из эффективных методов повышения помехоустойчивости и, следовательно, достоверности выдаваемой информации.

В зависимости от принятого параметра обнаружения пожара извещатель может обладать временной селекцией сигнала, спектральной селекцией и селекцией по физико-химическим свойствам продуктов горения.

Извещатели пожара делятся на извещатели ручного действия, предназначенные для выдачи дискретного сигнала при нажатии соответствующей пусковой кнопки, и извещатели автоматического действия — для выдачи дискретного сигнала при достижении заданного значения физического параметра (температуры, спектра радиационного излучения, продуктов горения).

Автоматические извещатели по принципу преобразования физического параметра, характеризующего пожар, в электрический сигнал подразделяются в свою очередь на извещатели: тепловые, инфракрасного излучения, ультрафиолетового излучения, продуктов горения и ультразвуковые.

На промышленных предприятиях, где имеются пожароопасные цехи, в складских помещениях с горючими и огнеопасными материалами и жидкостями наряду с извещателями ручного действия применяются и автоматические извещатели.

Автоматические извещатели целесообразно применять также в театрах, клубах, цирках, выставках и магазинах. Особенно важно применять автоматические извещатели в помещениях, которые большую часть суток остаются без людей, где даже ничтожное загорание может привести к большому пожару с огромным материальным ущербом.

## § 6.2. Извещатели ручного действия

Извещатели ручного действия — это в основном простейшие электрические устройства, предназначенные для подачи вручную сигнала о пожаре на диспетчерский пункт.

К извещателям ручного действия предъявляются специфические требования, направленные на повышение эффективности их действия в условиях пожарной опасности. Так, например, извещатель должен:

а) обеспечить однозначно передачу сигнала тревоги на приемный пульт (при централизованной системе наблюдения за охра-

няемыми объектами) и получение обратного сигнала с пульта, подтверждающего прием сигнала тревоги;

б) иметь простую конструкцию, обеспечивающую свободную подачу сигнала тревоги путем осуществления простых операций (разбить стекло, нажать кнопку);

в) иметь лаконичную и хорошо видимую надпись о способе подачи сигнала;

г) иметь приспособление для фиксирования факта подачи сигнала тревоги (контрольное стекло).

Извещатели ручного действия делятся на простые и кодовые.

Простые извещатели представляют собой конструкцию, обеспечивающую при нажатии кнопки разрыв соответствующей электрической цепи. В сеть пожарной сигнализации такие извещатели включаются в радиальные лучи (линии связи) и потому иногда их называют лучевыми.

Кодовые извещатели снабжены специальными кодонаборными механизмами, приводящимися в действие при нажатии пусковых кнопок.

Каждому извещателю задается соответствующий номер кода. Такие извещатели включаются последовательно в общую кольцевую линию связи, что позволяет сэкономить значительное количество провода по сравнению с лучевым способом включения извещателей.

Принципиальная электрическая схема извещателя ручного действия (лучевой системы включения) показана на рис. 6.6. В де-

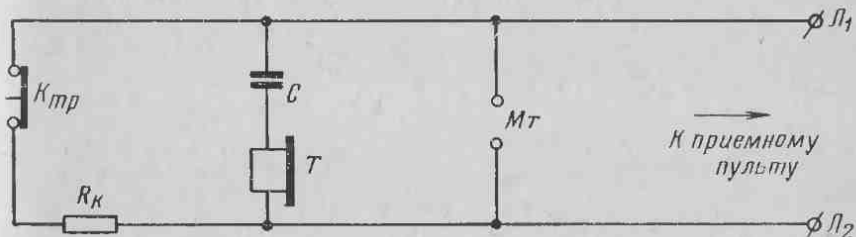


Рис. 6.6. Схема ручного извещателя

журном состоянии извещателя ток контроля линии связи со стороны приемного пульта протекает по цепи от клеммы  $\mathcal{L}_1$  через  $K_{тр}$ ,  $R_K$  к клемме  $\mathcal{L}_2$  (где  $\mathcal{L}_1$  и  $\mathcal{L}_2$  — клеммы подключения линии связи;  $K_{тр}$  — кнопка тревоги,  $R_K$  — сопротивление контрольное). При нажатии кнопки «тревога» происходит обрыв цепи протекания контрольного тока в контактах кнопки, что фиксируется приемным пультом.

Гнезда  $M_T$  служат для переносного микрофона, с помощью которого осуществляются телефонные переговоры с приемным пультом. Вызов приемного пульта со стороны извещателя производится вставлением вилки микрофона в гнезда. Сопротивле-

ние цепи при этом изменяется, вследствие чего на приемном пульте появится сигнал.

Вызов объекта с приемного пульта осуществляется путем подачи переменного тока в телефон  $T$  через конденсатор  $C$ . Телефонная связь может быть осуществлена по однопроводной схеме с использованием «земли» в качестве второго провода.

### § 6.3. Тепловые извещатели

Возникновение очага пожара в помещении влечет за собою изменение параметров теплового состояния среды.

Тепловые извещатели, реагирующие на превышение температуры среды, в зависимости от физического явления, положенного в основу принципа работы извещателя, подразделяются на несколько типов. Широко используются принципы изменения электрической проводимости тел, контактной разности потенциалов, ферромагнитных свойств материалов, изменения линейных размеров твердых тел, физических параметров жидкостей, газов и т. д.

Тепловые извещатели максимального действия срабатывают при определенной максимальной температуре. Порог срабатывания устанавливается при заводской (или лабораторной) настройке. Недостатком такого извещателя является зависимость чувствительности от окружающей среды.

Извещатели, реагирующие на скорость повышения температуры, называются дифференциальными. Такие извещатели обладают хорошей чувствительностью, однако мало пригодны в условиях, где происходят резкие колебания температуры.

**Термоэлектрическое преобразование тепловой энергии.** Преобразование тепловой энергии в электрическую основано на возникновении термоэлектродвижущей силы (т. э. д. с.) в цепи из двух различных проводников при нагревании места их спая.

Возникновение т. э. д. с. обусловлено двумя причинами: объемной т. э. д. с. и изменением контактной разности потенциалов. Объемная т. э. д. с. возникает в каждом из электродов, т. е. проводников, образующих термопару, при неравенстве температур их концов.

У электродов из материала с электронной проводимостью (характерной для металлов) более нагретый конец приобретает положительный относительно менее нагретого потенциал, а у электрода из материала с дырочной проводимостью — отрицательный.

Сумма возникающих таким образом в электродах термопары разностей потенциалов образует первую составляющую т. э. д. с. Вторая составляющая возникает вследствие зависимости контактной разности потенциалов от температуры, в результате чего контактные разности потенциалов спаев термопары, имеющих различную температуру, неодинаковы.

Т. э. д. с. рассчитывается:

$$E_{\tau} = S_1(t_p - t_{св}) - S_2(t_p - t_{св}) = S_{\tau.ср}(t_p - t_{св}), \theta, \quad (6.8)$$

где  $t_p$  — температура рабочего спая термопары;

$t_{св}$  — температура свободных концов термопары;

$S_1, S_2$  — средние в интервале температур от  $t_{св}$  до  $t_p$  значения коэффициентов т. э. д. с. электродов,  $\theta/град$ ;

$S_{\tau.ср}$  — среднее значение коэффициента т. э. д. с. для того же интервала температур.

Среднее значение чувствительности определяется из формулы:

$$S_{\tau.ср} = \frac{dE_{\tau}}{d(t_p - t_{св})}, \theta/град. \quad (6.9)$$

Если температура свободных концов термопары постоянна, то формула для чувствительности принимает вид:

$$S_{\tau.ср} = \frac{dE_{\tau}}{dt_p}. \quad (6.10)$$

В качестве термоэлектрических датчиков измерения температуры применяются термопары с линейными характеристиками, обладающие в широком диапазоне температур высокой чувствительностью.

Для извещателей пожара могут быть широко использованы термопары с линейными характеристиками, в частности, с крутым подъемом в диапазоне пожароопасных температур.

Установившийся режим работы термопары зависит от условий теплопередачи между средой и термопарой, а также от теплопроводности электродов.

Если обозначить через  $T$  — разность температур между корпусом термопары и окружающей средой в градусах;  $\alpha$  — коэффициент теплопередачи от среды, окружающей корпус, к ее стенкам в  $кал/см^2 сек град$ ;  $S$  — площадь поверхности корпуса в  $см^2$ ;  $C$  — теплоемкость корпуса в  $кал/град$ ;  $Q$  — количество тепловой энергии, запасенной в термопатроне в  $кал$ , то пренебрегая теплопроводностью проводов термопары и неравномерностью нагрева, получим:

$$-T\alpha S = \frac{dQ}{dt} = C \frac{dT}{dt}. \quad (6.11)$$

Решая это уравнение, найдем:

$$T = T_0 e^{-\frac{\alpha S}{C} t}, град, \quad (6.12)$$

где  $T_0$  — разность температур среды и корпуса в начальный момент времени;

$t$  — время, прошедшее после начального момента.

Из формулы (6.12) видно, что разность температур убывает по экспоненциальному закону с постоянной времени:

$$\tau = \frac{C}{\alpha S}, сек.$$



Пренебрегая влиянием теплоемкости дна корпуса датчика, термопары и воздуха, заполняющего корпус, получим

$$C = c(\pi R^2 - \pi r^2)l = \pi(R + r)\delta lc, \quad (6.13)$$

где  $l$  — длина корпуса, см;  
 $R$  и  $r$  — внешний и внутренний радиусы корпуса, см;  
 $c$  — удельная теплоемкость материала корпуса, кал/см<sup>3</sup> град;  
 $\delta$  — толщина стенки корпуса, см.

Подставляя значение теплоемкости корпуса в уравнение для постоянной времени, получим

$$\tau = \frac{c \left(1 + \frac{r}{R}\right) \delta}{2\alpha}, \text{ сек.} \quad (6.14)$$

Таким образом, постоянная времени определяется удельной теплоемкостью материала трубки, ее внешним и внутренним радиусами и коэффициентом теплопередачи.

Термонарный дифференциальный извещатель пожара содержит термобатарей, собранную из последовательно соединенных термопар. При быстром повышении окружающей температуры малоинерционные спаи нагреваются быстрее инерционных, в результате чего возникает разность температур нагрева рабочих и нерабочих спаев, и на выходе датчика появляется т. э. д. с., приводящая в действие релейный элемент коммутации цепей сигнализации.

**Температурные изменения физических свойств ферромагнитных материалов.** Ферромагнитные материалы характеризуются способностью интенсивно намагничиваться, однако их магнитные свойства сохраняются только до определенной температуры. Ферромагнитные материалы становятся немагнитными, если температура нагрева поднимается выше значения точки Кюри. Исчезновение магнитных свойств ферритов в точке Кюри объясняется тем, что энергия теплового движения становится больше, чем энергия ориентирующего внутреннего молекулярного поля.

При снижении температуры ниже точки Кюри магнитные свойства ферритов восстанавливаются.

В ферритах различных составов температура точки Кюри имеет различное значение. На рис. 6.7 представлены зависимости маг-

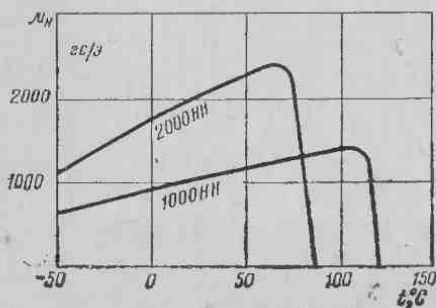


Рис. 6.7. Температурная зависимость магнитной проницаемости ферритов

нитной проницаемости никель-цинковых ферритов от температуры для ферритов различных составов и с различными значениями начальной проницаемости при нормальной температуре.

В обозначениях марок ферритов впереди стоящие цифры характеризуют величину начальной проницаемости, первая буква Н — низкочастотную область применения, вторая буква Н — принадлежность к никель-цинковым ферритам.

Температурный коэффициент магнитной проницаемости  $\beta$  определяется по изменению проницаемости материала в зависимости от изменения его температуры и рассчитывается по формуле:

$$\beta = \frac{\mu_2 - \mu_1}{\mu_1(t_2 - t_1)}, \quad (6.15)$$

где  $\mu_2$ ,  $\mu_1$  — проницаемости материала при температурах  $t_2$  и  $t_1$  соответственно.

Обычно температурный коэффициент магнитной проницаемости для соответствующих марок ферритов дается, тогда легко определить значение магнитной проницаемости образца при заданном значении температуры, что в свою очередь позволит произвести расчет элементов всей схемы устройства.

Ферриты являются полупроводниками и обладают электронной проводимостью. Величина их удельного сопротивления лежит в пределах от  $5 \cdot 10^{-3}$  до  $10^{10}$  ом·см.

Удельное сопротивление ферритов зависит от их свойства и температуры окружающей среды. Температурная зависимость удельного сопротивления носит экспоненциальный характер. При данной температуре величина  $\rho$  определяется значением энергии активации, которая для ферритов находится в пределах 0,1—0,6 эв.

Температурная зависимость удельного сопротивления имеет следующий вид:

$$\rho = \rho_0 e^{\frac{E_p}{KT}}, \quad (6.16)$$

где  $\rho_0$  — значение удельного сопротивления, полученное при первоначальной температуре;

$E_p$  — энергия активации;

$K$  — постоянная Больцмана;

$T$  — абсолютная температура.

Изменения физических характеристик ферромагнитных материалов в зависимости от температуры нагрева позволяют использовать эти материалы в качестве термочувствительных элементов в тепловых извещателях пожара.

Простейшим видом реализации резкого снижения магнитной проницаемости ферритов при температуре точки Кюри представ-

ляет устройство (рис. 6.8), состоящее из направляющей скобы 3 и постоянного магнита 1, в нормальных условиях удерживающего якорь 2 из ферромагнитного материала, на котором закреплены контакты 4 коммутации электрической цепи сигнализации. При достижении температуры точки Кюри ферромагнитный якорь теряет свои магнитные свойства и отпадает от полюсов постоянного магнита, в результате чего осуществляется соответствующая коммутация электрической цепи сигнализации. Пружина 5, находящаяся в нормальном состоянии сжатой, служит для более четкого переключения контактов при достижении крайних значений температуры.

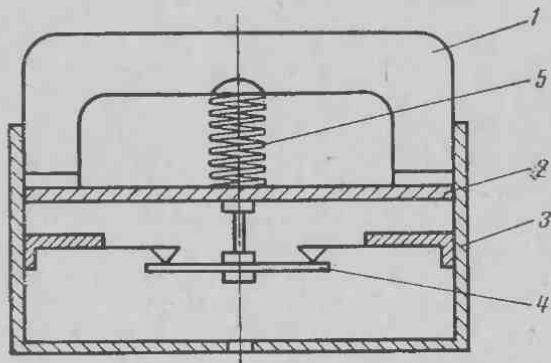


Рис. 6.8. Ферромагнитный тепловой извещатель

Бесконтактный вариант теплового извещателя на рассматриваемом принципе может представлять собою трансформатор, сердечник которого изготовлен из материала с заданной критической точкой магнитных превращений (рис. 6.9, а). Часть железного

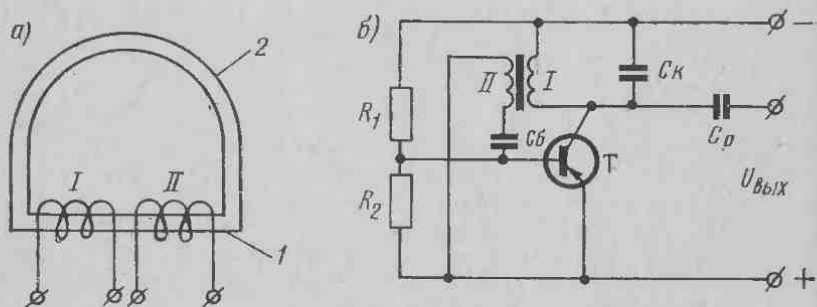


Рис. 6.9. Бесконтактный ферромагнитный извещатель  
а — трансформатор с сердечником на ферромагните; б — схема извещателя

сердечника 1 несет на себе катушки с двумя обмотками I—II. Другая часть (замыкающая магнитный поток) представляет собою изогнутую пластину 2 из ферромагнитного материала, являющуюся термочувствительным элементом извещателя.

Обмотка *I* входит в резонансный колебательный контур автогенератора, обмотка *II* является элементом индуктивной обратной связи автогенератора (рис. 6.9, б), который в нормальных условиях находится в режиме автоколебаний.

При увеличении температуры сверх критической точки магнитных превращений магнитная проницаемость ферромагнитной изогнутой пластины 2 резко уменьшается, а индуктивная обратная связь сильно ослабляется, в результате чего автогенератор перестает генерировать, т. е. наступает срыв генерации, переменное напряжение на выходе становится равным нулю.

В последнее время в схемах электронной автоматики в качестве элементов управляемых емкостей находят широкое применение кремниевые стабилитроны и варикапы.

При определенных значениях температур окружающей среды величина емкостей указанных приборов имеет резкий спад, что также может быть использовано в тепловых датчиках обнаружения пожара в виде параметрических схем сигнализации.

**Температурные изменения линейных размеров твердых тел.** Твердым телам присуще свойство изменения линейных и объемных размеров под воздействием температуры.

Полагая длину твердого тела при температуре  $0^\circ\text{C}$  равной  $L_0$ , получим для удлинения этого же тела  $\Delta L$  при нагревании его до температуры  $t$  выражение

$$\Delta L = \alpha L_0 t, \quad (6.17)$$

где  $\alpha$  — коэффициент линейного теплового расширения твердого тела.

Отсюда длина тела  $L_t$  при заданной температуре будет равна:

$$L_t = L_0 + \Delta L = L_0(1 + \alpha t), \quad (6.18)$$

т. е. длина твердого тела возрастает линейно с температурой.

Известно, что различные твердые тела имеют различные значения коэффициентов линейного теплового расширения. Простейшим видом реализации свойства твердых тел изменять свои линейные размеры в тепловых извещателях пожара является использование биметаллической пластины, которая представляет собою двухслойный сплав двух металлов, имеющих различные коэффициенты теплового линейного расширения. Активный слой выполняется из металлов с наибольшим коэффициентом линейного расширения (медь, бронза, мягкая сталь, латунь и др.), пассивный слой, имеющий незначительный коэффициент линейного расширения, выполняется из сплава инвар (сталь + хром + молибден).

Биметаллическая пластина может быть плоской или в виде спирали. При нагревании плоской биметаллической пластины ее активный и пассивный слои расширяются неравномерно, в результате чего она прогибается в сторону активного слоя, замыкая или замыкая электрическую цепь сигнализации.

Общее удлинение слоя, отстоящего на расстоянии  $y$  от границы присоединения, равно:

$$\varepsilon = \varepsilon_0 + ky, \quad (6.19)$$

где  $\varepsilon_0$  — удлинение граничного слоя пластины;  
 $k$  — угол поворота сечения слоя.

Напряжение в данном слое определяется выражением:

$$\sigma = E(\varepsilon - \alpha t), \quad (6.20)$$

где  $E$  — модуль упругости пластины.

Сила  $P$  и момент  $M$ , действующие в рассматриваемом сечении пластины, соответственно равны:

$$P = \sum \sigma \Delta S, \quad (6.21)$$

$$M = \sum \sigma y \Delta S, \quad (6.22)$$

где  $S$  — площадь сечения пластины.

При отсутствии действия внешних сил на пластину из условия равновесия имеем  $P=0$  и  $M=0$ .

Подставляя выражение для  $\varepsilon$ , получим

$$K = 1,5 \frac{(\alpha_1 - \alpha_2) t}{h} K_1, \quad (6.23)$$

где  $h$  — толщина слоев;

$K_1$  — функция вида  $K_1 = f_1(e, \lambda)$ ,

здесь  $e = \frac{E_1}{E_2}$ ;  $\lambda = \frac{h_1}{h_2}$ , имеющая максимум  $K_1 = 1$  при  $e\lambda^2 = 1$ ,

т. е.  $\lambda = \frac{1}{\sqrt{e}}$ .

Ввиду того, что радиус кривизны  $\rho = \frac{1}{K}$ , изменение угла изгиба пластины равно:

$$\varphi = \frac{L}{\rho} = 1,5 \frac{(\alpha_1 - \alpha_2) K_1}{h} L t. \quad (6.24)$$

Прогиб свободного конца пластины при заданной температуре равен:

$$f = L \sin \frac{\varphi}{2} \approx L \frac{\varphi}{2}, \quad (6.25)$$

или

$$f = 0,75 (\alpha_1 - \alpha_2) \frac{L^2}{h} K_1 t. \quad (6.26)$$

Для тепловых извещателей находят применение металлы с низкой температурой плавления. Широкое применение находит легкоплавкий сплав «Вуда» с температурой плавления 55—80° С. Как правило, конструктивно такие датчики выглядят чрезвычайно просто. На рис. 6.10 показана одна из конструкций теплового извещателя

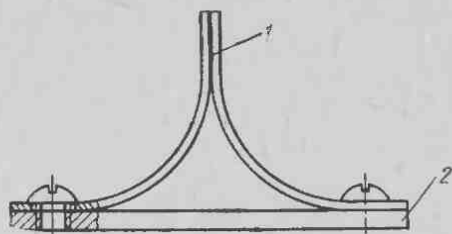


Рис. 6.10. Тепловой извещатель с легкоплавким замком

теля с легкоплавким замком спая двух жестко натянутых пружин 1, представляющих собою контактную группу электрической цепи сигнализации, основания 2, к которому крепятся контактные пружины. При расплавлении замка пружины расходятся, разрывая электрическую цепь сигнализации.

**Температурные изменения параметров полупроводников.** Характерной особенностью полупроводников является ярко выраженная зависимость величины обратного тока от температуры  $p-n$ -перехода в связи с резким изменением его дифференциального сопротивления.

В рабочем диапазоне температур зависимость сопротивления полупроводника от температуры достаточно точно описывается выражением:

$$R = R_{\infty} e^{\frac{B}{T}}, \quad (6.27)$$

где  $R$  — сопротивление  $p-n$ -перехода;

$T$  — температура  $p-n$ -перехода;

$R_{\infty}, B$  — коэффициенты, постоянные для данного полупроводника.

Для вычисления  $R_{\infty}$  и  $B$  достаточно подставить два известных значения сопротивления и соответствующих им температур.

Решение полученной системы уравнений дает формулы для вычисления коэффициентов  $R_{\infty}$  и  $B$  [39]:

$$B = \frac{T_1 T_2}{T_2 - T_1} \ln \frac{R_1}{R_2}; \quad (6.28)$$

$$R_{\infty} = R_1 e^{-\frac{B}{T_1}}. \quad (6.29)$$

Подставляя выражение (6.29) в формулу для расчета сопротивления  $p$ - $n$ -перехода (6.27), для температурной характеристики получим

$$R = R_1 e^{\left(\frac{B}{T} - \frac{B}{T_1}\right)}. \quad (6.30)$$

Зависимость обратного тока полупроводника от температуры описывается выражением:

$$I_0 = I_{01} e^{\left(\frac{B}{T_1} - \frac{B}{T}\right)} \quad (6.31)$$

и соответственно коэффициентами:

$$B = \frac{T_1 T_2}{T_2 - T_1} \ln \frac{I_{02}}{I_{01}}; \quad (6.32)$$

$$R_\infty = \frac{1}{I_{01}} e^{-\frac{B}{T_1}}, \quad (6.33)$$

где  $I_{01}$  и  $I_{02}$  — значения обратных токов при температурах  $T_1$  и  $T_2$  соответственно.

Свойство полупроводников резко менять величину обратного тока при достижении температуры определенного значения нашло практическое применение в тепловых извещателях обнаружения пожара.

Возможные схемы включения полупроводников в схемы сигнализации приведены на рис. 6.11.

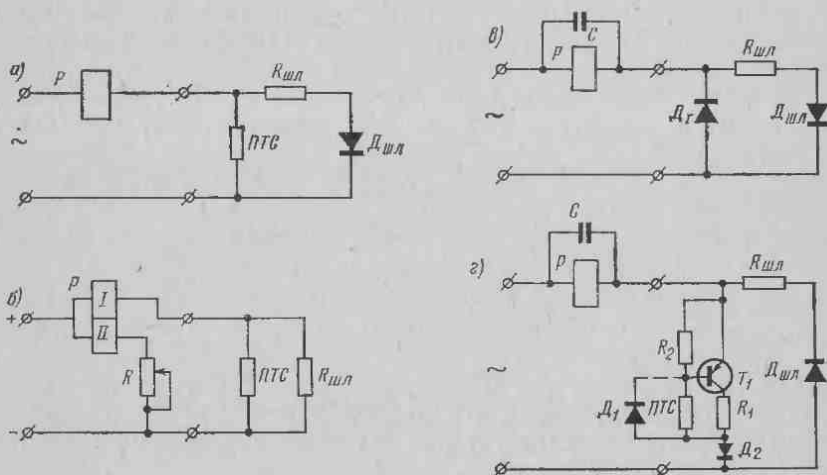


Рис. 6.11. Схемы включения полупроводников в пожарных извещателях

На рис. 6.11, а, б, в полупроводник (ПТС или диод) включен параллельно шлейфу, состоящему из  $R_{шл}$ ,  $D_{шл}$ . В нормальном состоянии полупроводник обладает в обратном направлении боль-

шим сопротивлением и не шунтирует шлейф из сопротивления и диода. При повышении температуры до заданного значения полупроводник резко уменьшает свое сопротивление и обмотка  $I$  реле  $P$  (в схеме 6.11, б) начинает обтекаться увеличенным током, в результате чего происходит срабатывание реле.

В схемах на рис. 6.11, в, г, питающихся переменным током, при снижении сопротивления полупроводниковых элементов от температуры происходит шунтирование шлейфа по переменной составляющей, отчего реле  $P$  отпускает якорь и своими контактами включает сигнализацию.

В схеме на рис. 6.11, г транзистор  $T_1$  в нормальном состоянии имеет большое сопротивление и ток протекает лишь по цепи шлейфа ( $R_{шл.}$ ,  $D_{шл.}$ ). При повышении температуры диод  $D_1$  и резистор ПТС резко уменьшают свое сопротивление, в результате чего транзистор  $T_1$  открывается и через него начинает протекать ток обратной полярности по отношению к току шлейфа; реле  $P$  отпускает якорь.

Возможны и другие варианты включения полупроводников в электрических схемах тепловых датчиков, позволяющие получить при заданных температурах контролируемой среды дискретное приращение тока или напряжения в цепи сигнализации.

**Температурные изменения физических свойств жидкостей и газов.** Известно, что газы и жидкости, как и твердые тела, способны нагреваться и охлаждаться, изменяя при этом плотность, объем, вязкость и другие параметры.

Коэффициент объемного расширения газов и жидкостей выражается относительным изменением объема  $V$  при изменении температуры  $T$  на один градус:

$$\alpha = \frac{1}{V} \frac{dV}{dT}. \quad (6.34)$$

У жидкостей коэффициент объемного расширения значительно меньше по своему численному значению и несколько слабее зависит от температуры.

Соотношение между давлением, объемом и температурой определяется уравнением состояния:

$$P = f(VT). \quad (6.35)$$

Объем жидкости или газа при некоторой температуре  $t$  связан с объемом указанных веществ при некоторой другой температуре  $t_0$  известным соотношением:

$$V_t = V_0(1 + \alpha \Delta t), \quad (6.36)$$

где

$$\Delta t = t - t_0.$$

Принцип объемного расширения использован в таком известном приборе измерения температуры, как ртутный термометр.



Схема теплового извещателя с использованием объемного расширения ртути показана на рис. 6.12, где в стеклянной трубке вмонтированы два разнесенных между собою электрода. В нижнюю расширенную часть трубки залита ртуть, контактирующая с одним из электродов, которая при повышении температуры поднимается по капилляру и замыкает второй электрод. В результате этого образуется электрическая цепь между электродами, с помощью которой можно включать исполнительные устройства сигнализации.

Величина подъема столбика ртути до замыкания удаленного контакта выражается зависимостью:

$$H = \frac{V(\alpha_{рт} - 3\alpha_{ст})\epsilon_{п}}{S_{т}}, \quad (6.37)$$

где  $V = \frac{4\pi}{3}r^3$  — объем расширенной части трубки;

$S_{т}$  — площадь сечения трубки;

$\alpha_{рт}$  и  $\alpha_{ст}$  — коэффициенты объемного расширения ртути и стекла соответственно.

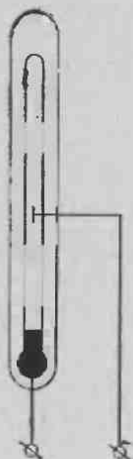


Рис. 6.12. Ртутный извещатель

Объемное расширение газа при увеличении температуры позволяет создать различные варианты конструкций тепловых извещателей. В частности, могут быть использованы газы с различными коэффициентами теплового расширения, заполняющие два объема с общей мембраной, выполняющей роль исполнительного органа при перепаде давлений в объемах.

#### § 6.4. Извещатели инфракрасного излучения

**Общие положения теории излучения.** При пожарах, наряду с переносом тепла теплопроводностью и конвекцией среды, происходит тепловое излучение за счет раскаленных твердых и газообразных веществ. Основная часть лучистой энергии при этом приходится на ближнюю и среднюю части инфракрасной области спектра (0,7—10 мкм).

Увеличение открытого пламени пожара сопровождается повышением температуры горения, в результате чего максимум энергии излучения смещается в сторону более коротких длин волн.

Твердые и жидкие тела имеют непрерывный спектр излучения, интенсивность излучения изменяется достаточно плавно с изменением длины волны. Газообразная фаза имеет полосовой спектр излучения.

Распределение интенсивности излучения по спектру абсолютно черного тела определяется законом Планка:

$$r(\lambda, T) = \frac{c_1}{\lambda^5} \frac{1}{\exp \frac{c_2}{\lambda T} - 1}, \quad (6.38)$$

где  $r(\lambda, T)$  — спектральная интенсивность плотности излучения,  $вт/см^3$ ;

$T$  — абсолютная температура тела  $^{\circ}К$ ;

$\lambda$  — длина волны,  $см$ ;

$c_1, c_2$  — постоянные коэффициенты

$$c_1 = 3,74 \cdot 10^{-12} \text{ втсм}^2,$$

$$c_2 = 1,438 \text{ см } ^{\circ}К.$$

Распределение интенсивности излучения по спектру для реальных тел принято характеризовать спектральным коэффициентом излучения  $\epsilon_{\lambda}$ , под которым понимается отношение спектральной интенсивности излучения реального тела к спектральной интенсивности излучения абсолютно черного тела (а. ч. т.) при той же температуре [19], т. е.

$$\epsilon_{\lambda} = \frac{r(\lambda, T)}{[r(\lambda, T)]_{\text{а.ч.т.}}} \quad (6.39)$$

Коэффициент излучения для большинства тел изменяется с длиной волны и, кроме того, зависит от температуры.

Положение в спектре и величина максимума интенсивности излучения определяются температурой тела в соответствии с законом Вина:

$$\lambda_m T = C, \quad (6.40)$$

где  $\lambda_m$  — длина волны, соответствующая максимуму спектральной интенсивности излучения,  $мкм$ ;

$T$  — абсолютная температура тела,  $^{\circ}К$ ;

$C$  — постоянная величина, равная  $2897 \text{ мкм } ^{\circ}К$ .

Максимальное значение спектральной интенсивности плотности излучения  $[r(\lambda, T)]_{\text{макс}}$  может быть получено из выражения закона Планка с учетом формулы (6.40):

$$[r(\lambda, T)]_{\text{макс}} = \frac{c_1}{c^5} \frac{c_2}{\exp \frac{c_2}{c} - 1} T^5. \quad (6.41)$$

После подстановки численных значений коэффициентов  $c_1, c_2, c$  находим

$$[r(\lambda, T)]_{\text{макс}} = 1,2892 \cdot 10^{-11} T^5 \text{ вт/см}^3. \quad (6.42)$$

Суммарная плотность излучения абсолютно черного тела в интервале длин волн от нуля до бесконечности выражается интегралом [19]:

$$R = \int_0^{\infty} r(\lambda, T) d\lambda = \int_0^{\infty} \frac{c_1}{\lambda^5} \frac{d\lambda}{\exp \frac{c_2}{\lambda T} - 1}. \quad (6.43)$$

Формула, носящая название закона Стефана — Больцмана, для серого излучателя (реального) записывается в виде:

$$R = \varepsilon \sigma T^4, \quad (6.44)$$

где  $\varepsilon$  — коэффициент излучения гладкой поверхности тела,

$$\sigma = 5,673 \cdot 10^{-12} \text{ втсм}^{-2} \text{ } ^\circ\text{К}^{-4}.$$

Плотность излучения серого тела в спектральном интервале  $\lambda_1 - \lambda_2$  равна [19]:

$$R_{\lambda_1 - \lambda_2} = \varepsilon \sigma T^4 \left[ Z \left( \frac{\lambda_2}{\lambda_m} \right) - Z \left( \frac{\lambda_1}{\lambda_m} \right) \right], \quad (6.45)$$

где

$$Z \left( \frac{\lambda}{\lambda_m} \right) = \frac{\int_0^{\lambda} r(\lambda, T) d\lambda}{\int_0^{\infty} r(\lambda, T) d\lambda}.$$

Распределение силы излучения источника в пространстве характеризуется так называемой индикатрисой излучения, представляющей собою геометрическое место точек концов векторов силы излучения источника.

Точное построение индикатрисы излучения для пожаров представляет большие трудности в связи с многообразием форм и ориентаций излучающих поверхностей, отсутствием достоверных данных о градиентах температуры, коэффициентах излучения и о взаимном влиянии поверхностей. В инженерной практике пользуются упрощенной схемой объекта как излучателя. Реальный излучающий объект заменяют совокупностью элементарных излучающих поверхностей или участков поверхностей, в пределах которых температуру и коэффициент излучения можно считать постоянными.

Для расчета силы излучения  $n$ -й поверхности сначала с помощью формулы (6.45) определяют плотность излучения в заданном спектральном интервале  $\lambda_1 - \lambda_2$

$$R_n = \varepsilon_n \sigma T_n^4 \left[ Z \left( \frac{\lambda_2}{\lambda_{mn}} \right) - Z \left( \frac{\lambda_1}{\lambda_{mn}} \right) \right]. \quad (6.46)$$

Считая исследуемую поверхность диффузным излучателем, находят лучистость, или энергетическую яркость поверхности

$$B_n = \frac{R_n}{\pi} \quad (6.47)$$

и силу излучения в направлении, характеризуемом двумя углами  $\alpha$  и  $\beta$  [19]

$$I_n(\alpha, \beta) = B_n S_n^*, \quad (6.48)$$

где  $S_n^*$  — проекция  $n$ -й поверхности  $S_n$  на плоскость, перпендикулярную заданному направлению  $(\alpha, \beta)$ .

Суммируя данное выражение по всем излучающим поверхностям, получим суммарное значение излучения в заданном направлении.

$$I(\alpha, \beta) = \sum_n I_n(\alpha, \beta). \quad (6.49)$$

Развитие пламени при пожаре сопровождается колебаниями температурного поля, обусловленными физико-химическими свойствами веществ горения, а также турбулентным влиянием на пламя газовой среды. В связи с этим исходящий от пламени пожара поток лучистой энергии носит колебательный характер.

Анализ энергии лучистого потока с помощью известных методов теории вероятностей позволяет определить спектральную плотность кривой лучистого потока, а также распределение энергии излучения по частотам и выявить полосу частот, которой соответствует наибольшая энергия излучения.

Следовательно, обнаружение пожара может быть осуществлено, кроме регистрации среднего значения мощности излучения или по производной от нее величине, методом регистрации переменной составляющей лучистого потока.

**Ориентировочный расчет дальности обнаружения пожара.** Примем эпицентр пламени пожара за излучатель площадью  $S$  с коэффициентом излучения  $\epsilon_\lambda$ , нагретый до температуры  $T$ .

Зададим некоторое направление, образующее угол  $\beta$  с нормалью  $O$  к элементу поверхности  $dS$ , и малый телесный угол  $\omega$ , опирающийся на поверхность объектива входной линзы извещателя (рис. 6.13).

Элементарный лучистый поток  $d\Phi_\beta^0$ , испускаемый площадкой в пределах телесного угла  $\omega$ , определится по закону Ламберта:

$$d\Phi_\beta^0 = d\Phi_0 \cos \beta \omega = \frac{d\Phi}{\pi} \omega \cos \beta, \quad (6.50)$$

где  $d\Phi_0 = \frac{d\Phi}{\pi}$  — лучистый поток, испускаемый элементарной площадкой  $dS$  в направлении нормали.

Часть лучистого потока  $d\Phi_\beta^0$ , ограниченная спектральным диапазоном  $\lambda_1 - \lambda_2$  выбранной чувствительности приемника лучистой энергии

$$d\Phi_{\beta} = \frac{\omega \cos \beta}{\pi} dS \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \varepsilon_{\lambda} r(\lambda, T) d\lambda, \quad (6.51)$$

где  $r(\lambda, T)$  — спектральная интенсивность плотности излучения, зависящая при данной температуре только от длины волны.

Введем следующие обозначения:

$S_{об}$  — рабочая площадь объектива;

$D$  — расстояние между датчиком и пламенем пожара;

$\varphi$  — угол между линией дальности  $D$  и оптической осью датчика (угол рассогласования);

$\tau_0$  — коэффициент пропускания оптической системы;

$S_{\lambda}$  — спектральная чувствительность приемника лучистой энергии и фильтра;

$\tau_a$  — коэффициент пропускания атмосферы.

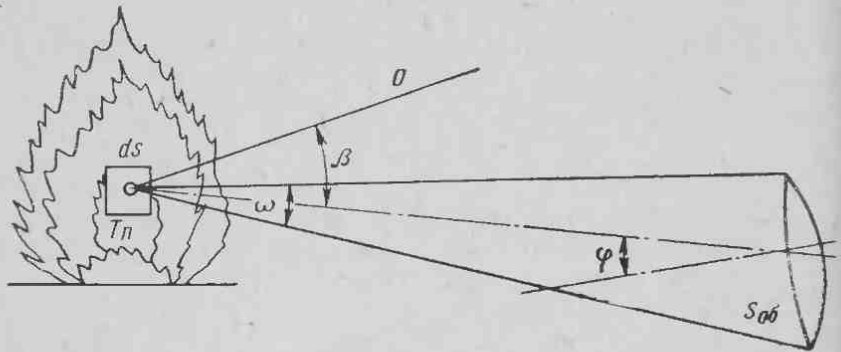


Рис. 6.13. Схема расчета дальности обнаружения пожара

Допуская в первом приближении, что коэффициенты  $\varepsilon_{\lambda} = \varepsilon$  и  $\tau_0$  являются независимыми от длины волны  $\lambda$ , и заменяя  $\omega$  в формуле (6.51):

$$\omega = \frac{S_{об} \cos \varphi}{D^2},$$

получим

$$\Phi_{\beta} = \frac{\tau_0 S_{об} \varepsilon}{\pi} \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} S_{\lambda} \tau_a r(\lambda) d\lambda \int_{(s)} \frac{\cos \beta \cos \varphi}{D^2} dS. \quad (6.52)$$

Полагая, что значения  $\beta$ ,  $\varphi$  и  $D^2$  для всех элементарных площадок поверхности излучения одинаковые, получим

$$\Phi_{\beta} = \frac{\tau_0 S_{об} \varepsilon S \cos \alpha \cos \varphi}{\pi D^2} \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} r(\lambda) S_{\lambda} \tau_a d\lambda. \quad (6.53)$$

Зная конструктивные входные параметры извещателя и пороговую чувствительность фотоприемника, с помощью полученного выражения можно рассчитать максимальное расстояние, на котором извещатель обнаруживает пламя.

После соответствующих преобразований формулы (6.53) получим выражение для максимальной дальности обнаружения пламени извещателем:

$$D_{\text{макс}}^2 = \frac{\tau_0 S_{\text{об}} S \varepsilon \cos \beta \cos \varphi}{\pi m \Phi_{\text{пор}}} K \sigma T^4 \left[ Z \left( \frac{\lambda_2}{\lambda_m} \right) - Z \left( \frac{\lambda_1}{\lambda_m} \right) \right]. \quad (6.54)$$

где  $m = \frac{\Phi_{\beta}}{\Phi_{\text{пор}}}$  — коэффициент запаса, больший единицы;

$\Phi_{\text{пор}}$  — минимально допустимый лучистый поток для данного фотоприемника;

$$K = \frac{\int_{\lambda_2}^{\lambda_1} r_{\text{отн}}(\lambda) S_{\lambda} \tau_a d\lambda}{\int_{\lambda_2}^{\lambda_1} r_{\text{отн}}(\lambda) d\lambda},$$

$$r_{\text{отн}}(\lambda) = \frac{r(\lambda)}{[r(\lambda)]_{\text{макс}}}.$$

Известно, что лучистый поток инфракрасного диапазона спектра при прохождении через атмосферу поглощается парами воды, углекислым газом, озоном, а также рассеивается молекулами воздуха, размер которых значительно меньше длины волны излучения. В диапазоне длин волн свыше 1 мкм наибольшее значение имеет селективное поглощение лучистого потока парами воды, углекислым газом и озоном, вследствие чего появляются участки сильного поглощения инфракрасных лучей и так называемые окна пропускания, т. е. участки, прозрачные для теплового излучения.

**Приемники и преобразователи инфракрасного излучения.** Принятую от пламени лучистую энергию необходимо каким-либо образом преобразовать в электрический сигнал.

Приемники и преобразователи инфракрасного излучения можно разделить на три группы: тепловые, фотоэлектронные (фотоэлектрические) и фотохимические. Тепловые приемники и преобразователи являются неселективными типами приемников. Это означает, что тепловые приемники одинаково чувствительны в широком диапазоне длин волн. Селективные приемники обладают чувствительностью только в определенном участке спектра. На рис. 6.14 приведены типовые характеристики неселективных 1,2 и селективных 3,4 приемников.

Работа неселективных приемников основана на преобразовании инфракрасного излучения сначала в тепловую энергию, а затем в электрическую. Такие приемники называются тепловыми или термоэлектрическими. Принцип действия селективных приемников заключается в изменении электрических свойств его чувствительного состава под воздействием излучения определенной длины волны. Такие приемники называют фотоэлектронными или фотоэлектрическими (преобразователями).

Фотохимические приемники (фотопленки), преобразующие

энергию излучения в видимое изображение, также относятся к селективному типу приемников.

К тепловым (длинноволновым) приемникам относятся термоэлементы, термосопротивления (терморезисторы), болометры.

Фотоэлектрические (средневолновые) приемники делятся на приемники с внутренним фотоэффектом (фотосопротивления, фотодиоды, фототриоды) и с внешним фотоэффектом — фотоэлементы.

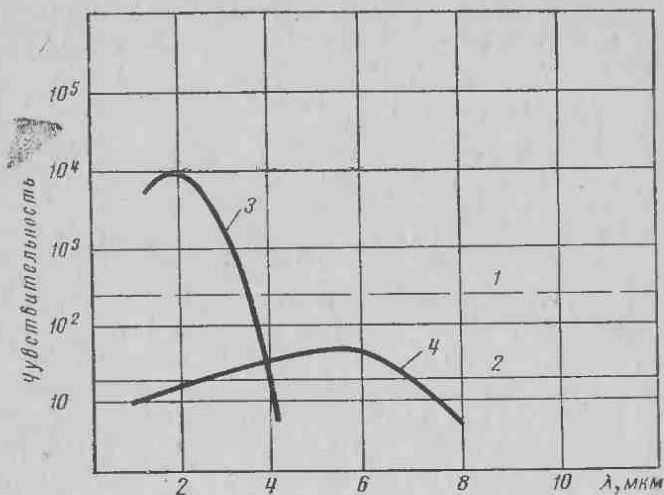


Рис. 6.14. Характеристика фотоприемников

Наибольший интерес среди длинноволновых приемников для пожарной охраны представляют болометры, состоящие из нанесенных на изоляционную подложку тонких металлических пленок. Такие приборы позволяют фиксировать изменение температуры до  $10^{-7}^{\circ}\text{C}$  и обнаруживать лучистые потоки до  $10^{-10}$  вт вплоть до субмиллиметровых волн. Болометр работает обычно в мостовой схеме от постоянного или переменного тока.

Чтобы исключить влияние изменения окружающей температуры, применяют компенсационную схему из двух болометров  $B_1$  и  $B_2$  (рис. 6.15). В этом случае при изменении окружающей темпе-

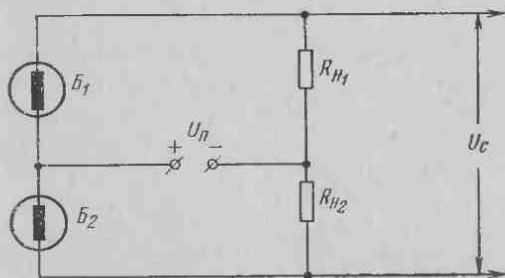


Рис. 6.15. Схема включения болометров

ратуры оба болометра одинаково изменяют свое сопротивление, благодаря чему равновесие моста сохраняется.

При облучении одного из болометров нарушается равновесие моста и появляется сигнал  $U_c$ , равный

$$U_c = U_n \frac{R_n}{R_T + R_n}, \quad (6.55)$$

где  $U_n$  — напряжение питания;  
 $R_T$  — сопротивление болометра;  
 $R_n$  — сопротивление нагрузки.

Явление возбуждения электронов под воздействием лучистой энергии называется фотоэлектрическим эффектом. Если фотоэлектроны при облучении остаются в веществе, участвуя в токе проводимости, то фотоэффект называется внутренним. Если же фотоэлектроны не только возбуждаются, но и покидают вещество, то возникает внешний фотоэффект, сопровождающийся фотоэлектронной эмиссией.

Внутренний фотоэффект наблюдается в чистых и примесных полупроводниковых материалах (кремний, германий, кадмий и т. д.).

Внешний фотоэффект возникает в металлах и их соединениях (метин, натрий, цезин, серебро и др.).

На внутреннем фотоэффекте основаны такие приемники инфракрасного излучения, как фотосопротивления ФС (фоторезисторы), фотодиоды и фототриоды ФТ.

Приемник, преобразующий лучистую энергию в фотоэлектронную эмиссию с последующим многократным ее усилением, называется фотоэлектронным умножителем (ФЭУ).

На рис. 6.16 показана принципиальная схема ФЭУ, состоящего

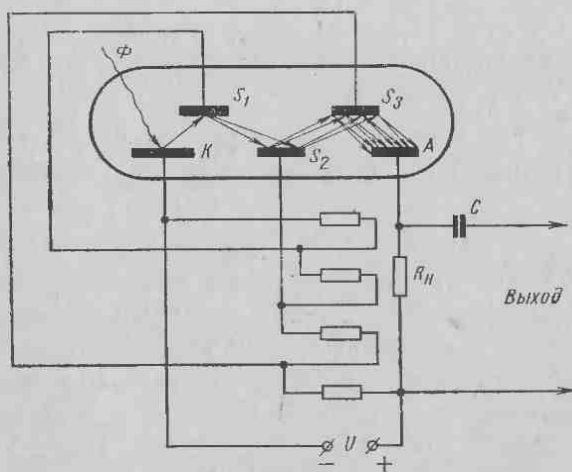


Рис. 6.16. Фотоэлектронный умножитель



из катода  $K$ , анода  $A$  и нескольких электродов  $S_1, S_2, \dots, S_n$ . На эти электроды подается последовательно нарастающее напряжение. Лучистый поток, падающий на фотокатод  $K$ , освобождает первичные электроны, которые под действием ускоряющего поля попадают на первый электрод  $S_1$  и «выбивают» из него вторичные электроны. Каждый первичный электрон способен возбудить и выбить несколько вторичных электронов. Отношение числа вторичных электронов  $N_2$  к числу первичных  $N_1$  называется коэффициентом вторичной эмиссии:

$$\sigma_{эм} = \frac{N_2}{N_1} \quad (6.56)$$

Вторичные электроны с электрода  $S_1$  ускоряющим полем направляются на следующий электрод, где они снова выбивают еще большее число вторичных электронов. Этот процесс повторяется в каждой паре электродов. Происходит последовательное нарастание электронного тока, который в цепи анода уже в миллионы раз превышает первичный фототок. Величина фототока на выходе умножителя определяется соотношением:

$$i_{ф} = i_0 \sigma_{эм}^n \quad (6.57)$$

где  $i_0$  — первичный фототок с поверхности катода;  
 $n$  — число электродов.

Достоинством ФЭУ является их высокий порог чувствительности, достигающий  $10^{-18}$  вт, и весьма малая инерционность.

Фотосопротивление — это приемник лучистой энергии, изменяющий свою проводимость (сопротивление) при воздействии лучистого потока.

Фотодиод — это фотогальванический приемник, обладающий свойством односторонней проводимости при воздействии лучистой энергии.

Фотодиод, включенный в цепь без приложения к электродам напряжения, работает в вентильном режиме. При приложении напряжения к электродам в прямом направлении электрическое поле  $p$ - $n$ -перехода увеличивается и условия перехода зарядов из освещенного слоя облегчаются, вследствие чего ток резко возрастает. При изменении полярности ток становится равным нулю. Фотодиод в этом случае работает в фотодиодном режиме. На рис. 6.17 показаны схемы включения фотодиода в различных режимах и получающиеся при этом вольт-амперные характеристики.

Фототриод представляет собой полупроводниковый приемник, состоящий из трех чередующихся областей проводимости:  $p-n-p$  или  $n-p-n$ .

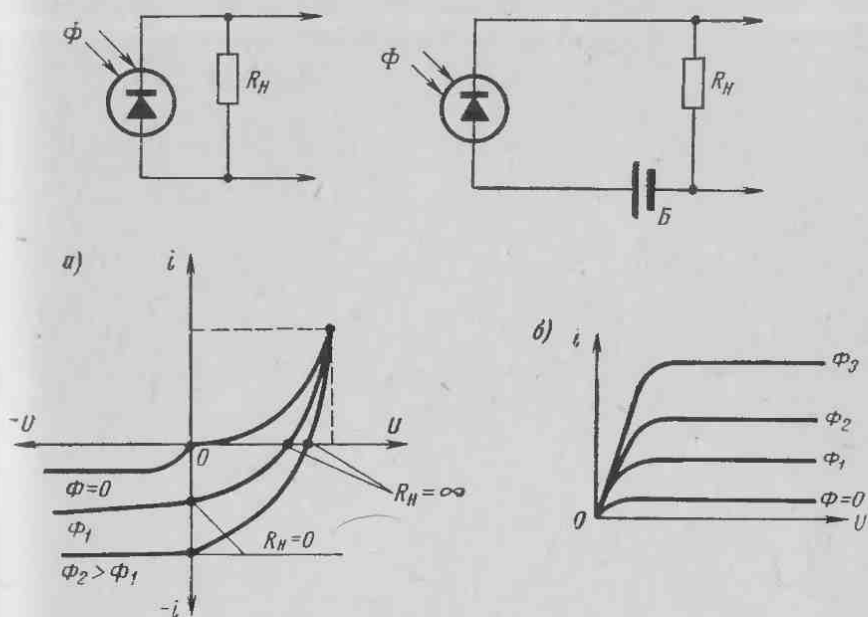


Рис. 6.17. Схемы включения фотодиодов и их вольт-амперные характеристики

$a$  — вентиляльный режим;  $b$  — фотодиодный режим

Фототриод работает по принципу обычного полупроводникового триода, в котором роль управляющего тока выполняет попадающее на базу излучение. Принципиальная схема включения фототриода приведена на рис. 6.18, где  $R_6$  и  $R_3$  выполняют роль стабилизирующих элементов.

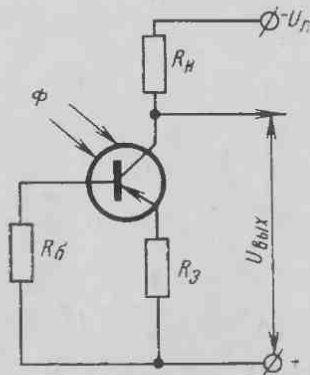


Рис. 6.18. Схема включения фототриода

Основные параметры приемников: сопротивление, уровень шумов, постоянная времени, интегральная чувствительность, порог чувствительности. Фотодиоды и фототриоды характеризуются еще величиной темнового тока, выходным динамическим сопротивлением и коэффициентом усиления по току.

Динамическое сопротивление определяется выражением:

$$R_d = \frac{\Delta U_c}{\Delta i_\phi}, \quad (6.58)$$

где  $\Delta i_\phi$  — приращение тока, протекающего через приемник;

$U_2 - U_1 = \Delta U_c$  — падение напряжения на сопротивлении при токе  $\Delta i_\phi$ .

Степень влияния тепловых и токовых шумов на параметры датчика определяется конкретными схемными решениями.

Минимальная интенсивность падающего на приемник излучения, вызывающая на его выходе сигнал, равный напряжению шумов, называется порогом чувствительности фотоприемника.

Если порог чувствительности обозначить через  $\Phi_n$ , то, согласно определению,

$$\Phi_n = \frac{\Phi}{\frac{U_c}{U_m}}, \text{ вт} \quad (6.59)$$

при  $U_c/U_m = 1$   $\Phi_n = \Phi$ ,

где  $U_m$  — шумы, в;

$U_c$  — сигнал на выходе приемника, в;

$\Phi$  — поток излучения, вт.

Если известна облученность приемника  $E$ , то с учетом площади его чувствительного элемента  $g_n$

$$\Phi_n = n \frac{U_m}{U_c} E g_n, \quad (6.60)$$

где  $n$  — коэффициент запаса, обеспечивающий надежную работу датчика.

Количественное значение реакции приемника на данный поток излучения характеризуется интегральной чувствительностью:

$$S_r = \frac{U_c}{\Phi}, \text{ в/вт}. \quad (6.61)$$

Чувствительность селективных приемников зависит от длины волны падающего излучения. В связи с этим относительная спектральная чувствительность определяется как отношение величины чувствительности при данной длине волны  $\lambda$  к максимальной чувствительности:

$$S_{(\lambda_2 - \lambda_1)} = \frac{S(\lambda)}{S(m)}. \quad (6.62)$$

Изменение параметров приемника в зависимости от длины волны принимаемого монохроматического излучения называется спектральной характеристикой.

На рис. 6.19 показаны спектральные характеристики современных приемников инфракрасного излучения с внутренним фотоэффектом. Граница чувствительности находится в пределах 0,7—1,8 мкм. Кривая 1 — для германиевых, кривая 2 — для кремниевых фотополупроводников. На рис. 6.20 приведена спектральная характеристика фотосопротивления ФС-А.

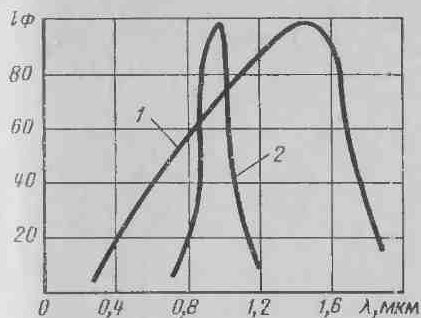


Рис. 6.19. Спектральные характеристики фотоприемников

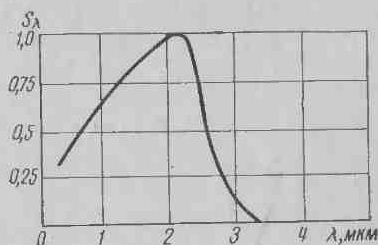


Рис. 6.20. Спектральная характеристика фотосопротивления ФС-А

Спектральная характеристика приемника определяет возможность обнаружения того или иного объекта, в частности очага пожара. Например, с помощью сернисто-свинцовых фотосопротивлений выгоднее обнаруживать очаги пожара с более высокой температурой, а с помощью германиевых — с меньшей температурой.

Энергетическая (световая) характеристика выражает зависимость изменения сигнала на выходе приемника от величины падающего потока.

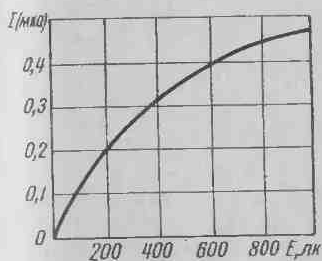


Рис. 6.21. Световая характеристика фотосопротивления ФС-А

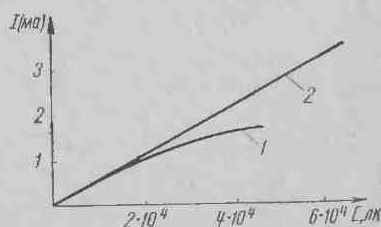


Рис. 6.22. Световые характеристики для германиевого фотодиода

Световая характеристика фотосопротивления ФС-А (рис. 6.21) нелинейна, что является существенным недостатком.

Фотодиоды в отличие от фотосопротивлений имеют линейные световые характеристики. На рис. 6.22 изображены световые ха-

рактические характеристики германиевого фотодиода для вентиляционного 1 и фотодиодного 2 режимов.

**Селективность обнаружения пламени.** Возникновение пламени, как правило, происходит на фоне излучения другими источниками.

Наиболее существенной составляющей различных источников излучения является прямой и рассеянный солнечный свет. Солнце излучает примерно как абсолютно черное тело с температурой  $6000^{\circ}\text{K}$ .

Распределение энергии в спектре Солнца в ясный день показано на рис. 6.23. Большая часть энергии Солнца приходится на

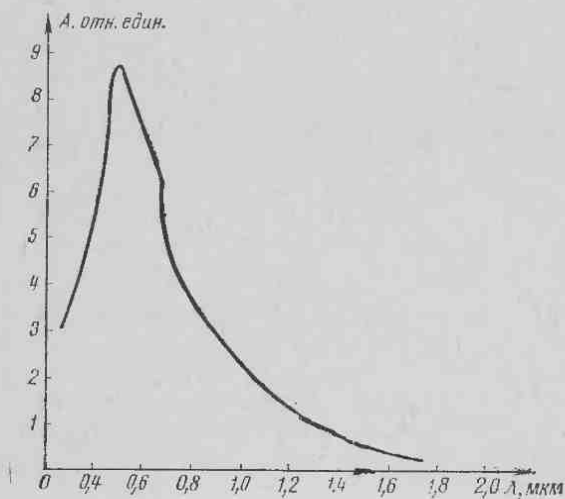


Рис. 6.23. Распределение энергии в спектре Солнца

видимый и ближний инфракрасный участки спектра излучения. При восходе и заходе максимум излучения смещается в ближнюю инфракрасную область  $0,6 \div 0,75$  мкм.

Пламя может быть обнаружено фотоприемником, если его спектр излучения отличается от излучения других источников в пределах поля зрения фотоприемника.

Одним из методов выделения полезного сигнала является метод спектральной селекции. Осуществить такую селекцию можно прежде всего выбором фотоприемника, имеющего максимальную чувствительность в спектре пламени. Для ослабления энергии Солнца в видимом спектре излучения применяют оптические фильтры, обладающие спектральной избирательностью.

Для выделения ближней инфракрасной части спектра наибольшее распространение получили поглощающие фильтры из стекла и окрашенных пластмасс типа ИКС-1, ИКС-2, ИКС-3. Не пропуская видимых лучей, эти фильтры прозрачны в инфракрасной части спектра до 80%.

На рис. 6.24 совмещены спектральная характеристика излу-

ния Солнца 1, пламени 2, германиевого фотодиода 3 и оптического фильтра 4. Преобладающее значение имеет сигнал, выделенный от излучения пламени.

Для одновременной фильтрации коротковолновых и длинноволновых мешающих излучений применяют полосовые фильтры, вырезающие из спектра определенную, нужную полосу частот (длин волн).

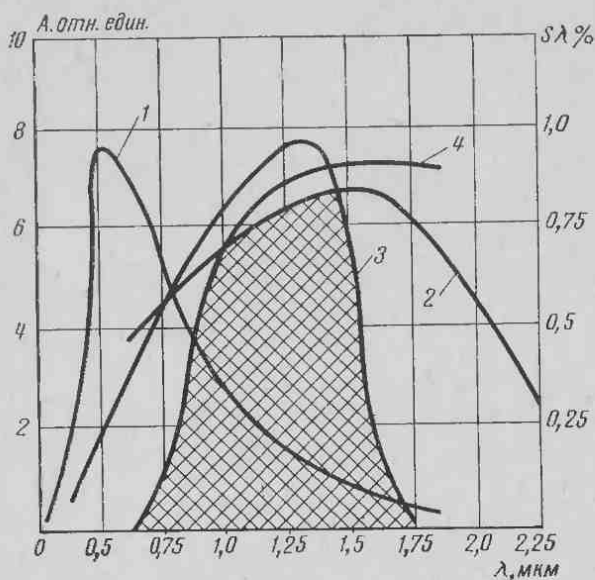


Рис. 6.24. Семейство спектральных характеристик

Создание определенных конструкций объективов извещателя, а также соответствующее их размещение позволяет исключить прямое попадание солнечных и других засветок. С помощью различных электронных устройств обеспечивается подавление слабых сигналов и выделение наиболее мощных от пламени пожара.

Важным элементом устройства обнаружения инфракрасного излучения является оптика, служащая для улавливания излучения и фокусировки его на чувствительный элемент фотоприемника. С помощью оптики удастся во много раз увеличить облученность чувствительного элемента.

Оптические элементы инфракрасной области спектра (линзы, зеркала, призмы и др.) принципиально не отличаются от элементов оптики видимой области спектра. Основное различие заключается в материалах, которые должны обладать хорошей пропускающей или отражающей способностью в рабочем участке спектра.

Оптику характеризуют следующие параметры: диаметр, фокусное расстояние, коэффициент пропускания в рабочей области

спектра, поле зрения, величина aberrации, коэффициент оптического усиления.

В качестве оптических элементов в инфракрасных устройствах широко применяются различные линзы и зеркальные отражатели, а также комбинированные зеркально-линзовые схемы.

В целом устройство обнаружения пожара характеризуется совокупностью следующих параметров: селективностью и спектральной чувствительностью, пороговой чувствительностью, максимальной дальностью обнаружения, углом поля зрения (в пределах которого обнаруживается пламя), помехозащищенностью (отношение вероятности обнаружения пожара на фоне оптических помех к вероятности обнаружения при отсутствии помех).

**Принципы построения схем с фотоприемниками.** Для сохранения работоспособности схем с фотоприемниками в условиях изменяющейся температуры и фоновой засветки необходимо выбрать оптимальные режимы включения этих приборов по постоянному току, так как под влиянием дестабилизирующих факторов рабочая точка может сместиться в нерабочую область вольт-амперных характеристик, что приведет к уменьшению выходного сигнала. На положение рабочей точки оказывают влияние два дестабилизирующих фактора: температура, определяющая токи насыщения  $n-p$ -переходов, и засветки.

Условие максимальной отдачи приемника определяется зависимостью величины сигнала  $U_c$  от значения  $R_T$ ,  $R_H$  и  $R_{BX}$ .

Представив приемник излучения в виде переменного сопротивления  $R_T$ ,  $U_c$  для схемы на рис. 6.25 можно записать как

$$U_c = i_\phi R_{BX}, \quad (6.63)$$

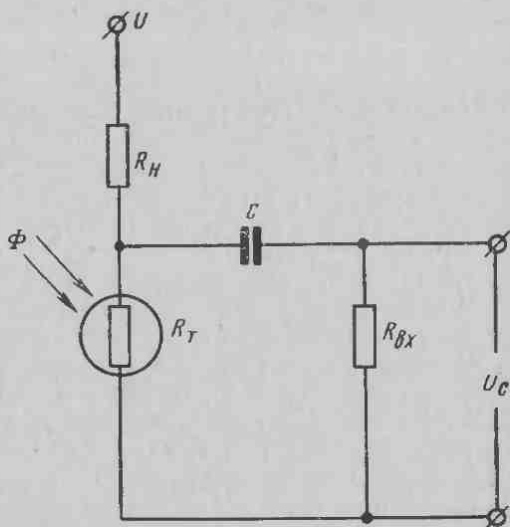


Рис. 6.25. Схема включения фотосопротивления

где

$$i_{\Phi} = U \frac{1}{R_T + R_{II}} \text{ — ток приемника;}$$

$$R'_{II} = \frac{R_{II} \cdot R_{ВХ}}{R_{II} + R_{ВХ}}, \text{ если пренебречь сопротивлением конденсатора } C.$$

Подставив значение  $i_{\Phi}$  и  $R'_{II}$ , получим

$$U_c = U \frac{R_{II} R_{ВХ}}{R_T R_{II} + R_{II}^2 + R_T R_{ВХ} + R_{II} R_{ВХ}}. \quad (6.64)$$

Обозначив  $R_{ВХ} = aR_T$ , а  $R_{II} = bR_T$ , получим

$$U_c = U \frac{ab}{a + b + ab + b^2} = UK, \quad (6.65)$$

где  $K$  — функция параметров входа,  $K = \frac{ab}{a + b + ab + b^2}$ .

Значение максимума  $K$  как функции от  $R_{II}/R_T = b$  можно найти, продифференцировав  $K$  по  $b$  и приравняв нулю производную. После этих преобразований получим

$$\frac{R_{II}}{R_T} = \sqrt{\frac{R_{IIХ}}{R_T}},$$

откуда

$$R_{ВХ} = \frac{R_{II}^2}{R_T}. \quad (6.66)$$

Оптимальное значение сопротивления нагрузки приемника определяется:

$$R_{II, \text{опт}} = \sqrt{R_{ВХ} \cdot R_T}. \quad (6.67)$$

Коэффициент усиления усилителя обычно определяется как отношение выходного напряжения  $U_{ВЫХ}$  к входному  $U_{ВХ}$ :

$$K = \frac{U_{ВЫХ}}{U_{ВХ}}. \quad (6.68)$$

Значение выходного напряжения выбирается исходя из порога срабатывания исполнительного устройства сигнализации.

Входное напряжение зависит от характеристик приемника излучения — интегральной чувствительности  $S_T$  и порога чувствительности  $\Phi_{II}$ . Учитывая, что  $S_T = U_c / \Phi_{II}$ , найдем значение сигнала на выходе приемника при облучении его потоком  $\Phi_{II}$ :

$$U_c = S_T \Phi_{II}. \quad (6.69)$$

Положив  $U_c = U_{ВХ}$ , получим

$$U_{ВХ} = S_T \Phi_{II}. \quad (6.70)$$



Зная величины  $S_T$  и  $\Phi_{II}$ , которые имеются в паспорте приемника, можно рассчитать минимальное входное напряжение на усилителе.

В устройствах электронной автоматики широкое применение нашли полупроводниковые усилители, обладающие рядом преимуществ по сравнению с ламповыми. Полупроводниковым усилителям присущи такие качества, как немедленная готовность к действию, малые габариты и незначительное потребление энергии при высоких коэффициентах усиления, долговечность, высокая надежность и др.

В режиме пропорционального усиления выходная мощность транзистора не превышает трех-четырёхкратного значения мощности потерь в его внутренних сопротивлениях.

В спусковом (релейном) режиме это соотношение составляет несколько десятков. Поэтому за счет введения межкаскадной обратной связи стремятся обеспечить ключевой (релейный) режим работы фотоэлектрических усилителей. Введение ключевого режима работы способствует также увеличению точности срабатывания выходных электромагнитных устройств и полному использованию энергетических возможностей полупроводников.

В связи с нестационарностью процесса развития пожара происходит колебание уровня излучения и его спектра с частотой несколько десятков герц. Наличие переменной составляющей в выходном сигнале фотоприемника позволяет создать усилитель переменного тока, обладающий высокой устойчивостью в широком температурном диапазоне.

В схеме (рис. 6.26) в качестве фотоприемника применен фотодиод ФД. Переменная составляющая сигнала с делителя, образованного фотодиодом и резистором  $R_1$ , через разделительный конденсатор  $C_1$  подается на базу транзистора  $T$  усилительного каскада.

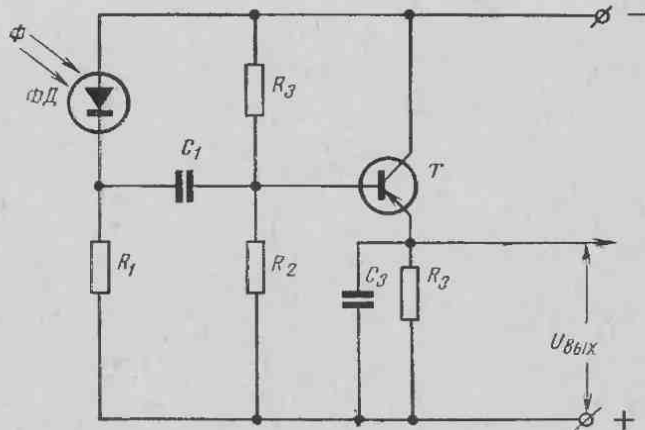


Рис. 6.26. Схема обнаружения пожара по переменной составляющей излучения

Фотодиоды, кроме других преимуществ, обладают более широким световым динамическим диапазоном, что обеспечивает работоспособность устройства в условиях повышенной фоновой освещенности.

### § 6.5. Извещатели ультрафиолетового излучения

Открытое пламя пожара, кроме инфракрасного спектра, излучает и ультрафиолетовый спектр энергии.

По мере уменьшения длины волны излучения все в большей степени проявляются его корпускулярные свойства — энергия излучения передается не непрерывно, а определенными порциями — квантами. Носителями этих порций энергии являются материальные частицы — фотоны. Энергия отдельного фотона обратно пропорциональна длине волны излучения.

В качестве чувствительного элемента ультрафиолетового излучения применяются счетчики фотонов (типа СФУ-1, СФУ-2), обладающие достаточно высокими спектральной чувствительностью и температуроустойчивостью.

Счетчик фотонов представляет собой цилиндрический баллон 1 из прозрачного для ультрафиолетового излучения кварцевого стекла. Внутри наполненного смесью газов баллона помещены анод 2 и катод 3 (рис. 6.27). Анод представляет собой металличе-

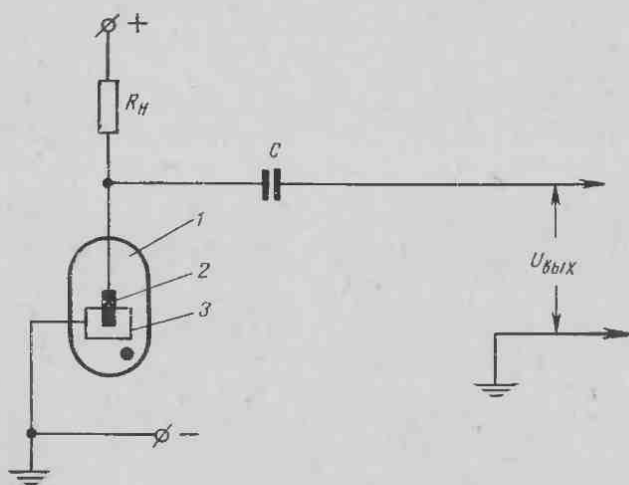


Рис. 6.27. Схема датчика фотонов

скую нить, помещенную вертикально по центру баллона. Катод расположен вокруг нити — анода — в виде металлического цилиндра с вырезом по образующей.

При отсутствии ультрафиолетового излучения счетчик имеет

большое электрическое сопротивление, в результате ток в цепи отсутствует. Ультрафиолетовое излучение, проникая в баллон счетчика, вызывает ионизацию газа. Электроны, возникающие при ионизации, собираются на аноде, в результате чего появляется импульсное изменение напряжения на участке газового разряда анод — катод счетчика.

Специальные гасящие добавки (метилаль, изопентаи), являющиеся компонентами газовой смеси, прекращают разряд, и потенциал анода восстанавливается до первоначального. Частота таких циклов, или импульсов, в единицу времени определяет скорость счета и зависит от интенсивности излучения. С увеличением интенсивности ультрафиолетового излучения скорость счета возрастает.

Импульсы тока, возникающие в счетчике, выделяются высокоомным сопротивлением  $R_n$  и через разделительный конденсатор  $C$  подаются к усилителю импульсов для последующего усиления и преобразования (см. рис. 6.27).

Газовый разряд в указанных счетчиках возможен при наличии высокого напряжения (900—1200 в) на его электродах.

Существенным недостатком счетчиков типа СФУ-1, СФУ-2 является небольшой срок службы ( $3 \cdot 10^7$  импульсов). При сильной освещенности скорость счета возрастает настолько, что ресурс работы счетчика может быть использован за несколько минут, поэтому в местах установки извещателей освещенность не должна превышать 50 лк на  $1 м^2$ .

В настоящее время для регистрации слабых ультрафиолетовых излучений применяются другие приборы, обладающие достаточно высокой чувствительностью и большим сроком службы, например, лампы тлеющего разряда. Конструктивно лампа тлеющего разряда представляет собой колбу из прозрачного для ультрафиолетового излучения материала, заполненную водородом или его смесью с инертными газами. В колбе находятся два электрода, на которые подается переменное напряжение. Когда отрицательный электрод облучается ультрафиолетовым излучением, появляется фототок, способствующий возникновению разряда. Разряд гасится в каждом полупериоде напряжения питания и вновь возникает при достаточной интенсивности облучения. Напряжение питания лампы тлеющего разряда не превышает 220 в переменного тока.

## § 6.6. Извещатели продуктов горения

В развитии пожара некоторое время происходит процесс медленного горения без достаточного доступа воздуха с выделением большого количества газообразных продуктов и дыма. Иногда это время длится несколько часов, в течение которых помещение заполняется газами и дымом без заметного повышения температуры. Поэтому появление в определенной концентрации продуктов горения свидетельствует о возникновении очага пожара.

Дымы представляют собой совокупность твердых и жидких частиц, взвешенных в воздухе или другой газообразной среде, и являются частным случаем аэродисперсных систем, к которым принадлежат также туманы и пыли, отличающиеся от дымов формой, размерами, химическим составом, состоянием и способом образования частиц.

Частицы дыма в большинстве случаев в течение некоторого времени после генерации очень малы (от 0,1 до 1,0 мкм в диаметре).

Под влиянием броуновского движения частицы в облаке дыма сталкиваются друг с другом и слипаются. Этот процесс продолжается непрерывно, пока число частиц значительно не уменьшится и средний размер увеличится.

Образование дыма является динамическим процессом, включающим поток паров и частиц при наличии интервенционной газообразной среды. В процессе горения всегда выделяются пары и при последующем охлаждении до первоначального горения ядра конденсации развивают почти отдельные частицы дыма, делая их больше по размеру, медленнее по скорости, содействуя окончательному оседанию.

**Ионизационные извещатели.** В основе принципа действия ионизационного извещателя лежит измерение изменения электрической проводимости среды, облученной радиоактивным источником в результате заполнения ее дымом.

Основным элементом извещателя является ионизационная камера, в которой размещены два электрода (рис. 6.28). Под дейст-

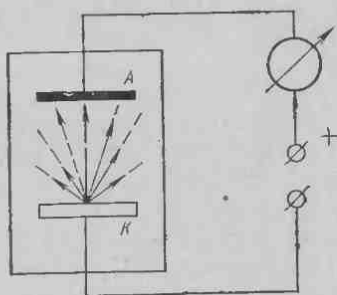


Рис. 6.28. Ионизационная камера

вием непрерывного радиоактивного излучения воздух в камере ионизируется, делается проводником электричества. Приложенное к электродам напряжение вызывает возникновение ионизационного тока, являющегося функцией приложенного напряжения, свойств ионизирующего агента и ионизируемой среды. Дым, попадая в ионизационную камеру, снижает степень ионизации, в результате чего электрическая проводимость между электродами уменьшается. Пропорционально уменьшению электропроводимости снижается ионизационный ток, являющийся током включения соответствующей схемы сигнализации.

В качестве радиоактивного источника излучения используется изотоп плутония 239.

При неизменном составе и плотности газовой среды зависимость ионизационного тока  $I$  от напряжения  $U$ , приложенного к электродам, выражается характерной кривой, изображенной на рис. 6.29. На участке  $I$  наблюдается линейная зависимость иони-



Рис. 6.29. Зависимость ионизационного тока камеры от напряжения на электродах

зационного тока от напряжения, затем возрастание тока замедляется, и на участке  $II$  ток достигает насыщения, являясь тем самым мерой числа возникающих под воздействием ионизации пар ион—электрон. При дальнейшем повышении напряжения ток снова повышается, так как, кроме действия ионизатора, появляется вторичный процесс ионизации под влиянием ударов быстро несущихся электронов и ионов о нейтральные молекулы. Приращение тока вторичной ионизации характеризуется так называемым коэффициентом газового усиления. Увеличение напряжения на электродах вызывает возрастание коэффициента газового усиления. На участке  $III$  коэффициент газового усиления мал и не зависит от энергии ионизатора. Этот участок называется участком пропорционального усиления.

С последующим увеличением напряжения (участок  $IV$ ) коэффициент газового усиления не пропорционален начальной ионизации, созданной ионизирующими частицами. Этот участок называется участком ограниченной пропорциональности.

Величина ионизационного тока при возрастании напряжения до значения  $U_4$  различна для различных ионизирующих частиц,

образующих разное число пар ионов (кривые 1, 2). При приближении напряжения к значению  $U_4$  величины токов (импульсов) от двух различных частиц сближаются и затем становятся равными. Дальнейшее увеличение напряжения (участок V) характерно тем, что ионизационный ток перестает зависеть от энергии и природы ионизирующих частиц в связи с наступлением пробоя участка между электродами.

На участках I—IV ионизационный ток прекращается при окончании действия внешнего ионизатора, вследствие чего эти участки являются областью несамостоятельного разряда. В подавляющем большинстве ионизационные камеры работают на участках I и II вольт-амперной кривой.

Известно, что наиболее тяжелые  $\alpha$ -частицы обладают энергией большей, чем остальные частицы излучений радиоактивных изотопов, и являются самым сильным ионизирующим агентом.

Пробег всех  $\alpha$ -частиц примерно одинаков и является функцией энергии излучаемых  $\alpha$ -частиц.

В воздухе

$$l_v = 0,318E_\alpha, \quad (6.71)$$

где  $l_v$  — средняя длина пробега  $\alpha$ -частиц в воздухе, см;

$E_\alpha$  — начальная энергия  $\alpha$ -частиц в Мэв, равная примерно 6 Мэв.

Максимальная длина пробега  $\alpha$ -частиц в воздухе равна 9 см. Средний пробег в любой среде определяется по среднему пробегу в воздухе, согласно выражению,

$$l_{cp} = l_v \frac{\rho_v}{\rho_{cp} S_{cp}}, \quad (6.72)$$

где  $\rho_v$  и  $\rho_{cp}$  — удельный вес воздуха и соответствующей среды;  $S_{cp}$  — атомная тормозная способность, зависящая от атомного номера  $z$ -среды,

$$S_{cp} = 0,563 \frac{z}{\sqrt{z+10}}. \quad (6.73)$$

Значение  $S_{cp}$  колеблется от 0,2 (для водорода) до 4,27 (для свинца).

На образование одной пары ионов в воздухе  $\alpha$ -частица затрачивает энергию, равную:

$$\Delta E = 35эв \quad (1эв = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ дж}). \quad (6.74)$$

Суммарное число  $N_{\text{общ}}$  пар ионов, образующихся в пространстве по одну сторону (в полуплоскости) от источника в секунду, равно:

$$N_{\text{общ}} = \frac{E_\alpha}{\Delta E} \cdot \frac{n}{2} = \frac{E_\alpha}{2\Delta E} CA_a, \quad (6.75)$$

где  $n$  — число частиц, испускаемых источником излучения в 1 сек;

$C = 3,7 \cdot 10^{10}$  — количество частиц, испускаемых в 1 сек излучателем, активностью 1 кюри\*;

$A_a$  — активность источника, кюри.

Если все образующиеся ионы под воздействием приложенного напряжения достигают электродов (что соответствует участку насыщения вольт-амперной кривой), то ток в этом случае (ток насыщения) равен:

$$I = N_{\text{общ}} q = \frac{E_a}{2\Delta E} C A_a q, \quad (6.76)$$

где  $q$  — заряд одного иона.

С другой стороны, число атомов 1 г радиоактивного вещества, распадающегося с испусканием радиоактивных излучений, равно:

$$N = \lambda \frac{N_a}{A}, \quad (6.77)$$

где  $\lambda$  — постоянная распада;

$N_a$  — общее число атомов в одном грамме данного вещества;

$A$  — молекулярный вес.

При использовании  $m$  граммов радиоактивного вещества число  $n$  излучаемых в 1 сек частиц равно:

$$n = \lambda \frac{N_a}{A} m. \quad (6.78)$$

Отсюда выражение для общего числа ионов  $N_{\text{общ}}$ , образующихся в 1 сек в пространстве, можно выразить так:

$$N_{\text{общ}} = \frac{E_a}{2\Delta E} \lambda \frac{N_a}{A} m \quad (6.79)$$

$$\text{и } I = N_{\text{общ}} q = \frac{E_a}{2\Delta E} \lambda \frac{N_a}{A} q m. \quad (6.80)$$

Значения  $N_a$ ,  $A$  и  $\lambda$  для различных радиоактивных изотопов можно найти в соответствующих таблицах.

Значение тока насыщения будет также зависеть от давления и плотности газовой среды и в общем виде выражается следующей зависимостью:

$$I = \sqrt{\frac{3 \cdot 2 \cdot 10^{-14} \sqrt{A_r}}{l_x \rho_{\text{г}} \cdot 0,318}} \left[ q \frac{P}{160} + (1 - a) \right] \frac{E_a}{2\Delta E} \lambda \frac{N_a}{A} q m, \quad (6.81)$$

где  $P$  — давление, мм рт. ст.;

$a$  — геометрическая постоянная (при длине ионизируемого пространства  $L$   $3 \div 5$  мм  $A \rightarrow 1$ );

$l_n$  — длина пробега  $\alpha$ -частицы в воздухе;

\* 1 кюри равен числу актов распада ( $3,7 \cdot 10^{10}$  в 1 сек) 1 г чистого радия.

$l_x$  — длина пробега  $\alpha$ -частицы в газе;

$\rho_x$  — плотность газа;

$A_x$  — среднее массовое число газа.

На рис. 6.30, а приведена схема ионизационного извещателя с двумя ионизационными камерами. Камера I — рабочая, в которую беспрепятственно проникают продукты горения, камера II почти полностью закрыта от попадания продуктов горения и служит для компенсации колебаний атмосферного давления и температуры воздуха.

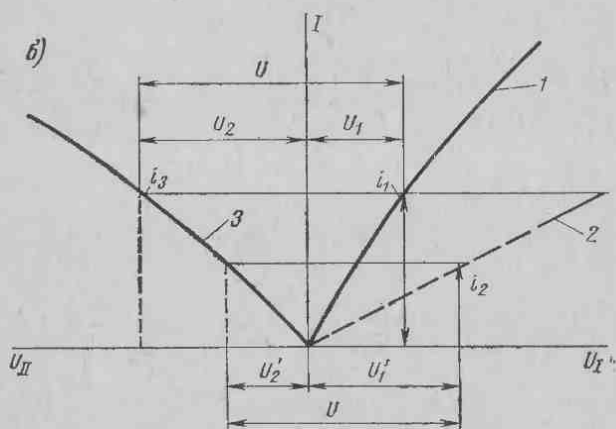
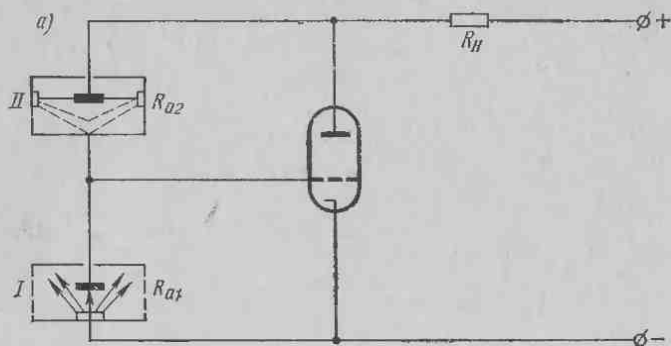


Рис. 6.30. Схема двухкамерного ионизационного извещателя а и его вольт-амперные характеристики б

Расстояние между электродами в камере II меньше, чем в камере I, поэтому камера II работает в режиме насыщения.

При отсутствии дыма в цепи протекает ток  $i_1$  (кривая 1) и  $i_3$  (кривая 3). Напряжение на камере I равно  $U_1$ , а на камере II —  $U_2$ . При появлении дыма (кривая 2) ток в цепи уменьшается до  $i_2$ .



Следовательно, распределение напряжения между камерами также изменяется и будет соответственно равно  $U'_1$  и  $U'_2$ . Так как приложенное напряжение остается постоянным, то справедливо равенство:

$$U = U_1 + U_2 = U'_1 + U''_2.$$

Изменение напряжения на камере будет соответствовать разности напряжений:

$$U = U'_1 - U'_2$$

и вызывает зажигание тиратрона.

В целях снижения потребляемой электроэнергии применяют тиратроны с холодным катодом.

На рис. 6.31 показана схема с одной (рабочей) камерой, где вместо компенсационной камеры применен композиционный вакуумизированный высокоомный резистор  $R_{a_1}$ .

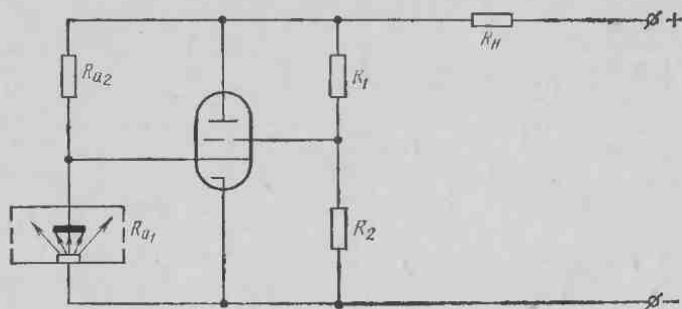


Рис. 6.31. Схема однокамерного ионизационного извещателя

Конструкция извещателя с одной камерой существенно упрощается, однако при воздействии температуры, влажности, атмосферного давления и других факторов его рабочие параметры ухудшаются.

**Фотоэлектрические извещатели.** Характерной особенностью аэрозолей является способность поглощать и рассеивать свет, чем и обусловлена их непрозрачность.

Процессы рассеивания и поглощения света определяются, с одной стороны, физико-химическими постоянными аэрозолей системы, размером и формой частиц и, с другой стороны, оптическими константами дисперсной фазы и дисперсной среды, отношением размеров частиц к длине волны света.

Прозрачность аэрозоля с однородными частицами шарообразной формы рассчитывается по формуле Бугера — Ламберта — Бэра

$$\frac{\Phi}{\Phi_0} = e^{-FNL} = 10^{-BL}, \quad (6.82)$$

где  $\Phi_0$  — световой поток, входящий в аэрозоль, лм;  
 $\Phi$  — световой поток, ослабленный аэрозолем, лм;  
 $L$  — длина пути света в аэрозоле, см;  
 $B$  — оптическая плотность, 1/см;

$$B = FN \lg e = \frac{1}{L} \lg \frac{\Phi_0}{\Phi},$$

здесь  $N$  — счетная концентрация аэрозоля, 1/см<sup>3</sup>;

$F$  — эффективное значение ослабления аэрозольной частицы (см<sup>2</sup>), состоящее из эффективного сечения поглощения  $F_{\text{п}}$  и эффективного сечения рассеивания  $F_{\text{р}}$  ( $F = F_{\text{п}} + F_{\text{р}}$ ).

Поглощающие свойства частиц зависят от их размеров и электропроводности. Поглощением света малыми частицами обычно пренебрегают ( $F \approx F_{\text{р}}$ ).

С увеличением проводимости и размеров частиц, а также при многократном рассеивании доля поглощения возрастает.

Эффективное сечение рассеивания связано с геометрическим сечением частиц  $F_2 = \frac{\pi d^2}{4}$  следующим равенством:

$$F_{\text{р}} = \int_0^{\infty} F_2 k(\rho) f(d), \quad (6.83)$$

где  $k(\rho)$  — коэффициент рассеивания;

$f(d)$  — функция распределения аэрозольных частиц по диаметрам  $d$ .

На рис. 6.32 показана зависимость коэффициента рассеивания

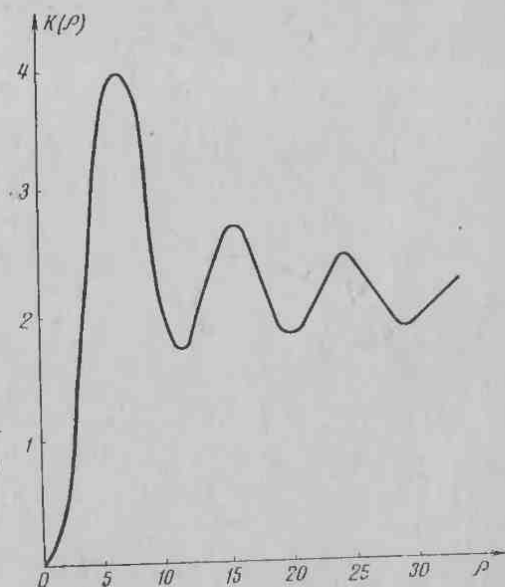


Рис. 6.32. Характеристика коэффициента рассеивания света частицами дыма

от параметра  $\rho$  — пропорционального отношения диаметра частицы к длине волны света  $\lambda$ :

$$\rho = \pi \frac{d}{\lambda}. \quad (6.84)$$

откуда видно, что наибольшим рассеиванием обладают частицы, диаметр которых соизмерим с длиной волны света ( $d \approx 2\lambda$ ).

Положение максимума приведенной кривой зависит от коэффициента преломления  $n$  вещества частиц. С увеличением коэффициента преломления увеличивается абсолютная величина максимума коэффициента рассеивания и происходит сдвиг максимума в сторону меньших  $\rho$ .

Для частиц, размеры которых малы по сравнению с длиной волны ( $d \ll \lambda$ ), коэффициент рассеивания пропорционален четвертой степени  $\rho$ :

$$k(\rho) = \frac{8}{3} \left( \frac{n^2 - 1}{n^2 + 2} \right) \rho^4. \quad (6.85)$$

Эффективное сечение рассеивания определяется по закону Рэлея:

$$F_p = \frac{2\pi^5 d^6}{3\lambda^4} \left( \frac{n^2 - 1}{n^2 + 2} \right). \quad (6.86)$$

Для частиц, больших длины волны ( $d \gg \lambda$ ), наблюдается геометрическое рассеивание  $k(\rho) = 2$ .

Эффективное сечение рассеивания равно боковой поверхности передней половины частицы, т. е.

$$F_p = \pi \frac{d^2}{2}. \quad (6.87)$$

Интенсивность света, рассеянного аэрозольной частицей, неодинакова по всем направлениям.

Индикатриса рассеивания для частицы с диаметром, много меньшим, чем длина волны света, приведена на рис. 6.33, а. С уве-

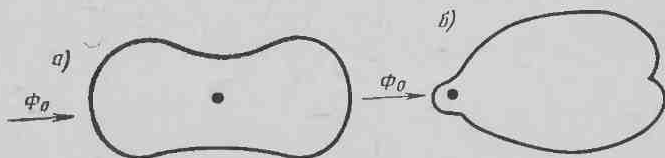


Рис. 6.33. Индикатрисы рассеивания света частицами дыма

личением диаметра частицы до соотношения  $d \gg \lambda$  индикатриса рассеивания вытягивается вперед (рис. 6.33, б), т. е. в направлении распространения светового потока, падающего на аэрозольную частицу.

Так как рассеивание света предельно большой частицей определяется элементарными процессами отражения и преломления на

ее поверхности, то форма индикатрисы рассеивания также зависит от коэффициента преломления вещества частицы. Индикатриса рассеивания будет вытянута тем меньше, чем больше коэффициент преломления. Следует отметить, что коэффициент преломления в свою очередь зависит от длины волны света.

Таким образом, контролируя изменение оптических свойств среды, обнаружить дым можно двумя методами:

по ослаблению первичного светового потока за счет уменьшения прозрачности среды;

по интенсивности отраженного (рассеянного) светового потока частицами дыма.

Для первого случая ослабление светового потока выражается формулой (6.53) и зависит от концентрации, формы и размеров частиц и толщины исследуемого слоя.

Для второго случая соотношение между первичным  $\Phi_0$  и рассеянным  $\Phi_p$  световыми потоками при частицах, размеры которых меньше длины волны света ( $d \ll \lambda$ ), может быть выражено:

$$\Phi_p = \Phi_0 k \frac{NV^2}{\lambda^4} (1 + \cos\theta), \quad (6.88)$$

где  $N$  — число частиц в единице объема;

$V$  — объем частиц;

$k$  — коэффициент пропорциональности;

$\theta$  — угол, определяющий направление рассеянного света.

Количество рассеянного света в том или другом направлении для частиц, размеры которых значительно больше длины волны ( $d \gg \lambda$ ), определяется законами геометрической оптики и зависит прежде всего от коэффициента преломления частиц, а также от их формы и размеров.

Частицы, соизмеримые с длиной волны света ( $d \approx \lambda$ ), обладают максимальным рассеиванием.

Структурная схема фотоэлектрического извещателя дыма на принципе регистрации снижения прозрачности светового луча изображена на рис. 6.34.

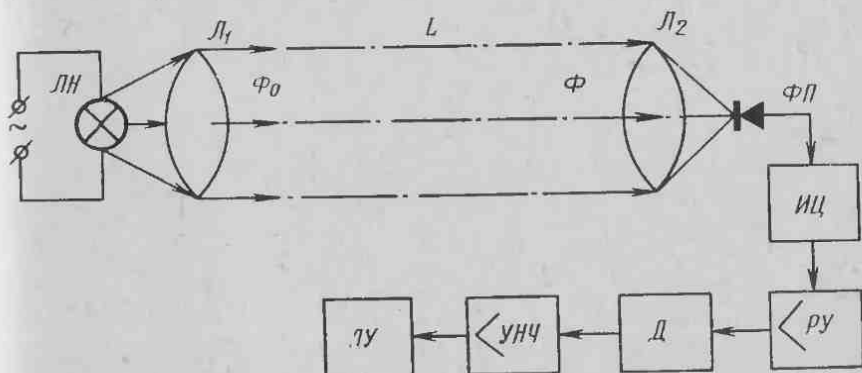


Рис. 6.34. Функциональная схема фотолучевого извещателя дыма

В качестве излучателя светового потока применена лампочка накаливания  $ЛН$ , питающаяся от переменного тока.

Линзы  $Л_1$  и  $Л_2$  служат фокусирующими элементами светового потока. Сигнал от изменения освещенности фотоприемника  $ФП$  в результате воздействия дыма на световой поток регистрируется измерительной цепью  $ИЦ$ , усиливается резонансным усилителем  $РУ$ , детектируется детектором  $Д$  и после усиления  $УНЧ$  подается на пороговое устройство  $ПУ$ , срабатывающее при достижении сигнала определенного значения.

Как уже отмечалось выше, ослабление светового потока связано логарифмической зависимостью с длиной участка исследуемой среды. В данном случае эта длина определяется длиной светового луча, созданного в результате рассеяния фотоприемника от излучателя.

Длиннолучевой вариант извещателя наиболее рационально применять в помещениях с большой площадью (до 1500—2000 м<sup>2</sup>).

В извещателе, построенном на принципе регистрации отраженного от частиц дыма света, излучатель и фотоприемник совмещены в одной конструкции. На рис. 6.35 показана упрощенная схема та-

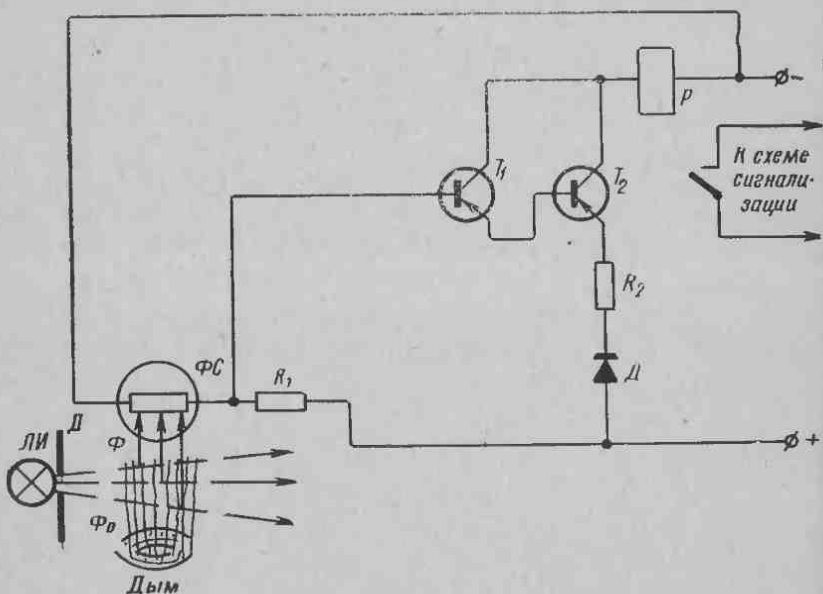


Рис. 6.35. Схема извещателя дыма на принципе регистрации отраженного света

кого извещателя, где отраженный от частиц дыма световой поток  $\Phi$  воздействует на фотосопротивление  $\Phi С$ .

До появления дыма фотосопротивление находится в затемненном состоянии и имеет большое сопротивление. Транзисторы  $T_1$ ,  $T_2$ ,

включенные по составной схеме, находятся в закрытом состоянии. При появлении дыма в зоне светового луча фотоспротивление освещается отраженным светом, в результате чего сопротивление его уменьшается, а транзисторы открываются. Чем больше концентрация дыма, тем сильнее освещается фотоспротивление, тем больше открываются транзисторы. При определенном значении концентрации ток в цепи достигнет тока срабатывания реле  $P$ .

Уменьшение освещенности фотоприемника за счет ослабления светового потока дымом, а также количество света, попадающего на мишень фотоприемника в результате отражения от частиц дыма, вызывают относительно малые величины полезных сигналов на выходе фотоприемников. Поэтому для обеспечения достаточной работоспособности извещателей необходимо, чтобы фотоприемник обладал высокой чувствительностью в рабочем диапазоне спектра и стабильностью основных характеристик во времени. Коэффициент полезного действия фотоэлектрических извещателей значительно повышается при соответствии спектральной чувствительности фотоприемника, спектра излучателя, согласованного с размерами частиц контролируемых аэрозолей.

### § 6.7. Ультразвуковые извещатели

Развитие пожара в закрытом помещении сопровождается образованием воздушных потоков в зоне температурного влияния, в результате чего в помещении создаются акустические колебания — шумы. Частотный спектр этих шумов лежит в инфракрасной области излучений.

Обнаружение пожара путем селективной регистрации уровня акустических шумов в помещении относится к пассивным методам акустической локации.

Структурная схема устройства обнаружения пожара путем регистрации его акустических шумов показана на рис. 6.36. Уст-

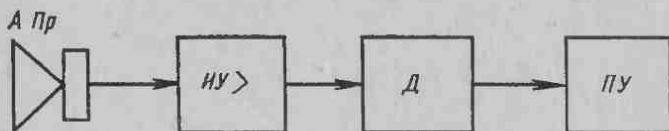


Рис. 6.36. Структурная схема обнаружения пожара путем регистрации его акустических шумов

ройство состоит из акустического преобразователя  $АПр$ , избирательного усилителя инфранизких частот  $ИУ$ , детектора  $Д$  и порогового устройства  $ПУ$ .

Однако в связи с тем, что в этом диапазоне частот в помещениях очень много акустических помех, этот принцип практически реализовать затруднительно.

Более эффективным методом обнаружения пожара является регистрация изменений физических характеристик активного

ультразвукового поля в результате воздействия на него энергетических составляющих пожара.

Создание активного ультразвукового поля осуществляется с помощью ультразвуковых преобразователей, представляющих собою механическую колебательную систему. Механическая система преобразователя, с одной стороны, согласуется с контролируемой средой и, с другой стороны, электромагнитной возбуждающей цепью так, что электрические колебания электромагнитной возбуждающей цепи преобразуются в ультразвуковые колебания и наоборот, т. е. ультразвуковые преобразователи обладают обратимостью.

Одним из важнейших критериев ультразвукового поля является потеря энергии при распространении ее через воздушную среду за счет действия внутреннего трения между частицами воздуха при их движении.

На практике происходит поглощение ультразвуковой энергии, вызванное наличием флуктуационных турбулентных потоков воздушной среды, ибо всякое движение жидкости или газа в той или иной степени турбулентно, тем более, что мы имеем дело с самыми различными помещениями.

Для турбулентного движения характерно наличие пульсирующей скорости отдельных частиц в каждой точке потока относительно некоторого среднего значения, которые носят нерегулярный, случайный характер, поэтому скорость движения потока и его направление также носят нерегулярный, случайный характер, а пыль, дым и другие примеси, имеющиеся в воздухе, перемещаются. Кроме того, имеющиеся в воздухе температурные неоднородности вследствие перепада температур между наружной и внутренней средами, а также в результате конвекции воздуха при работе отопительной системы вызывают перемещение частиц воздуха. Поэтому температура в каждой точке объема имеет беспорядочные и нерегулярные отклонения от своего среднего значения. Это приводит к тому, что ультразвуковое поле контролируемого объема весьма непостоянно во времени по уровню энергии в различных точках объема. Указанное явление известно под названием акустического фединга. С увеличением скорости воздушного потока, частоты звука и расстояния между излучателем и приемником акустический фединг проявляется все заметнее. Как отмечалось, в контролируемом объеме благодаря турбулентному состоянию воздушной среды наблюдаются неоднородности скоростей потоков конвекции, сквозняков и температуры. Указанные неоднородности можно представить в виде вихрей различной величины. Если величина таких неоднородностей сравнима с длиной волны, звуковые волны рассеиваются, дифрагируют на них во все стороны. Если же величина неоднородностей гораздо больше длины звуковой волны, звуковые волны испытывают на них преломление.

Так как ультразвуковые волны почти полностью отражаются стенами, полом и различными предметами помещения, то

это приводит к многочисленным отражениям их, прежде чем они рассеются.

Если приемный преобразователь поместить в точку объема, где интенсивность акустического поля максимальна, приемное устройство обнаружит сильный сигнал, и наоборот, если поместить его в точку, где интенсивность минимальна, получим слабый сигнал.

Однако за счет влияния указанных выше факторов (например, температуры воздуха, влажности и химического состава) амплитуда результирующего колебания может быть максимальной во второй точке, и наоборот, минимальна в первой, т. е. в результате акустического фидинга уровень ультразвуковой энергии в блокируемом помещении непостоянен во времени. Значение уровня ультразвуковой энергии для данной точки объема может падать от максимума до нуля, а по времени может колебаться от десятых долей секунды до десятков секунд.

Появление в контролируемом объеме носителя информации вызывает возмущение ультразвукового поля. Носитель информации (пламя пожара или движущийся человек), пересекая пути распространения ультразвуковых волн, проходит достаточное количество точек в объеме помещения. Ультразвуковая энергия, падающая на носитель информации и отраженная от него, стремится к какой-то средней величине, которая, в свою очередь, является функцией энергии, излучаемой в пространстве, и эта средняя величина претерпевает изменения, т. е. происходит амплитудная модуляция излучаемой энергии.

При возникновении очага пожара часть ультразвуковой энергии будет отражаться от оболочки пламени и газового столбика за счет резкого перепада температур. В связи с малой плотностью окружающего пламя горячего воздуха последний отражает ультразвуковые волны подобно твердому телу; часть энергии будет преломляться через границу пламя — воздушный поток и продолжат распространение в области горения, турбулентных потоков и поднимающегося потока газа.

Часть ультразвуковой энергии, отраженной от пламени и близлежащих областей газозвушной среды с большим перепадом температур, можно рассчитать по формуле:

$$K = 100 \left( \frac{\rho_2 c_2 - \rho_1 c_1}{\rho_2 c_2 + \rho_1 c_1} \right)^2, \quad (6.89)$$

где  $\rho_1 c_1$  — удельное акустическое сопротивление воздуха при нормальных условиях;

$\rho_2 c_2$  — удельное акустическое сопротивление газозвушной среды на границе горения и близлежащих областях.

$$c = 3,31 \cdot 10^3 \sqrt{\frac{^\circ\text{K}}{273}}, \text{ см/сек.}$$

Часть энергии, которая преломляется внутрь пламени или турбулентного потока столба, будет претерпевать изменение не толь-



ко за счет перепада температур, вызывающего изменение скорости распространения звука, но и за счет турбулентных движений газовой среды, имеющих неопределенный характер.

Если изменение количества энергии фиксируется в приемнике как изменение амплитуды на постоянной нагрузке и зависит от площади объекта (пламени), то изменение частоты фиксируется как изменение числа переходных волн, которые зависят от скорости перемещения объекта.

При движении объекта в контролируемом объеме рассматривать его можно как новый источник энергии частоты  $f_0$ , движущийся относительно звукоприемника.

Определим значение  $\Delta f_0$  (без строгого учета движения перпендикулярно оси направленности, так как имеем полусферу).

При неподвижных звукоприемнике и звукоизлучателе относительно среды имеем количество волн  $f'$ , проходящих мимо звукоприемника, определяемое из выражения:

$$f' = \frac{c}{\lambda}. \quad (6.90)$$

При движении объекта со скоростью  $v$  за время  $t$  он пройдет расстояние  $vt$ , на котором укладывается  $vt/\lambda$  волн.

Если в первом случае (при отсутствии объекта) мимо звукоприемника за время  $t$  прошло  $f't$  волн, то за то же время в последнем случае пройдет на  $vt/\lambda$  волн больше.

Обозначив через  $f'_1$  число волн, проходящих от движущегося объекта, получим

$$f'_1 t = f' t + \frac{vt}{\lambda}. \quad (6.91)$$

Заменяя  $\lambda$  через  $c/f$ , получим

$$f_1 = f'_1 \pm f_0 \frac{v}{c} = f_0 \frac{c \pm v}{c} = f_0 \left( 1 \pm \frac{v}{c} \right). \quad (6.92)$$

Следовательно, звукоизлучатель вместо волн с частотой  $f_0$  излучает волны с частотой  $f_0 \left( 1 \pm \frac{v}{c} \right)$ , т. е. при приближении объекта к звукоизлучателю измеряемая звукоприемником частота увеличивается, а при удалении — уменьшается (имеет место эффект Доплера).

В общем случае частота доплеровского сигнала может быть выражена:

$$f_A = k f_0 \frac{v}{c}, \quad (6.93)$$

где  $f_0$  — частота излучаемого сигнала;

$v$  — скорость движения объекта;

$c$  — скорость распространения ультразвуковых волн в воздухе;

$k$  — коэффициент, учитывающий местоположение движущегося объекта и направление его движения в каждый момент времени по отношению к развешенным на противоположные стороны излучателю и приемнику, равный  $1 \div 2$ .

Звуковая мощность  $P_{зв}$ , падающая на звукоприемник площадью  $1 \text{ см}^2$ , складывается из мощности прямых и диффузных волн и определяется плотностью энергии прямой волны  $\varepsilon_1$ , плотностью энергии диффузного поля  $\varepsilon_2$  и величиной поверхности звукоприемника  $S_{зв}$ :

$$P_{зв} = (\varepsilon_1 + \varepsilon_2)S_{зв} = W_{ак} \left[ \frac{1}{4\pi r^2 c} + \frac{4(1-\alpha)}{cS_1\alpha_1} \right] S_{зв}, \quad (6.94)$$

Акустическая мощность  $P$  источника сферических волн определяется из выражения:

$$P = \frac{P_{зв}}{S_{зв} \frac{1}{c} \left[ \frac{1}{4\pi r^2} + \frac{4(1-\alpha_1)}{S_1\alpha_1} \right]}, \quad (6.95)$$

где  $r$  — длина помещения;  
 $c$  — скорость распространения ультразвуковой энергии;  
 $S_1$  — площадь помещения (общая);  
 $\alpha_1$  — коэффициент поглощения стен, пола, потолка;  
 $S_{зв}$  — площадь сферы излучения;

$W_{ак}$  — звуковая мощность, принимаемая звукоприемником.

Находящийся в поле звуковой энергии объект принимает количество энергии:

$$P_{пад} = P \cdot S_2 \left[ \frac{1}{4\pi r_1^2 c} + \frac{4(1-\alpha_1)}{S_1 c \alpha_1} \right], \quad (6.96)$$

где  $S_2$  — площадь объекта.

Мощность, входящая от объекта на звукоприемник, равна:

$$P_{зв} = P_{пад} S_{зв} \left[ \frac{1}{4\pi r_2^2 c} + \frac{4(1-\alpha_2)}{S_2 c \alpha_2} \right] = P \cdot S_2 S_{зв} \left[ \frac{1}{4\pi r_1^2 c} + \frac{4(1-\alpha_1)}{S_1 c \alpha_1} \right] \left[ \frac{1}{4\pi r_2^2 c} + \frac{4(1-\alpha_2)}{S_2 c \alpha_2} \right]. \quad (6.97)$$

Принимая  $r_1 = r_2 = 25 \text{ м}$  (объект находится на одинаковом расстоянии от звукоприемника и звукоизлучателя),  $c = 3,32 \cdot 10^4 \text{ см/сек}$ ,  $\alpha_1 = 0,1$  (коэффициент поглощения стен),  $\alpha_2 = 0,5$  (коэффициент поглощения объекта),  $S_1 = 940 \text{ м}^2$  (общая площадь поверхности защищаемого помещения),  $S_2 = 2 \text{ м}^2$  (площадь объекта),  $S_{зв} = 1 \text{ см}^2$  (площадь звукоприемника), получим

$$P_{зв} = \frac{2 \cdot 10^3 P}{(3,32 \cdot 10^4)^2} \left[ \frac{1}{4\pi(2500)^2} + \frac{4(1-0,1)}{9,4 \cdot 10^6 \cdot 0,1} \right] \cdot \left[ \frac{1}{4\pi(2500)^2} + \frac{4(1-0,5)}{2 \cdot 10^4 \cdot 0,5} \right] = 1,38 \cdot 10^{-14} P, \quad (6.98)$$

т. е. мощность, поступающая на звукоприемник, пропорциональна мощности источника звуковых волн. Чем больше мощность излучения, тем больше энергии попадает на постороннее тело.

Физический смысл приведенного выше выражения заключается в том, что к прямой энергии от преобразователя добавляется диффузная, величина которой при полусферической форме звукоизлучателя и малой площади излучения может быть больше прямой.

Мощность, поступающая на приемный преобразователь от движущегося объекта, не зависит от местоположения последнего в объеме контролируемого помещения. Если движущийся объект находится вблизи расположения звукоизлучателя, то на него больше падает прямой энергии и лишь небольшая ее часть попадает в приемный преобразователь.

Когда движущийся объект находится вблизи расположения звукоприемника, то на этот объект падает малое количество энергии непосредственно от излучателя, и на приемный преобразователь от движущегося объекта поступает в основном диффузная энергия, излучаемая им как вторичным источником излучения.

На рис. 6.37 приведена функциональная схема устройства обнаружения пожара на принципе регистрации возмущений ультразвукового поля.

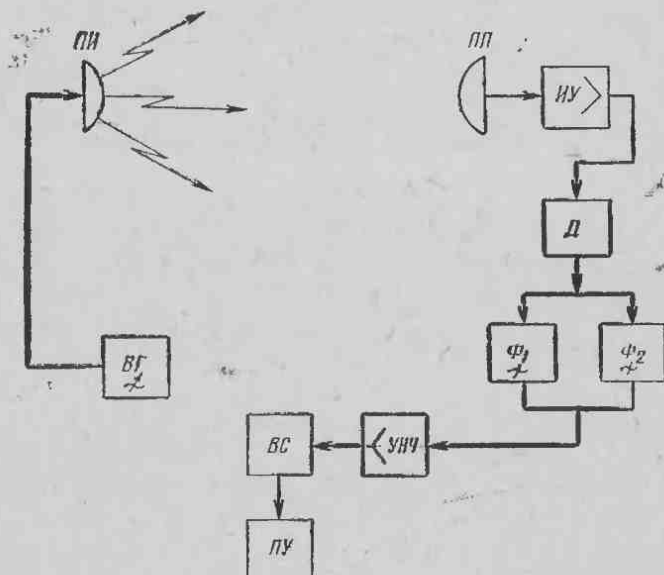


Рис. 6.37. Функциональная схема устройства обнаружения пожара путем регистрации возмущений ультразвукового поля

Преобразователь — излучатель *ПИ*, питающийся от высокочастотного генератора *ВГ*, излучает ультразвуковую энергию в контролируемое помещение, которая после многократных отражений от стен и предметов, заполняющих помещение, создает диффузное ультразвуковое поле. При появлении пожара (или передвигающегося человека) ультразвуковое поле претерпевает возмущения, в результате чего в приемном преобразователе *ПП* высокочастотный сигнал будет промодулирован по амплитуде. Усиленный избирательным усилителем *ИУ* по высокой частоте сигнал детектируется детектором *Д* и через полосовой фильтр  $\Phi_2$ , настроенный на частоту полезного сигнала, подается на усилитель низкой частоты *УНЧ*.

Из *УНЧ* сигнал подается на временный селектор *ВС*, пропускающий сигнал на пороговое устройство *ПУ* в том случае, если он соответствует заданной длительности.

Более короткие импульсы (помехи) на пороговую схему не проходят.

Для снижения влияния на полезную информацию акустических помех, практически всегда имеющихся, применяется фильтр  $\Phi_1$ , пропускающий только сигнал от помех, и выход которого включен на вход *УНЧ* в противофазе по отношению к суммарному сигналу, прошедшему через фильтр  $\Phi_2$ . В результате такого включения сигнал от помехи, прошедший через фильтр  $\Phi_1$ , будет компенсироваться сигналом, прошедшим через фильтр  $\Phi_2$ . Таким образом, принятый сигнал анализируется по частоте, длительности и амплитуде, что в целом существенно повышает достоверность принятой информации.

Ультразвуковые извещатели относятся к устройствам объемного (пространственного) обнаружения пожара. Величина контролируемого объема в основном зависит от свойств помещения и количества устанавливаемых преобразователей и может составлять 100—3000 м<sup>3</sup>.

---

## Глава 7

### ТЕЛЕМЕХАНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ ПОЖАРНОЙ СИГНАЛИЗАЦИИ

---

#### § 7.1. Особенности телемеханических систем пожарной сигнализации и назначение каналов связи

Основным показателем эффективности работы пожарной сигнализации является время  $T_n$  от начала возникновения пожара до выдачи сигнала тревоги на диспетчерском пункте, а при наличии автоматических средств тушения — до выдачи сигнала на привод средств тушения. Чем меньше указанное время, тем выше вероятность ликвидации пожара.

Это время складывается из времени обнаружения очага пожара первичным датчиком  $t_{o.n}$  и времени передачи сообщения  $t_{n.c}$  телемеханической системой на диспетчерский пункт:

$$T_n = t_{o.n} + t_{n.c}. \quad (7.1)$$

Время передачи сообщения на диспетчерский пункт в телемеханической системе зависит от принципа ее структурного и функционального построения, от выбора канала связи системы и способа передачи сигналов.

Дислокация контролируемых объектов в данном районе определяет структуру построения телемеханической системы сигнализации. В частности, по отношению к диспетчерскому пункту объекты могут быть рассредоточенными и сосредоточенными.

Соединение объекта контроля с диспетчерским пунктом не вызывает особых затруднений, пока расстояние между ними не превышает нескольких десятков или сотен метров. При таких расстояниях можно выделить необходимое число проводов в существующих проводных коммуникациях (кабелях телефонной связи) или же проложить специальный кабель, обеспечив достаточно малое сопротивление соединительной цепи и хорошую изоляцию между проводами.

Иначе обстоит дело, если необходимо осуществить связь между объектами и диспетчерским пунктом, расположенными на значительном удалении друг от друга. В этом случае прежде всего приходится считаться с необходимостью сокращения затрат на сооружение соединительных линий. В то же время при больших расстояниях труднее обеспечить качественную передачу сигнала.

Принципы построения телемеханических систем позволяют наиболее экономно использовать линии связи. Телемеханическая система сигнализации состоит из передающего устройства, приемного устройства и соединительных линий.

Передача сигналов, которые отображают состояние контролируемого объекта, происходит по каналам связи.

В качестве линий связи применяются проводные линии связи (преимущественно кабельные), специально выделенные телефонные линии, линии электропередачи, радиолнии (на коротких и ультракоротких волнах).

Обычно в одном направлении бывает необходимость создания не одного, а группы каналов связи.

Чтобы уменьшить стоимость сооружений и эксплуатации линий, стремятся уплотнить линию связи, т. е. использовать одну линию для одновременной передачи различных сигналов.

Уплотнение проводных линий связи осуществляется по принципу разделения каналов во времени или по принципу частотного разделения каналов. Следовательно, функциональное построение системы сигнализации определяется выбранным принципом передачи сообщений для каждого конкретного случая.

Сущность телесигнализации заключается в том, что для увеличения дальности передачи по каналу связи сообщений передается не сама величина контролируемого параметра, а вспомогательная, более удобная для передачи на дальние расстояния. Для передачи выбирают величину, подвергающуюся наименьшим искажениям в канале связи. Вместе с тем при передаче стремятся обеспечить минимальные потери энергии.

Сигнал с датчика обнаружения очага пожара поступает в передающее устройство системы, где он преобразуется в параметр соответствующего кода информации (кодируется). После этого сигнал поступает по линии связи в приемное устройство, где он декодируется (расшифровывается) и регистрируется соответствующим образом на приемно-контрольном пульте.

В зависимости от выбора признаков посылок телесистемы разделяются на системы с амплитудными, полярными, временными, частотными и фазовыми признаками.

По принципу действия телемеханические системы подразделяются на непрерывнодействующие и системы спорадического действия.

Конструктивно системы выполняются как на контактных, так и на бесконтактных элементах.

В системах телесигнализации находят применение два основных принципа образования условного сигнала (кода) из группы импульсов.

Первый принцип характеризуется отсутствием какой-либо зависимости между отдельными импульсами, т. е. применением принципа независимых посылок. При этом каждый импульс соответствует определенному объекту сигнализации, а общее число посы-

лаемых импульсов должно быть равно числу объектов сигнализации.

Другой принцип — комбинационный основан на том, что совокупность посылаемых импульсов с различными заданными признаками представляет собой условный шифр (код) определенного сигнала. Комбинируя в разных сочетаниях импульсы с различными импульсными признаками, можно осуществить кодирование всех необходимых сигналов.

По способу передачи сообщений по каналам связи системы сигнализации разделяются в основном на три группы.

В системах первой группы передача всех сообщений происходит одновременно по разным электрическим цепям. Такие системы называются системами с *электрическим разделением сигналов*, или многопроводными системами (рис. 7.1, а).

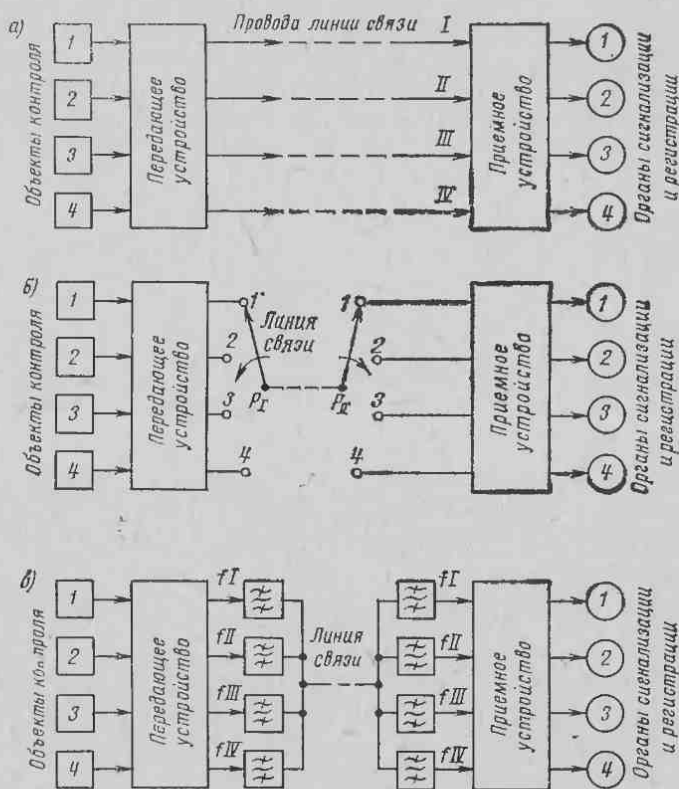


Рис. 7.1. Системы сигнализации

а — система с электрическим разделением сигналов; б — система с временным разделением сигналов; в — система с частотным разделением сигналов

В системах второй группы передача сообщений осуществляется последовательной (поочередной) посылкой импульсов по линии

связи. При этом способе посылки сигналов линия связи поочередно соединяется с соответствующими цепями передающего и приемного пунктов с помощью синхронно переключающихся распределителей  $P_1$  и  $P_{II}$  (рис. 7.1, б).

Такие системы называются системами сигнализации с *временным разделением сигналов*.

Системы, в которых используется способ *частотного разделения сигналов*, относятся к третьей группе. При этом способе передачи все сообщения (импульсы) с контролируемых объектов передаются одновременно по общей электрической цепи (линии связи) токами различной частоты (рис. 7.1, в). На приемной стороне системы сигналы разделяются с помощью полосовых фильтров.

Время передачи сообщения с контролируемого объекта на диспетчерский пункт для рассмотренных способов передачи не превышает нескольких секунд.

## § 7.2. Телемеханические сигналы и кодообразование

Телемеханические сигналы характеризуют изменение состояния материального объекта. Структурно сигналы разделяются на статические и динамические.

*Статические сигналы* — это непрерывные сигналы и сообщения, которые в конечном интервале амплитуд могут принимать любое значение. В качестве примера может служить изменение тока в микрофоне при передаче речи или изменение фототока при измерении прозрачности среды от задымленности.

*Динамические сигналы* обладают дискретностью, где используется изменение состояния объекта, принимающее конечное число значений (например, звуковые, электрические и другие сигналы, параметры которых являются функцией времени).

Непрерывные сигналы с помощью соответствующих операций дискретизации могут быть преобразованы в дискретные.

Дискретный сигнал состоит из некоторого числа отдельных посылок, обладающих определенными признаками.

Признаками посылок могут служить положительная и отрицательная полярность импульсов, достоинство которых в системах телесигнализации заключается в высокой помехоустойчивости при колебаниях параметров питающего напряжения и параметров проводной линии связи.

Селекция полярных признаков посылок осуществляется приемными пороговыми устройствами, имеющими разнополярные чувствительные входы, а также с помощью поляризованных электромагнитных реле.

В амплитудном признаке посылки расшифровка информации осуществляется приемными устройствами, имеющими различную пороговую чувствительность.

Недостатком амплитудного признака посылки является низкая помехоустойчивость при изменении параметров как источников



питания, так и линии связи. Однако при наличии колебательных линий связи, обладающих, как правило, достаточно стабильными параметрами, амплитудный признак посылок находит широкое применение при построении систем пожарной сигнализации.

При использовании отличающихся друг от друга своей длительностью посылок на передающей стороне должно быть устройство, изменяющее длительность посылок, а на приемной стороне временные селекторы, различающие длительность посылки. В качестве признака может служить также и пауза между двумя импульсами.

Длительность посылки выбирается с учетом времени передачи сигнала, а также с учетом помехоустойчивости и достоверности передачи информации. Практически различные посылки выбираются двумя-тремя значениями их длительности.

В частотном признаке посылки используется частота переменного тока или частота следования однополярных импульсов.

Образование частотных признаков посылок на передающей стороне системы сигнализации осуществляется с помощью частотных генераторов и импульсных преобразователей. На приемной стороне селекцию этих посылок и расшифровку информации производят элементы и схемы, обладающие избирательными (резонансными) качествами, настроенные на частоты, соответствующие частотам посылок.

Частотные признаки от других выгодно отличаются тем, что применение их позволяет образовать большое число посылок различной частоты, осуществлять одновременную передачу нескольких посылок различной частоты по одной и той же линии связи.

Телемеханический сигнал в интервале своего существования в канале связи характеризуется средней мощностью или отношением средней мощности  $P_c$  к некоторой пороговой мощности помехи  $P_n$  в данном канале связи.

В практике принято пользоваться не отношением мощностей  $P_c/P_n$ , а его логарифмом:

$$\Delta H = \log_2 \frac{P_c}{P_n}, \quad (7.2)$$

где  $P_c$  — средняя мощность сигнала;

$P_n$  — средняя мощность помехи.

Важной характеристикой сигнала является ширина спектра сигнала  $\Delta F_c$ .

Полученный на входе передатчика сигнал от пожарного извещателя после преобразования в электрический называют первичным сигналом. Операция преобразования первичного сигнала в посылку соответствующих признаков называется кодированием.

На практике применяют одноэлементное и многоэлементное кодирование. Одноэлементное кодирование позволяет получить ограниченное число отличных друг от друга посылок. Количество посылок одноэлементного кодирования можно увеличить путем

совмещения различных признаков (например, амплитудных и полярных). Однако такое совмещение значительно усложняет аппаратуру и далеко не всегда может быть приемлемым.

В соответствии с требованиями к пожарной сигнализации необходимо иметь в большинстве случаев возможность передачи с контролируемого объекта на приемный пульт двух посылок: «норма», «пожар». Поэтому в телемеханических системах пожарной сигнализации одноэлементное кодирование имеет широкое применение.

При необходимости передачи с контролируемого объекта нескольких различных сигналов (например, «норма», «обрыв линии связи», «короткое замыкание», «пожар») применяют многоэлементное кодирование.

Многоэлементный код, в котором один сигнал отличается от другого лишь числом посылок, из-за низкой помехозащищенности широкого применения не нашел.

Большое распространение на практике получило кодирование, при котором кодовые комбинации отличаются друг от друга числом и порядком следования посылок с определенными признаками.

Широко применяется также многоэлементное кодирование, при котором все кодовые комбинации содержат строго определенное число элементов. Такие коды называются комплектными (равномерными). Всякое нарушение комплектности по причине искажения сигнала помехой обнаруживается сравнительно простым способом.

Коды можно классифицировать по следующим признакам: по длине кодовых комбинаций, по числу символов в кодовом алфавите, по методу построения кодовых комбинаций из заданного алфавита, по способу обнаружения и исправления искажений элементов сигнала.

Кроме этого, коды по числу символов в кодовом алфавите разделяются на бинарные (двоичные), в которых число символов равно двум, и небинарные (триничные, четверичные и т. д.). Для указанных кодов число символов в алфавите является основанием кода.

При заданном числе признаков посылок  $m$  (из которых формируются сигналы) и известном числе посылок  $n$  (из которых состоит сигнал) количество сигналов (сообщений) определяется по формуле [28]:

$$N = m^n. \quad (7.3)$$

В связи с тем, что в рассматриваемом коде могут быть использованы все возможные комбинации,  $n$  является минимальным числом символов в закодированном сигнале, с помощью которых можно построить кодовые комбинации для передачи  $N$  сигналов при заданном числе возможных значений символов  $m$ .

Для двоичной системы кодирования с основанием логарифмов, равным 2,

$$n = \frac{\log_2 N}{\log_2 2} = \log_2 N. \quad (7.4)$$

Приняв общее число символов в кодовом алфавите за  $m$ , а каждая кодовая комбинация должна состоять из  $n$  элементов ( $n < m$ ), и применяя закон размещения, получим  $N$  кодовых комбинаций:

$$N = A^n \frac{m!}{(m-n)!}. \quad (7.5)$$

### § 7.3. Способы разделения телемеханических сигналов в каналах связи

В связи с передачей нескольких одноэлементных сигналов по каналу связи возникает необходимость разделения их друг от друга.

В системах сигнализации применяются три основных способа разделения сигналов: линейное (схемное), временное (распределительное) и частотное.

При передаче одноэлементных сигналов каждый сигнал передается по собственному каналу связи, где разделение сигналов совпадает с разделением каналов связи. Для линейного разделения сигналов используется многопроводная линия связи. Каждый провод такой линии связи позволяет производить независимую и параллельную во времени передачу одноэлементных сигналов. На рис. 7.2 приведена принципиальная схема линейного разделения

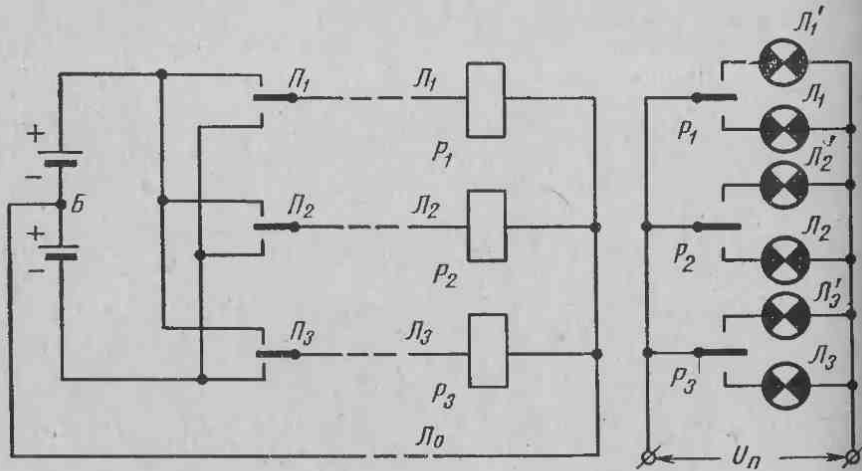


Рис. 7.2. Схема линейного разделения сигналов

ния сигналов. Положение переключателей  $\Pi_1, \Pi_2, \Pi_3$  определяет направление токов в линейных проводах  $\mathcal{L}_1, \mathcal{L}_2, \mathcal{L}_3$ . В пожарной

сигнализации роль переключателей выполняют контакты выходных реле извещателей пожара, положение которых определяется состоянием объекта. Расшифровка посылок осуществляется приемными поляризованными реле  $P_1, P_2, P_3$ , контактами которых коммутируются индикаторные цепи световой сигнализации ламп  $\Lambda_1—\Lambda_3$ .

Необходимым условием для четкой работы рассмотренной схемы является  $t_n > t_{cp}$  (где  $t_n$  — время выдержки в замкнутом состоянии контактов извещателя;  $t_{cp}$  — время срабатывания приемных реле).

При линейном способе разделения сигналов число прямых проводов линии связи равно числу одноэлементных сигналов. В этом случае возможна передача их одновременно по каналу связи. Суммарное число сигналов  $N$ , которое может быть передано в рассматриваемой системе с учетом того, что каждой посылке можно придавать различные признаки, выразится формулой [28]:

$$N = mL = mn, \quad (7.6)$$

где  $m$  — число признаков, придаваемых посылкам;

$L$  — число прямых проводов линии связи;

$n$  — число одновременно передаваемых признаков.

Реализация амплитудного избирания показана на схеме рис. 7.3. В нормальном состоянии контролируемого объекта кон-

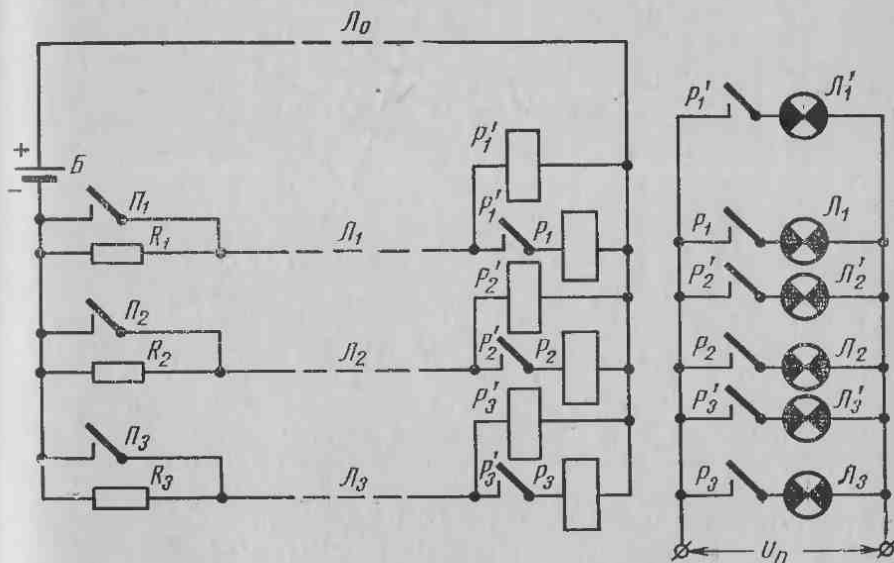


Рис. 7.3. Схема амплитудного избирания сигналов

такт  $\Pi_1$  извещателя пожара находится в разомкнутом состоянии, приемное реле  $P'_1$  питается через сопротивление  $R_1$  током, вели-

чина которого выбирается равной току срабатывания этого реле. Реле  $P_1$  находится в отпущенном состоянии, так как ток срабатывания его выбирается в 1,5—2 раза больше тока срабатывания реле  $P'_1$ . При срабатывании контакта  $\Pi_1$  ток в линии возрастает за счет шунтирования сопротивления  $R_1$ , в результате чего реле  $P_1$  срабатывает через нормально открытый контакт  $P'_1$  и включает соответствующую индикацию схемы-сигнализации. Остальные комплекты работают аналогично.

Широкое распространение получило временное (распределительное) разделение одноэлементных сигналов, при котором, используя двухпроводную линию связи, можно организовать несколько сдвинутых во времени каналов передачи информации, т. е. организовать телесигнализацию ряда контролируемых объектов. На рис. 7.4 показана принципиальная схема временного разделения

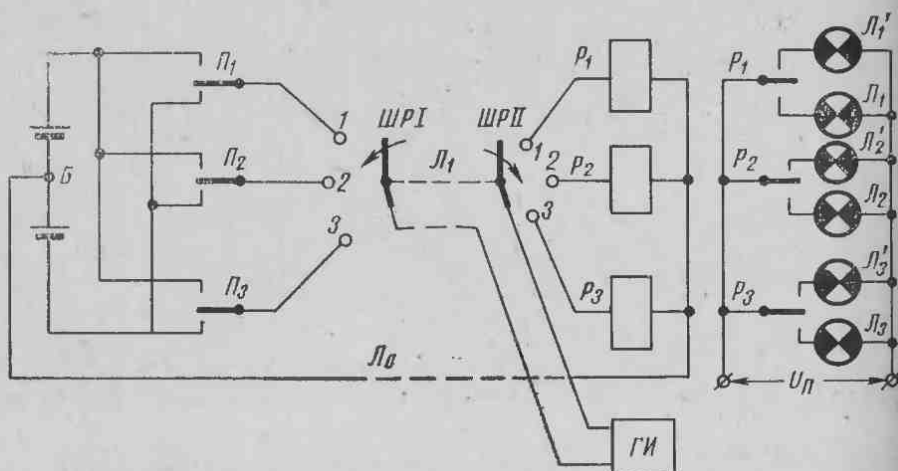


Рис. 7.4. Схема временного разделения сигналов

ния сигналов. На передающем и приемном пунктах установлены шаговые распределители  $\text{ШР}_I$ ,  $\text{ШР}_{II}$ , работающие синхронно и синфазно от генератора импульсов движения,  $\text{ГИ}$  и поочередно подключающие соответствующие передающие и приемные узлы телемеханической системы. В качестве распределителей могут применяться как шаговые контактные, так и безконтактные переключатели, обеспечивающие синхронное и синфазное переключение соответствующих узлов передающей и приемной аппаратуры.

В зависимости от положения контактов  $\Pi_1$ — $\Pi_3$  извещателей на контролируемых объектах с помощью распределителей снимается сигнал положительной или отрицательной полярности, в результате чего при срабатывании поляризованных приемных реле  $P_1$ — $P_3$  замыкаются те или иные контактные группы, переключая соответствующую индикацию на световом табло приемного пункта.

Съем информации осуществляется последовательно с каждой контактной группой извещателя по циклу работы распределителей.

Синхронизация распределителей в системах с временным разделением сигналов, как правило, осуществляется общей сетью переменного тока электроснабжения, специальным генератором импульсов или двумя генераторами, настроенными на одинаковую частоту. В последнем случае в связи с накоплением фазовой ошибки применяется принудительное синфазирование распределителей (один раз за цикл) путем установки их в начальное положение.

При временном разделении сигналов можно передать число сообщений, равное:

$$N = mn_{\text{ц}} \quad (7.7)$$

где  $m$  — число принятых признаков посылок;

$n_{\text{ц}}$  — число посылок за один цикл переключения распределителей.

При частотном способе разделения сигналов отдельные одноэлементные сигналы могут передаваться параллельно во времени посылками различной частоты. Другими словами, частотное разделение сигналов позволяет вести одновременную передачу сообщений из ряда объектов. При этом объекты контроля могут быть как сосредоточены в одном пункте, так и рассредоточены по различным пунктам. Структура систем связи может быть однофидерной (цепочной), радиальной, кустовой или комбинированной.

Принципиальная схема, иллюстрирующая частотное разделение сигналов в канале связи, приведена на рис. 7.5.

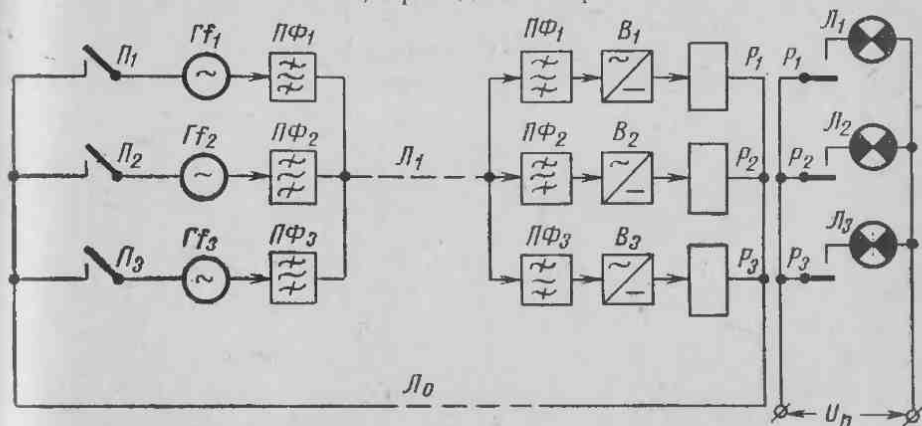


Рис. 7.5. Схема частотного разделения сигналов

Образование частотных сигналов осуществляется генераторами синусоидальных колебаний  $\Gamma_{f_1}$ ,  $\Gamma_{f_2}$ ,  $\Gamma_{f_3}$ . Полосовые фильтры  $\text{ПФ}_1$ ,  $\text{ПФ}_2$ ,  $\text{ПФ}_3$  на передающей стороне пропускают колебания только заданных частот, а  $\text{НФ}_1$ ,  $\text{НФ}_2$ ,  $\text{НФ}_3$  на приемной стороне, настроенные на соответствующие частоты посылок, выделяют селективно информацию от каждого объекта.

При включении одного из контактов  $\Pi_1—\Pi_3$  на выходе соответствующего приемного фильтра появится переменный сигнал, который, выпрямляясь выпрямителем  $B_1—B_3$ , приводит к срабатыванию исполнительного реле  $P_1—P_3$ , включающего своими контактами соответствующую световую индикацию  $\Lambda_1—\Lambda_3$  на приемном пункте.

Схема (рис. 7.6) составлена применительно к структуре линейно рассредоточенных объектов, где каждому объекту присваивается две частоты, что позволяет разделить и принять информацию от двух извещателей.

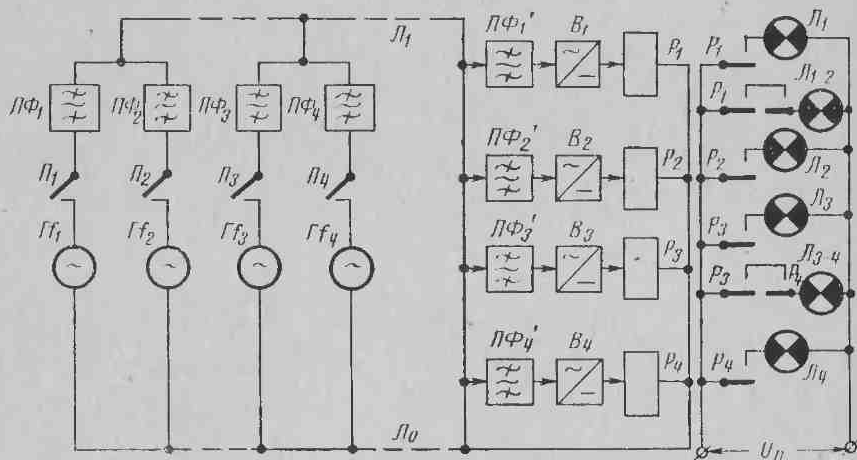


Рис. 7.6. Схема сигнализации для линейно рассредоточенных объектов

Получение сигналов от двух извещателей, установленных на одном объекте, повышает достоверность полезной информации. В данном случае при включении контактов  $\Pi_1, \Pi_2$  или  $\Pi_3$  и  $\Pi_4$  срабатывают соответственно реле  $P_1, P_2$  или  $P_3, P_4$ , контактами которых включаются соответствующие сигнализирующие лампы  $\Lambda_{1-2}$  или  $\Lambda_{3-4}$ . Особенно важное значение имеет такое построение при оснащении охраняемых объектов автоматическими средствами тушения пожара, где информация должна быть максимально достоверной.

Увеличение числа сигналов посылок при заданном числе частот достигается применением комбинированного кодирования посылок из нескольких частот. В этом случае число сигналов  $N$  при  $n$ -частотах определяется по формуле сочетаний:

$$N = C_n^k, \quad (7.8)$$

где  $k$  — число частот в комбинации посылки.

Трудность размещения большого числа частотных каналов связи в выделяемом диапазоне частот из-за недостаточных стабильности генераторов и узкополосности приемных частотных фильтров является одним из отрицательных факторов в частотном способе разделения телемеханических сигналов.

#### § 7.4. Структура и характеристика линий связи в системах пожарной сигнализации

Рациональный выбор типа и структуры линий связи при построении телемеханических каналов связи определяет экономичность и надежность передачи информации.

Устройства связи систем пожарной сигнализации должны обеспечивать бесперебойную связь между охраняемыми объектами и приемным пунктом, достоверность переданной информации, постоянный контроль исправности тракта прохождения информации.

Наличие специальных (выделенных) для систем сигнализации линий связи позволяет применять элементарные схемы формирования сигнала на передающей стороне, а также использовать относительно простую аппаратуру преобразования сигнала послышки на приемной стороне. Экономически нецелесообразно прокладывать специальные линии связи при удалении контролируемых объектов от приемных пунктов на 8—10 км и более, так как стоимость их прокладки может значительно превышать аппаратурную стоимость.

Если в одном направлении необходимо организовать несколько каналов связи, то линию связи целесообразно уплотнить, т. е. использовать ее для создания нескольких каналов связи, что позволяет снизить затраты на сооружение и эксплуатацию линии.

Структурно системы сигнализации строятся как для сосредоточенных объектов в одном месте (цехе, корпусе), так и для рассредоточенных на значительной территории (заводе, районе, городе). В связи с развитием централизации информации с охраняемых объектов на крупных приемных пунктах все больше внедряется структура построения систем с рассредоточенными объектами.

Основные виды структур линий связи для систем сигнализации с рассредоточенными объектами показаны на рис. 7.7.

Структура однофидерной линии (рис. 7.7, а), проходящей последовательно через все контролируемые пункты, применяется в тех случаях, когда контролируемые объекты кратчайшим путем переходят из одного в последующие.

В радиально-лучевой схеме (рис. 7.7, б) каждый контролируемый объект имеет выделенную линию, проходящую кратчайшим путем. Диспетчерский (приемный) пункт ДП в этом случае размещается в центре равного удаления от контролируемых пунктов КП. Радиальная схема построения находит широкое применение в пожарной охране, в частности, на территории заводов, фабрик. Дре-



вовидная схема линий связи (рис. 7.7, в) представляет собою комбинарованную структуру с включением однофидерных и радиальных линий связи; иногда такую схему называют кустовой. Указанная схема линий применяется при создании крупных централизованных систем пожарной охраны районов, городов, областей.

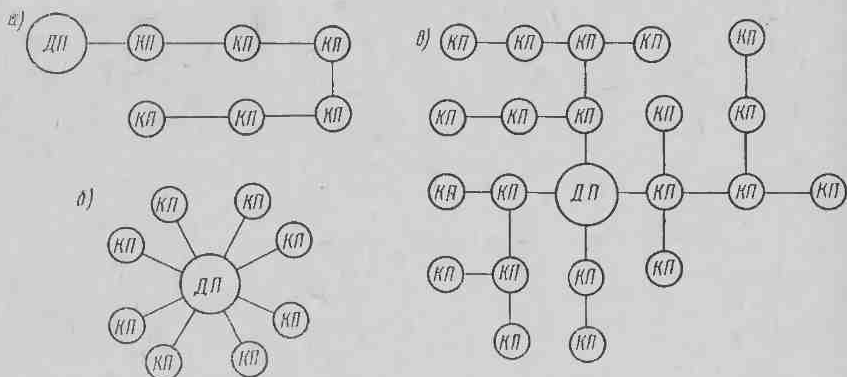


Рис. 7.7. Структуры систем сигнализации  
 а—схема однофидерной линии; б—радиально-лучевая схема; в—комбинированная схема

Минимальную длину на один объект имеет однофидерная линия. Суммарная длина ее  $L_0$  равна [13]:

$$L_0 = l_0(N - 1), \quad (7.9)$$

где  $l_0$  — среднее расстояние между соседними объектами;  
 $N$  — число объектов.

Принимая за единицу относительную длину однофидерной линии, с помощью эмпирических формул [13] можно получить относительную длину других линий при одинаковом количестве объектов:

для радиальной линии  $L_p$ :

$$\frac{L_p}{L_0} \approx \frac{\sqrt{N-1}}{2}; \quad (7.10)$$

для кустовой линии  $L_k$ :

$$\frac{L_k}{L_0} \approx \frac{N-1 + 0,12(m-2)^2}{N-1}, \quad (7.11)$$

где  $m$  — число кустов.

В качестве критерия оценки надежности различных структур линий связи целесообразно принять среднее относительное время, в течение которого линия находится в нерабочем состоянии из-за повреждения.

Распределение повреждаемости линии  $P$  имеет случайный характер и определяется вероятностным законом [13]:

$$P = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{\sum_{i=1}^n t_{ni}}{\sum_{i=1}^n (t_{ni} + t_{pi})}, \quad (7.12)$$

где  $t_{ni}$  и  $t_{pi}$  — время нерабочего и рабочего состояний.

Средняя частота повреждаемости  $f_n$

$$f_n = \frac{P}{t_n}, \quad (7.13)$$

где  $t_n$  — среднее нерабочее время за межремонтный цикл.

Вероятность повреждения участка линии связи длиной  $l$  определяется выражением [13]:

$$P_l = 1 - (1 - P_1)^{\frac{l}{l_0}}, \quad (7.14)$$

где  $P_1$  — вероятность нерабочего состояния отрезка линии длиной  $l_0$ .

При наличии короткого замыкания линии связи в любом месте все КП выходят из строя и вероятность ее повреждения  $P_0$  для однофидерной структуры может быть определена из формулы [13]:

$$P_0 = 1 - (1 - P_1)^{N-1} \quad (7.15)$$

при  $NP_1 \ll 1$

$$P_0 \approx P_1(N-1). \quad (7.16)$$

Длина линии  $l_k$ , повреждение которой вызывает выход из строя КП данного куста, при кустовой структуре будет [13]:

$$l_k = \frac{L_k}{m} = \frac{N-1 + 0,12(m-2)^2}{m} l_0. \quad (7.17)$$

Вероятность нерабочего состояния одного пункта  $P_k$  найдется по формуле [13]:

$$P_k = 1(1 - P_1)^n, \quad (7.18)$$

где  $n = \frac{N-1 + 0,12(m-2)^2}{m}$ . (7.19)

При  $nP_1 \ll 1$

$$P_k = P_1 \frac{N-1 + 0,12(m-2)^2}{m}. \quad (7.20)$$

При радиальной структуре КП соединены с ДП отдельными линиями, длина которых  $l_p$  заключена

$$l_0 < l_p < l_0(\sqrt{N} - 1). \quad (7.21)$$

Применительно к одному КП для радиальной структуры средняя вероятность повреждения

$$P_p = \frac{\sum_{i=1}^N \left[ 1 - (1 - P_i) \cdot \frac{l_{pi}}{l_0} \right]}{N} \quad (7.22)$$

При  $P_1 \sqrt{N} \ll 1$

$$P_p \approx P_1 \frac{\sqrt{N} - 1}{2} \quad (7.23)$$

Надежность работы систем сигнализации при кустовой и радиальной структурах линий связи во много раз превышает надежность однофидерной структуры.

При определении структуры линий связи необходимо руководствоваться главным образом надежностью при минимально допустимой длине. Рациональность линий характеризуется коэффициентом [13]:

$$\gamma = \frac{P_0 L_0}{PL} \quad (7.24)$$

где  $P$  — вероятность повреждения рассматриваемой линии;  
 $L$  — суммарная длина линии.

Применительно к однофидерной линии принято  $\gamma_0 = 1$ .

Для кустовой и радиальной линии коэффициенты  $\gamma_k$  и  $\gamma_p$  при  $NP_1 \ll 1$  определяются по формулам:

$$\gamma_k = \frac{P_0 L_0}{P_k L_k} = \frac{m(N-1)^2}{[N-1 + 0,12(m-2)^2]^2}; \quad (7.25)$$

$$\gamma_p = \frac{P_0 L_0}{P_p L_p} = \frac{4(\sqrt[3]{N} + 1)}{\sqrt[3]{N} - 1} \quad (7.26)$$

Анализ приведенных уравнений показывает, что лучшими характеристиками обладает кустовая структура линий.

Контролируемые объекты могут включаться в линию связи по схеме параллельного, последовательного и смешанного включения через специальные разделительные устройства  $PY$  (рис. 7.8).

Выбор схем, как правило, должен основываться на анализе сравнительной надежности различных вариантов.

На рис. 7.8, а, б, в приведены варианты схемы включения  $KП$  в линию связи.

Возникновение короткого замыкания на землю в разделительном устройстве или между проводами двухпроводной линии выводит из строя всю систему как при параллельном, так и при последовательном включении  $KП$ .

При обрыве в каком-либо из разделительных устройств  $PY$  вероятность выхода из строя всей системы или какой-либо ее части зависит от схемы включения данного  $KП$  в линию.

Обрыв в любом из разделительных устройств параллельного включения  $KП$  в линию связи нарушает работу только данного

*КП*. При последовательном включении *КП* в линию обрыв в *i*-м раздельном устройстве приведет к потере связи с  $n - (i - 1)$  объектов (где  $n$  — число *КП*;  $i$  — число *РУ*).

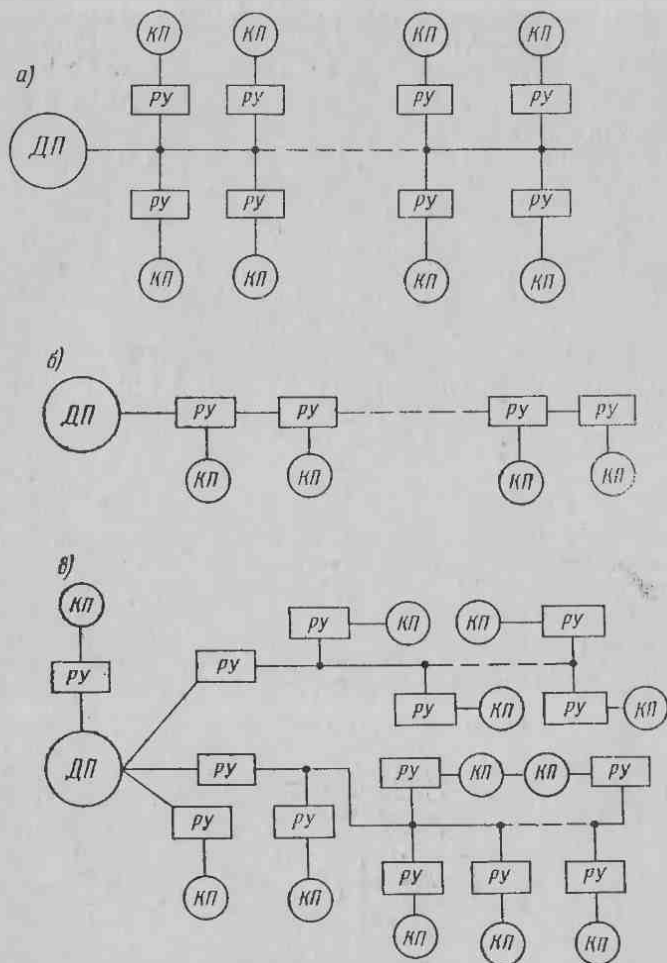


Рис. 7.8. Схемы включения *КП* в линию связи  
 а — параллельное включение; б — последовательное включение; в — смешанное включение

Рассматривая два возможных вида аварии, можно прийти к выводу, что при параллельном подключении *КП* к линии связи вероятность выхода из строя всей системы меньше. Поэтому схемы последовательного включения *КП*, как менее надежные, применяются только в тех случаях, когда необходимо усилить передаваемые сигналы в определенной точке линии связи, или при дре-

вовидной структуре линии — с целью коммутации целой группы контролируемых пунктов.

Для систем сигнализации объектов, рассредоточенных по большой, сложной форме площади или в пространстве, наиболее экономичной и надежной является кустовая структура линии связи с параллельным включением контролируемых пунктов.

В качестве каналов связи могут быть использованы линии электропередач как высоковольтных, так и низковольтных распределительных сетей.

Канал связи по низковольтным сетям, как и в городской телефонной сети, определяется затуханием полезных сигналов и уровнем помех, которые зависят от способа включения передатчика и приемника, а также от используемого частотного диапазона.

Рациональной схемой подключения аппаратуры связи является фаза — земля, так как при этом требуются минимальные затраты на высокочастотную обработку сигнала.

На рис. 7.9 показана схема присоединения приемной и передающей аппаратуры высокочастотной связи к линии электропере-

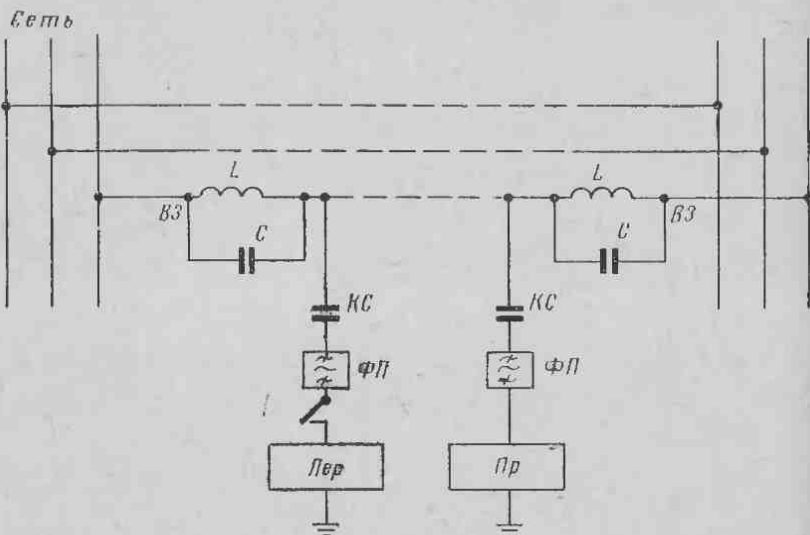


Рис. 7.9. Создание канала сигнализации с использованием линий электропередач

дач. Приемник *Пр* и передатчик *Пер* присоединяются к одному из проводов трехфазной линии через конденсаторы связи *КС*, рассчитанные на рабочее напряжение линии и защищающие аппаратуру связи от высокого напряжения.

Фильтр присоединения *ФП* в сочетании с конденсатором связи представляет собой полосовой фильтр со сравнительно широкой полосой частот и служит для уменьшения затухания, вносимого

емкостным сопротивлением конденсатора связи, а также для согласования характеристических сопротивлений высокочастотного канала и приемного устройства.

Высокочастотный канал отделяется от высоковольтной аппаратуры с помощью высокочастотных заградителей ВЗ, препятствующих прохождению токов высокой частоты. Заградитель представляет собой параллельный контур LC, настраиваемый на высокую частоту передатчика.

Для распределительных электросетей приемлемым диапазоном частот является 35—70 кГц; в этом диапазоне затухание сигналов имеет значение 3—5 неп.

С экономической точки зрения организация каналов связи по электросетям в подавляющем большинстве целесообразна лишь при значительных расстояниях (не менее 10—12 км) между контролируемым объектом и диспетчерским пунктом.

В указанном диапазоне частот в полосе 2 кГц помехи носят флуктуационный и импульсный характер от индустриальных источников и процессов коммутаций этих же сетей.

Уровень сигнала, необходимый для устойчивой работы системы и надежного приема информации, может быть определен по формуле (ГОСТ 11323—65):

$$\frac{U_c}{U_n} = 2 \sqrt{\frac{\Delta f}{\Delta F} (1,9 \ln \Delta f + 22)}, \quad (7.27)$$

где  $\Delta f$  — ширина пропускания индивидуального канала;

$\Delta F$  — диапазон частот системы;

$U_c$  — напряжение сигнала;

$U_n$  — напряжение помехи.

Необходимая при этом мощность передатчика определяется по формуле:

$$P_n = \frac{U_{\text{пр-мин}}^2 \delta^2}{R_{\text{пр}}}, \quad (7.28)$$

где  $U_{\text{пр-мин}}$  — минимальный уровень сигнала на приемной стороне;

$R_{\text{пр}}$  — входное сопротивление сети в месте присоединения приемника;

$\delta$  — отношение напряжения в точке передачи и приема.

При отсутствии проводных линий связи в системах передачи информации с объектов используются радиоканалы в диапазоне УКВ.

## § 7.5. Генераторы и преобразователи импульсов

В системах сигнализации закодированная информация очень часто передается с помощью импульсных серий. Образование импульсных серий осуществляется генераторами импульсов, которые могут быть как контактными, выполненными на электромагнитных

реле, так и бесконтактными, использующими транзисторы, магнитные элементы, электронные и ионные приборы.

**Релейный генератор импульсов.** В системах телемеханики, выполненных на релейно-контактных элементах, широкое распространение получили двухрелейные генераторы импульсов (пульс — пара).

При подаче питания на схему переключателем  $\Pi$  срабатывание одного реле вызывает отпускание другого реле и наоборот, так как реле  $P_1$  и  $P_2$  включены по взаимноисключающей схеме (рис. 7.10).

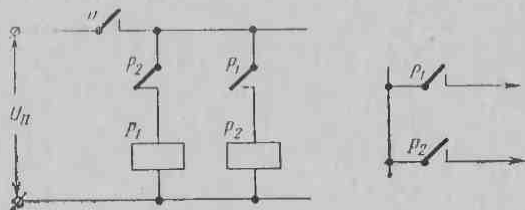


Рис. 7.10. Схема релейного генератора импульсов

Длительность импульсов пульс — пары определяется следующим выражением:

$$t_{\text{и}} = t_{\text{отп.}P_1} + t_{\text{ср.}P_2}, \quad (7.29)$$

где  $t_{\text{отп.}P_1}$  и  $t_{\text{ср.}P_2}$  — соответственно время отпускания и срабатывания реле  $P_1$  и  $P_2$ .

Как видно из приведенного выражения, стабильность частоты релейных генераторов зависит от стабильности временных параметров реле. Срок службы контактов реле зависит от числа их срабатывания, поскольку все релейные генераторы импульсов работают только в спорадическом режиме, т. е. запускаются лишь на время передачи информации. Это обстоятельство не позволяет применять релейные генераторы в непрерывно действующих схемах, с большими скоростями считывания информации.

**Мультивибраторы.** В качестве генераторов прямоугольных импульсов широкое применение находят мультивибраторы, по структуре представляющие собой двухкаскадные усилители с положительной обратной связью между входом и выходом.

По режиму работы мультивибраторы можно разделить на работающие в автоколебательном режиме и работающие в ждущем режиме (одновибраторы).

Наиболее перспективными являются мультивибраторы на транзисторах, что объясняется большим сроком службы транзисторов, незначительным потреблением мощности и малыми габаритами.

При условии  $R_{к1} = R_{к2}$ ,  $R_{б1} = R_{б2}$ ,  $C_1 = C_2$  и однотипности транзисторов  $T_1$  и  $T_2$  мультивибратор является симметричным (рис. 7.11, а), т. е. импульсные серии на его выходах будут в точности повторяться со сдвигом на половину периода.

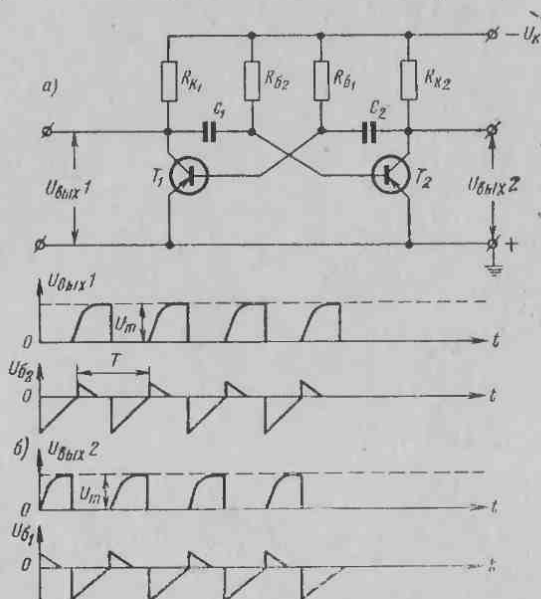


Рис. 7.11. Схема симметричного мультивибратора а и его временная диаграмма б

В мультивибраторе в каждый момент времени может быть открыт только один транзистор. Если в какой-то момент времени скачком открывается транзистор  $T_2$  и закрывается транзистор  $T_1$ , то при этом в схеме возникнут следующие электрические процессы. Правая обкладка конденсатора  $C_2$  через транзистор  $T_2$  оказывается присоединенной к заземленному положительному полюсу источника питания.

На базе транзистора  $T_1$  возникает положительный потенциал, близкий по величине к напряжению источника, благодаря чему транзистор  $T_1$  будет надежно заперт. В тот же момент времени конденсатор  $C_1$ , через который протекает ток базы транзистора  $T_2$ , начнет заряжаться.

При открытом транзисторе  $T_2$  напряжение  $U_{вых2}$  мультивибратора скачком снижается почти до нуля, так как падение напряжения между эмиттером и коллектором открытого транзистора ничтожно мало, а напряжение  $U_{вых1}$  начнет возрастать по мере заряда конденсатора  $C_1$  и, когда последний зарядится до напряжения источника, становится равным этому напряжению.



После заряда конденсатора  $C_1$  ток в цепи базы транзистора  $T_2$  определяется только величиной сопротивления  $R_{б2}$ . Если этот ток достаточен для поддержания транзистора  $T_2$  в полностью открытом состоянии при коллекторной нагрузке  $R_{к2}$ , то последний остается открытым и напряжение  $U_{вых}$  мультивибратора по-прежнему близко к нулю.

Перезаряд конденсатора  $C_2$  происходит через сопротивление  $R_6$ , с момента открытия  $T_2$ . Сопротивления  $R_6$  обычно берут значительно больше сопротивлений  $R_k$ , поэтому постоянная времени цепи перезаряда конденсатора оказывается много больше постоянной времени цепи заряда.

С перезарядом конденсатора  $C_2$  потенциал его левой обкладки, соединенной с базой транзистора  $T_1$ , становится отрицательным, а транзистор  $T_2$  начинает приоткрываться, в результате чего в схеме развивается лавинообразный процесс, который приводит к полному открытию транзистора  $T_1$  и запираанию транзистора  $T_2$ .

Этот процесс отражает первый полупериод работы схемы. Вторым полупериод протекает аналогично, при этом конденсатор  $C_2$  будет заряжаться, а конденсатор  $C_1$  — перезаряжаться. В течение второго полупериода напряжение  $U_{вых}$  мультивибратора будет равно напряжению источника, а напряжение  $U_{вых1}$  — близким к нулю.

Период колебаний симметричного мультивибратора определяется формулой:

$$T = 2R_6 C \ln 2 \approx 1,39 R_6 C. \quad (7.30)$$

Процессы, протекающие в этой схеме, поясняются графиками на рис. 7.11, б.

Для расчета мультивибраторов, как правило, задаются:

- а) амплитуда выходных импульсов  $U_{имп}$ ;
- б) период повторения  $T$  (или рабочая частота  $F$ ) или длительность импульсов  $T_{и}$ ;
- в) сопротивление нагрузки  $R_n$ .

Расчет симметричного мультивибратора ведется в следующей последовательности:

1. Выбирается коллекторное напряжение питания  $E_k$ , из условия  $E_k \geq (1,5-2,5) U_{имп}$ .

2. Определяют максимальные значения  $U_{кэ}$ ,  $U_{кб}$ ,  $U_{бэ}$  по формулам:

$$U_{кэ.макс} \approx E_k;$$

$$U_{бэ.макс} \approx E_k;$$

$$U_{кб.макс} \approx 2E_k.$$

Можно принять, что  $E_6 = E_k$ .

3. Рассчитывают граничную частоту триода  $f_a$  по заданной рабочей частоте  $F$ :

$$f_a = \frac{F}{0,15}. \quad (7.31)$$

4. Выбирается коллекторное сопротивление  $R_k$  из условия:

$$R_k \leq 0,15 R_{II}. \quad (7.32)$$

5. Сопротивление  $R_6$  выбирается из условия:

$$R_6 \approx 10 R_k. \quad (7.33)$$

6. Тип транзистора выбирается исходя из полученных данных по граничной частоте  $f_a$  с учетом

$$R_6 < \beta R_k, \quad (7.34)$$

где  $\beta$  — коэффициент усиления транзистора.

7. Величина емкости  $C$  определяется с учетом известных значений периода повторения  $T$  и сопротивления базы  $R_6$ :

$$C \approx \frac{T}{0,7 \cdot R_6}. \quad (7.35)$$

8. Определяются максимальные токи  $I_k$  и  $I_6$  для выбранных типов транзисторов:

$$I_{k, \max} = E_k \left( \frac{1}{R_k} + \frac{1}{R_6} \right) + \frac{E_6}{R_6}; \quad (7.36)$$

$$I_{6, \max} = \frac{E_k}{R_k} + \frac{E_6}{R_6}. \quad (7.37)$$

При настройке и регулировке мультивибратора иногда приходится корректировать номиналы некоторых элементов схемы.

Включением в цепь базы одного из транзисторов отрицательного напряжения смещения (или положительного напряжения в цепь эмиттера) можно получить заторможенный режим работы мультивибратора. Такой мультивибратор называют ждущим генератором импульсов прямоугольной формы.

**К одновибраторам** относятся импульсные генераторы, имеющие одно устойчивое состояние.

Схемы, в которых при воздействии на их входы какого-либо спускового импульса образуется на выходе импульс (параметры импульса определяются только внутренними параметрами схемы), называются одновибраторами. Признаки импульса, образуемого на выходе одновибратора, не зависят от формы спускового импульса, что позволяет широко использовать одновибраторы для создания импульсов прямоугольной формы при воздействии на схему импульсов неправильной формы, а также для получения импульсов большей длительности при воздействии на схему кратковременных импульсов.

Схема одновибратора, выполненного на базе электромагнитного реле с малым временем срабатывания и большим временем отпускания, показана на рис. 7.12.

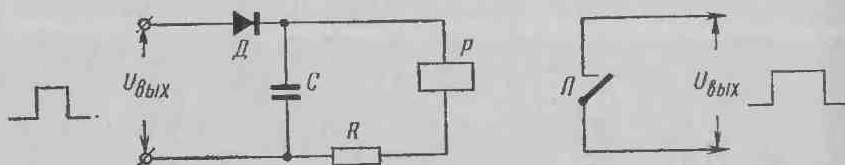


Рис. 7.12. Схема одновибратора на электромагнитном реле

Поступление на вход схемы кратковременного спускового импульса вызывает быстрое срабатывание реле  $P$ , так как время заряда конденсатора  $C$  мало. Время разряда этого же конденсатора определяется величиной сопротивления  $R$  и сопротивления обмотки реле, через которые происходит разряд конденсатора, поддерживая таким образом реле в сработавшем состоянии.

**Симметричным триггером** называют устройство с двумя устойчивыми состояниями. Переход из одного устойчивого состояния равновесия в другое (опрокидывание) происходит при воздействии внешнего (пускового) импульса. Опрокидывание триггера, как правило, сопровождается лавнообразным изменением токов и напряжений, если коэффициент усиления цепи обратной связи триггера больше единицы.

Триггеры на транзисторах (симметричные и несимметричные) широко применяются в качестве электронных реле, формирователей напряжений прямоугольной формы и т. д.

Схема симметричного транзисторного триггера с коллекторно-базовыми связями и отдельным источником напряжения  $E_6$  внешнего смещения показана на рис. 7.13.

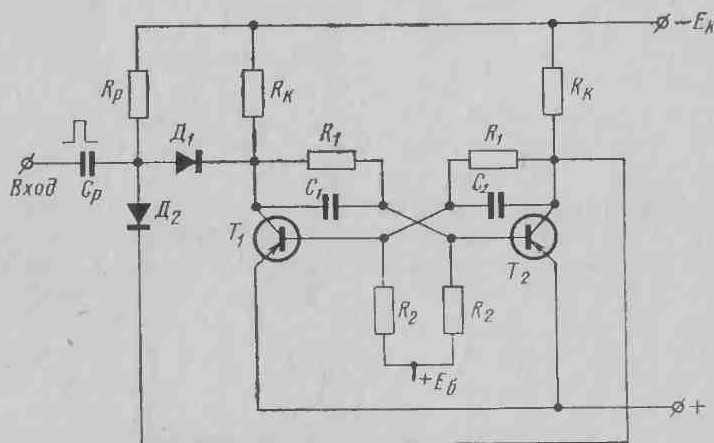


Рис. 7.13. Схема симметричного триггера с отдельным источником напряжения смещения.

Чтобы транзистор, например  $T_2$ , был надежно закрыт при открытом транзисторе  $T_1$  и при максимальной рабочей температуре, необходимо выполнить условие:

$$E_b \geq R_b I_{к.о. макс}, \quad (7.38)$$

где  $I_{к.о. макс}$  — неуправляемый ток закрытого транзистора при наибольшей температуре.

В состоянии устойчивого равновесия один из транзисторов закрыт, и отрицательный потенциал его коллектора близок к напряжению источника питания  $U_k$ . За счет разности токов, протекающих через резистор обратной связи  $R_1$  и через резистор цепи смещения  $R_2$ , обеспечивается работа одного из триодов в режиме насыщения ( $T_2$ ). Так как потенциал коллектора насыщенного триода близок к нулю, то на базу триода  $T_1$  через делитель  $R_2$ — $R_1$  подается положительное напряжение, обеспечивающее запирающее первое триода. Схема симметрична, поэтому второе устойчивое состояние, в котором триод  $T_2$  закрыт, а триод  $T_1$  насыщен, описывается аналогично. Конденсаторы  $C_1$  и  $C_2$  на устойчивое состояние не влияют и служат для ускорения процесса переключения.

На работу триггеров существенно влияет активная нагрузка с сопротивлением  $R_n$ , подключаемая к коллектору транзистора триггера непосредственно или через большую емкость. Чтобы триггер имел два устойчивых состояния при наличии нагрузки, соответствующее сопротивление связи  $R$  необходимо уменьшить.

Значение эквивалентного сопротивления коллектора  $R_{к. экв}$  определяется по формуле:

$$R_{к. экв} = \frac{R_k R_n}{R_k + R_n}. \quad (7.39)$$

Наиболее широко применяются диодные схемы запуска триггеров. На рис. 7.13 представлена схема запуска триггера импульсами, подаваемыми на коллекторы, а с них через цепь связи — на базы транзисторов триггера. В зависимости от полярности включения диодов импульсы должны иметь положительную или отрицательную полярность. Применяются и другие схемы запуска триггеров, например подключением диодных цепей запуска на базы транзисторов триггера.

При подаче запускающего импульса отрицательной полярности на базу триода  $T_2$  схема опрокидывается, транзистор  $T_1$  запирается, а  $T_2$  переходит в состояние насыщения. Наличие двух устойчивых состояний объясняется устойчивостью и инерционностью режима насыщения транзистора, из которого триод можно вывести только мощным и длительным воздействием.

При расчете триггеров обычно задаются:

- а) амплитуда выходного импульса  $U_{имп}$ ;
- б) сопротивление нагрузки  $R_n$ ;
- в) максимальная частота запускающих импульсов  $F_{макс}$ ;
- г) диапазон изменения температуры окружающей среды  $\pm T^\circ C$ .

На выбор схемы влияют следующие основные показатели: определение режимов транзисторов (насыщенный или ненасыщенный), определение способов запирания (автоматическим или посторонним смещением) и способов запуска, от которых зависит степень усложнения схемы.

Более высокой помехоустойчивостью и стабильностью обладает триггер в насыщенном режиме.

Если транзисторы не удовлетворяют требованию малого разброса коэффициента усиления по току  $\beta$ , то целесообразно применять схему с ненасыщенным режимом.

В целях исключения самовозбуждения, наблюдающегося иногда при автоматическом смещении, следует применять смещение от внешнего источника напряжения. Порядок расчета триггерной схемы следующий.

1. Напряжение  $E_k$  определяется по заданной амплитуде выходного напряжения:

$$E_k = (1,2 \div 1,3) U_{\text{имп (вых)}}. \quad (7.40)$$

2. Для насыщенного триггера с внешним смещением (см. рис. 7.13) условие запирания:

$$R_2 \leq \frac{E_b}{I_{k,0}}. \quad (7.41)$$

3. Ток коллектора открытого триода определяется с достаточной точностью:

$$I_{k,н} = \frac{E_k}{R_k}. \quad (7.42)$$

4. Ток базы, обеспечивающий насыщение, должен превышать:

$$I_{б,н} > \frac{I_{k,н}}{\beta} = \frac{E_k}{\beta R_k}. \quad (7.43)$$

5. Величина сопротивления  $R_1$  для условия насыщения должна составлять:

$$R_1 \leq \left( \frac{\beta}{1 + \beta \frac{E_b}{E_k} \cdot \frac{R_k}{R_2}} - 1 \right) R_k. \quad (7.44)$$

6. Амплитуда выходного напряжения ненагруженного триггера определяется из выражения:

$$U_{\text{вых}} = \frac{R_1}{R_1 + R_k} \left( E_k - I_{k,0} R_k \right). \quad (7.45)$$

7. Сопротивление  $R_k$  определяется из условия:

$$R_k \leq \frac{E_k}{I_{k,0, \text{макс}}}. \quad (7.46)$$

8. Величина выходного тока  $I_{\text{вых}}$

$$I_{\text{вых}} = \frac{U_{\text{вых}}}{R_k} = \frac{R_1}{R_1 + R_k} \left( \frac{E_k}{R_k} - I_{k,0} \right) \approx \frac{R_1}{R_1 + R_k} \cdot \frac{E_k}{R_k}. \quad (7.47)$$

9. Мощность  $P$ , потребляемая ненагруженным триггером

$$P \approx \frac{E_k^2}{R_k} \quad (7.48)$$

10. Допустимое сопротивление, которое можно подключить параллельно сопротивлению  $R_k$  в виде нагрузки, определяется из выражения:

$$R'_{\text{п-мин}} = \frac{R_k}{S - 1}, \quad (7.49)$$

где  $S$  — фактический коэффициент насыщения нагруженного триода в открытом состоянии,

$$S = \frac{i_b}{I_{б.н}}, \quad (7.50)$$

здесь  $i_b$  — фактический ток базы открытого транзистора;

$I_{б.н}$  — ток базы, обеспечивающий насыщение транзистора при  $\beta_{\text{мин}}$ .

11. Оптимальное значение ускоряющих емкостей определяется из равенства:

$$C_{\text{опт}} = \frac{1 + 2\pi f_a R_k C_{\text{кол}}}{2f_a R_k}, \quad (7.51)$$

где  $C_{\text{кол}}$  — усредненная емкость коллекторного перехода транзистора.

$f_a$  — граничная частота транзистора.

**Блокинг-генератор** представляет собой трансформаторный усилитель, выход которого замкнут на вход. С помощью блокинг-генератора можно получить импульсы почти прямоугольной формы с амплитудой, равной напряжению источника коллекторного питания, а при наличии третьей повышающей обмотки трансформатора могут быть получены импульсы с амплитудой в несколько раз больше напряжения источника коллекторного питания.

Схема блокинг-генератора, работающего в режиме автоколебаний, показана на рис. 7.14, а. Временная диаграмма коллекторного

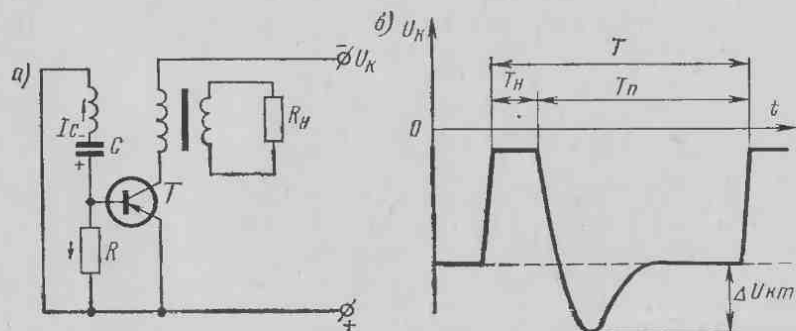


Рис. 7.14. Схема блокинг-генератора а и его временная диаграмма б

напряжения приведена на рис. 7.14, б. Рабочий цикл состоит из нескольких этапов. Если на соединенной с базой транзистора обкладке конденсатора положительная полярность, то транзистор будет находиться в запертом состоянии и конденсатор начнет разряжаться через сопротивление  $R$  и вторичную обмотку трансформатора. При снижении напряжения на конденсаторе до нуля транзистор отпирается и начинается второй этап переходного процесса. На этом этапе возрастающий коллекторный ток наводит во вторичной обмотке трансформатора э. д. с. отрицательной полярности, способствующую форсированию отпираания транзистора. Процесс развивается лавинообразно, вплоть до насыщения транзистора, когда положительная обратная связь нарушается. Напряжение на коллекторе падает практически до нуля.

Третий этап характерен тем, что происходит рассасывание накопленных в базе транзистора носителей. При этом напряжение коллектор-эмиттера  $U_{к.э}$  остается близким к нулю, т. е. формируется вершина импульса. Через некоторое время заряд неосновных носителей на базе транзистора уменьшается до величины выхода из насыщения, в результате чего наступает этап запираания, в течение которого коллекторное напряжение снова достигает величины напряжения источника питания. В связи с рассеянием магнитной энергии в сердечнике трансформатора возникает выброс напряжения, после окончания которого схема возвращается в исходное состояние, и цикл повторяется. Положительное напряжение на конденсаторе в начальный период цикла получается в процессе формирования вершины, когда через конденсатор протекает большой базовый ток. Частота импульсов определяется в основном сопротивлением и конденсатором  $RC$ , включенными в цепь базы.

Обеспечение ждущего режима блокинг-генератора осуществляется включением запирающего напряжения в цепь базы транзистора. После подачи пускового импульса начинается описанный выше цикл, в конце которого восстанавливается исходное состояние.

Интервал времени между импульсами (время паузы) определяется временем разряда конденсатора от некоторого максимального напряжения  $U_{с.макс}$  до нуля. На этом этапе транзистор заперт, но в цепи базы протекает некоторый ток, равный в первом приближении нулевому току транзистора  $I_{к.о}$ .

Время паузы определяется из выражения:

$$T_n = RC \left( 1 + \frac{U_{с.макс}}{I_{к.о}R} \right). \quad (7.52)$$

Как видно из этого выражения, интервал времени между импульсами зависит от теплового тока транзистора.

Расчет блокинг-генераторов производится обычно при заданных длительности  $t_n$ , периоде следования  $T$  и амплитуде импульсов  $U_m$  в следующем порядке.

1. После выбора схемы блокинг-генератора определяется коэффициент трансформации. Длительность фронта импульса мини-

малына при максимальном коэффициенте усиления  $K_n$  в цепи положительной обратной связи блокинг-генератора. Максимум  $K_n$  наблюдается при согласовании выходного сопротивления триода с входным, когда в случае блокинг-генераторов с коллекторно-базовой обратной связью коэффициент трансформации имеет величину  $n=0,2-0,3$ , для коллекторно-эмиттерной связи  $n=0,1 \div 0,2$ .

Из-за конструктивных соображений на практике выбирают  $n=1$ .

2. Выбранный транзистор должен иметь допустимое напряжение на коллекторе:

$$E_{к.доп} \geq (1,1 - 1,2)U_m. \quad (7.53)$$

Для блокинг-генератора с базовым конденсатором должно соблюдаться условие:

$$E_{к.доп} \geq (1,5 - 1,75)E_k = (1,6 - 1,8)U_m. \quad (7.54)$$

3. Определяется коллекторное сопротивление  $R_k$ :

$$R_k \geq \frac{E_k}{I_{к.доп}}. \quad (7.55)$$

4. Рассчитывается величина фазового угла  $\varphi$ :

$$\varphi = \arctg \frac{\delta}{\omega} = \arctg \frac{1}{3}. \quad (7.56)$$

При этом  $\omega = \sqrt{\omega_0^2 - \delta^2} = 3\delta$ .

5. Определяется угловая частота контура  $\omega$ :

$$\omega = \frac{\frac{\pi}{2} - \varphi}{t_n}. \quad (7.57)$$

6. Рассчитываются величины  $\delta$  и  $C_6$ :

$$\delta = \frac{\omega}{3}; \quad C_6 = \frac{1}{2n^2 R_k \delta} \quad (7.58)$$

и находится индуктивность трансформатора:

$$L_T = \frac{1}{n^2 C_6 (\omega^2 + \delta^2)}. \quad (7.59)$$

7. Находится величина  $R_6$  из уравнения:

$$R_6 = \frac{T}{C_6 \ln \left( 1 + \frac{2t_n}{\pi C_6 n R_k} \right)}. \quad (7.60)$$

8. Коэффициент трансформатора для нагрузочной обмотки определяется из выражения:

$$n_n = \frac{I_n R_n}{E_k - U_{к.о}}, \quad (7.61)$$

где  $R_n$  — сопротивление нагрузки.



**Дифференцирующие и интегрирующие цепи.** Дифференцирующая цепь является преобразователем формы подводимого к ней напряжения  $U_1$  таким образом, что выходное напряжение  $U_2$  в каждый момент будет прямо пропорционально значению производной по времени входного напряжения.

Схема дифференцирующей цепи, представляющая собой последовательное соединение активного сопротивления  $R$  и емкости  $C$ , изображена на рис. 7.15. Дифференциальное уравнение, связывающее напряжение на выходе и на входе этой схемы, имеет вид:

$$\frac{dU_2}{dt} + \frac{1}{RC} U_2 = \frac{dU_1}{dt}. \quad (7.62)$$

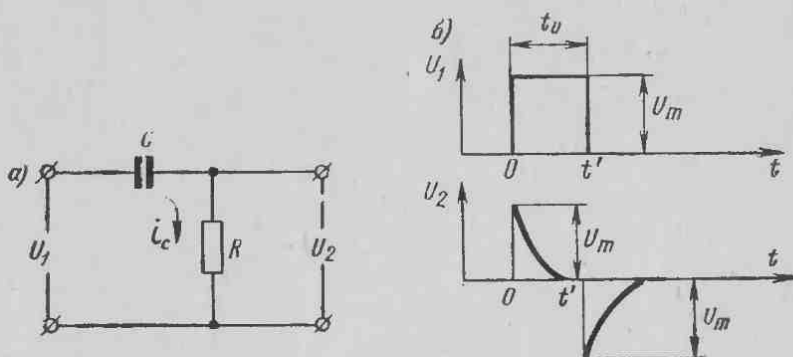


Рис. 7.15. Дифференцирующая цепь *a* и временная диаграмма *б*

При условии

$$\frac{dU_2}{dt} \ll \frac{1}{RC} U_2$$

справедливо выражение

$$U_2 = RC \frac{dU_1}{dt}, \quad (7.63)$$

показывающее, что схема осуществляет дифференцирование.

Если на вход схемы поступает импульс напряжения  $U_1$ , длительностью  $t_n$ , то по цепи  $RC$  потечет ток заряда конденсатора, значение которого определяется уравнением:

$$i_c = C \frac{dU_c}{dt}, \quad (7.64)$$

где  $U_c$  — напряжение заряда конденсатора. Тогда

$$U_2 = RC \frac{dU_c}{dt}. \quad (7.65)$$

Длительность переходного процесса в цепи принято считать равной  $5\tau$  (где  $\tau$  — постоянная времени цепи).

Через время  $t > 5\tau$  напряжение на конденсаторе становится примерно равным напряжению на входе, тогда

$$U_2 = RC \frac{dU_1}{dt} = \tau \frac{dU_1}{dt}. \quad (7.66)$$

При соизмеримости значений  $t_u$  и  $\tau$  на выходе дифференцирующей цепи снимается экспоненциальный импульс, имеющий положительную и отрицательную амплитуды различной величины.

При  $t_u \gg \tau$  прямоугольный импульс преобразуется в короткие импульсы напряжения различных полярностей с одинаковыми максимальными значениями  $U_m$  (рис. 7.15, б).

Интегрирующая цепь изменяет форму подводимого к ней напряжения таким образом, что выходное напряжение  $U_2$  в каждый момент времени прямо пропорционально интегралу от входного напряжения.

На рис. 7.16 приведена схема интегрирующей цепи, состоящая из последовательного соединения  $R$  и  $C$ . Для этой схемы дифференциальное уравнение имеет вид:

$$RC \frac{dU_2}{dt} + U_2 = U_1. \quad (7.67)$$

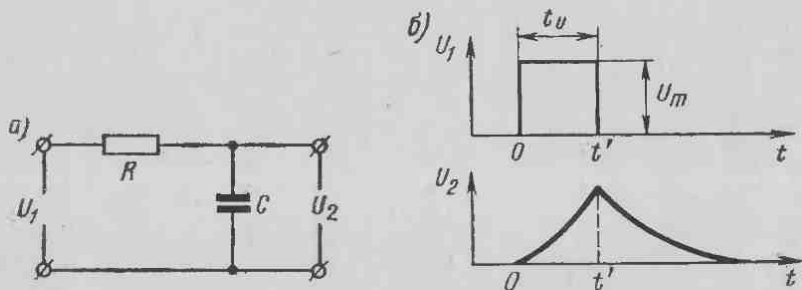


Рис. 7.16. Интегрирующая цепь а и временная диаграмма б

Если

$$RC \frac{dU_2}{dt} \gg U_2,$$

то, приближенно

$$RC \frac{dU_2}{dt} = U_1, \text{ или } U_2 = \frac{1}{RC} \int U_1 dt, \quad (7.68)$$

т. е. схема осуществляет интегрирование.

Как видно из рис. 7.16, б, передний фронт выходного напряжения представляет собой почти линейно нарастающее напряжение.

Таким образом, с помощью интегрирующей цепи возможно преобразование коротких импульсов в более удлиненные импульсы.

## § 7.6. Индивидуальные узлы приемного устройства и сигнализации

Как уже отмечалось, в структуре пожарной сигнализации широко применяются многопроводные (лучевые) системы с амплитудными признаками разделения сигналов.

При централизованном сборе информации от извещателей распределенных контролируемых объектов оператор, находящийся на диспетчерском пункте, должен знать в течение времени дежурства состояние всех объектов.

Прием и расшифровку информации, поступающей на диспетчерский пункт от контролируемых объектов, осуществляют индивидуальные узлы линейных комплектов приемного устройства и сигнализации.

На рис. 7.17 приведена принципиальная схема индивидуального приемного устройства, позволяющая контролировать два состояния объекта:

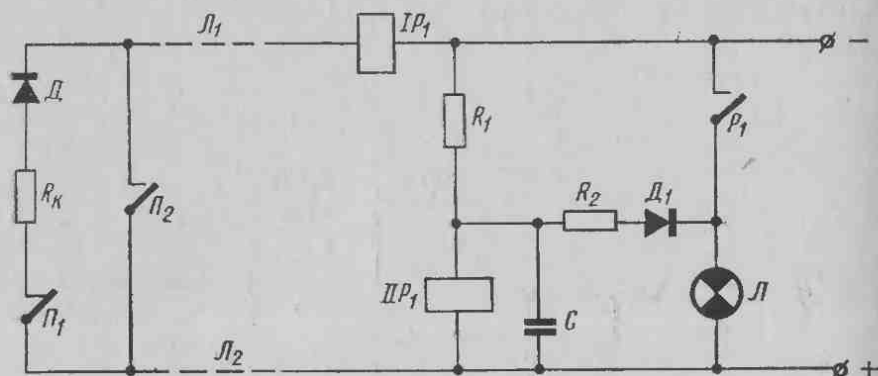


Рис. 7.17. Принципиальная схема индивидуального приемного устройства

«норма», характеризующая дежурное состояние извещателя; «тревога», характеризующая состояние сработавшего извещателя. Причем, при срабатывании извещателя линия связи может быть замкнута или разомкнута его контактами  $\Pi_1$ ,  $\Pi_2$ .

Схема построена так, что токи, протекающие по обмоткам  $IP_1$  и  $IIP_1$  двухобмоточного реле  $P_1$  в режиме «норма», создают одинаковые магнитные потоки  $\Phi_1 = \Phi_2$

$$\Phi_1 = I_1 W_1; \quad \Phi_2 = I_2 W_2,$$

где  $I_1$  и  $I_2$  — токи, протекающие через каждую из обмоток реле;  $W_1$  и  $W_2$  — количество витков каждой из обмоток реле.

В таком режиме обмотки реле  $P_1$  находятся под номинальными токами. Так как обмотки  $IP_1$  и  $IIP_1$  включены встречно, то реле в целом находится в несработавшем состоянии. При размыкании

контакта  $П_1$  или замыкании контакта  $П_2$  пожарного извещателя величина тока в обмотке  $IP_1$  либо снижается до нуля, либо значительно возрастает, в результате чего реле срабатывает и самоблокируется по цепи: плюс, обмотка  $ИП_1$ , сопротивление  $R_2$ , диод  $Д_1$ , контакт  $P_1$  минус (увеличение тока в обмотке  $IP_1$  определяется сопротивлением линии связи).

Диод  $Д_1$  и сопротивление  $R_2$  служат для развязки цепей обмотки  $ИП_1$  и индикаторной лампы  $Л$ , сигнализирующей о срабатывании извещателя на объекте.

Работоспособность рассматриваемого варианта схемы индивидуального приемного устройства в основном определяет соотношение сопротивлений  $R_k$  и  $R_l$ , влияющих на уравнивание токов обмоток  $IP_1$  и  $ИП_1$  соответственно.

Расчет номиналов этих сопротивлений удобно производить на эквивалентных схемах (рис. 7.18, а, б, в), соответствующих режимам «норма», «тревога» — короткое замыкание (к. з.) линии, «тревога» — обрыв линии.

1. Режим «норма» — реле  $P_1$  не срабатывает.

Для этого режима уравнение равновесия:

$$\frac{E_n W_1}{R_{106m} + \frac{(R_l + R_k)R_y}{R_l + R_k + R_y}} = \frac{E_n W_2}{R_1 + R_{206m}}, \quad (7.69)$$

где  $E_n$  — напряжение источника питания;

$R_y$  — сопротивление утечки;

$R_l$  — сопротивление линии.

2. Режим «тревога» — к. з. на конце линии связи, т. е. сопротивление  $R_k = 0$ ; уравнение рассогласования схемы имеет вид:

$$\frac{E_n W_1}{R_{106m} + \frac{R_l R_y}{R_l + R_y}} - \frac{E_n W_2}{R_1 + R_{206m}} = \Delta\Phi, \quad (7.70)$$

где  $\Delta\Phi$  — разностный магнитный поток реле  $P_1$ , вызывающий его срабатывание.

После срабатывания реле самоблокируется через свой нормально открытый контакт по цепи сопротивления  $R_2$ ,  $Д_1$ , что обеспечивает удержание реле в сработавшем состоянии. Тогда выражение (7.70) примет вид:

$$\frac{E_n W_1}{R_{106m} + \frac{R_l R_y}{R_l + R_y}} - \frac{E_n W_2}{\frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} + R_{206m}} = \Delta\Phi. \quad (7.71)$$

3. Режим «тревога» — обрыв на конце линии связи, уравнение рассогласования записывается так:

$$\Delta\Phi = \frac{E_n W_2}{R_1 + R_{206M}} - \frac{E_n W_1}{R_{106M} + R_n + R_y} \quad (7.72)$$

При  $R_y \rightarrow \infty$

$$\Delta\Phi = \frac{E_n W_2}{R_1 + R_{206M}} \quad (7.73)$$

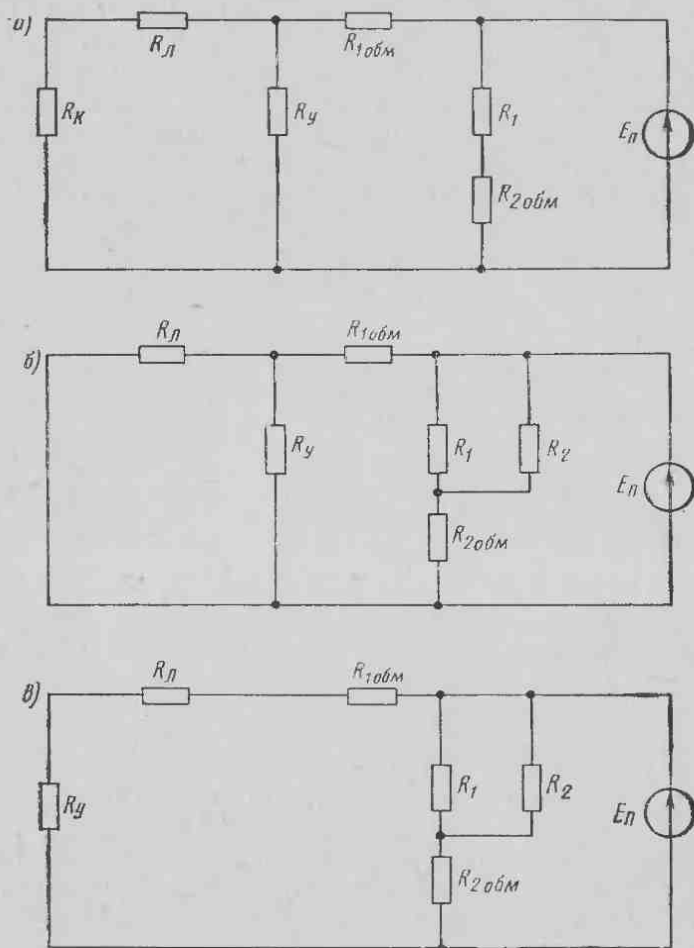


Рис. 7.18. Эквивалентные схемы для расчета индивидуального приемного устройства  
 а — режим «норма»; б — режим «тревога» — к. з. линии; в — режим «тревога» — обрыв линии

При самоблокировке реле  $P_1$  уравнение (7.73) принимает вид:

$$\Delta\Phi = \frac{E_{II} W_2}{\frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} + R_{206M}} - \frac{E_{II} W_1}{R_{106M} + R_L + R_Y} \quad (7.74)$$

Сопротивление  $R_1$  находится из выражения:

$$R_1 = \frac{R_2 R_{206M} R_{106M} + R_2 R_{206M} R_L + R_2 R_{206M} R_Y - \dots}{E_{II} W_2 (R_{106M} + R_L + R_Y) - E_{II} W_1 (R_2 + R_{206M}) - \dots} \cdot \dots \quad (7.75)$$

$$\leftarrow \dots \frac{- E_{II} W_2 (R_{106M} R_2 + R_L R_2 + R_Y R_2) + E_{II} W_1 R_{206M} \cdot R_2}{-\Delta\Phi (R_2 R_{106M} + R_2 R_L + R_2 R_Y) + R_{206M} (R_{106M} + R_L + R_Y)}$$

Сопротивление  $R_K$  находим из выражения (7.69):

$$R_K = \frac{E_{II} W_1 (R_1 + R_{206M}) - E_{II} W_2 (R_{106M} R_L + R_{106M} R_Y + R_L R_Y)}{E_{II} W_2 R_{106M} + E_{II} W_2 R_Y} \quad (7.76)$$

Значения  $E_{II}$ ,  $W_1$ ,  $W_2$ ,  $R_Y$ ,  $\Delta\Phi$  задаются при расчете.

На рис. 7.19 приведена схема индивидуального приемного устройства, обладающая более чувствительным входом. Схема состоит

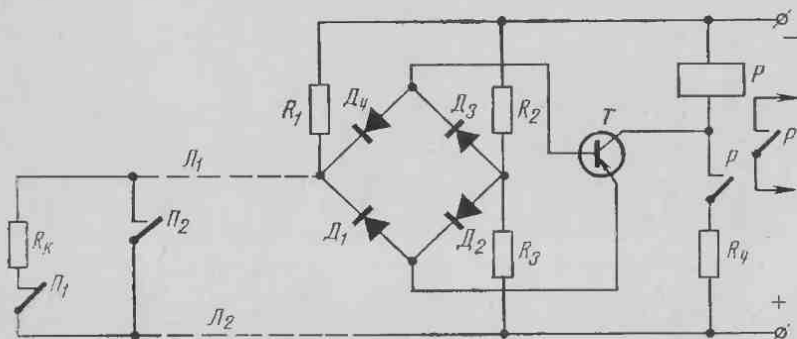


Рис. 7.19. Схема индивидуального приемного устройства с уравновешенным мостом

из уравновешенного моста, плечами которого являются сопротивления  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$ ,  $R_K$  (где  $R_K$  — контрольное сопротивление, включенное на конце линии связи).

Диодный мост на диодах  $D_1$ — $D_4$  выполняет роль согласующего звена с полупроводниковым триодом  $T$  усилителя мощности, в коллектор которого включено исполнительное реле  $P$ .

В режиме «норма» мост сбалансирован, база и эмиттер транзистора  $T$  равнопотенциальны, триод закрыт. При размыкании контакта  $P_1$  или замыкании контакта  $P_2$  пожарного извещателя мост разбалансируется, триод откроется, в результате чего исполнительное реле  $P$  сработает и самоблокируется по цепи сопротивления  $R_4$ .

Для режима «тревога» — обрыв на конце линии связи справедливо выражение, определяющее распределение напряжений в схеме:

$$E_{\text{п}} = I_{\text{к}} R_{\text{р}} + U_{\text{ост}} + U_{\text{диод}} + I_{\text{р}} \frac{R_2 R_3}{R_2 + R_3} + E_{\text{п}} \frac{R_3}{R_3 + R_2}, \quad (7.77)$$

где  $E_{\text{п}}$  — э. д. с. источника питания;

$I_{\text{к}}$  — ток коллектора полупроводникового триода;

$R_{\text{р}}$  — сопротивление обмотки реле;

$U_{\text{ост}}$  — остаточное напряжение между коллектором и эмиттером триода в рабочем состоянии.

В режиме «тревога» — к. з. на конце линии связи к базе триода прикладывается потенциал, примерно равный половине напряжения питания источника, поэтому триод переходит в насыщение. При этом справедливо

$$I_{\text{б}} \frac{R_2 R_3}{R_2 + R_3} = \frac{E_{\text{п}}}{2}; \quad (7.78)$$

так как  $R_2 = R_3$ , то

$$I_{\text{б}} \frac{R_3}{2} = \frac{E_{\text{п}}}{2}; \quad (7.79)$$

$$I_{\text{б}} R_3 = E_{\text{п}}, \quad (7.80)$$

где  $I_{\text{б}}$  — ток базы триода.

Задаваясь значениями  $E_{\text{п}}$  и  $I_{\text{б}}$ , вычислим сопротивление  $R_3$ , определяющее ток обмотки реле  $P$ :

$$R_3 = \frac{E_{\text{п}}}{I_{\text{б}}}. \quad (7.81)$$

В ряде случаев необходимо селективно принять и зарегистрировать сигналы от пожарных извещателей, работающих на размыкание и замыкание своих контактов ( $P_1$ ,  $P_2$ ).

Схема индивидуального приемного устройства, представленная на рис. 7.20, позволяет раздельно зарегистрировать информацию как при размыкании контакта  $P_1$ , так и при замыкании контакта  $P_2$ . Эти контакты могут быть от разных извещателей.

В результате размыкания контакта  $P_1$ , транзистор  $T_2$  закрывается, а транзистор  $T_1$  открывается, коллекторный ток резко возрастает и индикаторная лампочка  $L_{06}$  загорается. При замыкании контакта  $P_2$  транзистор  $T_1$  закрывается, транзистор  $T_2$  открывается, коллекторный ток резко возрастает и индикаторная лампочка  $L_{КЗ}$  загорается.

С помощью диодов  $D_1$ ,  $D_2$  осуществляется развязка коллекторных потенциалов транзисторов  $T_1$ ,  $T_2$  и связь их с базой транзисторов  $T_3$ ,  $T_4$ , в коллекторные цепи которых включены исполнительные реле  $P_1$ ,  $P_2$ . Kontakтами реле  $P_1$ ,  $P_2$  коммутируются цепи звуковой сигнализации и цепи автоматки управления средствами тушения пожара.

Каскады на транзисторах  $T_3, T_4$  являются общими исполнительными узлами сигнализации на ДП для нескольких линейных приемных устройств системы.

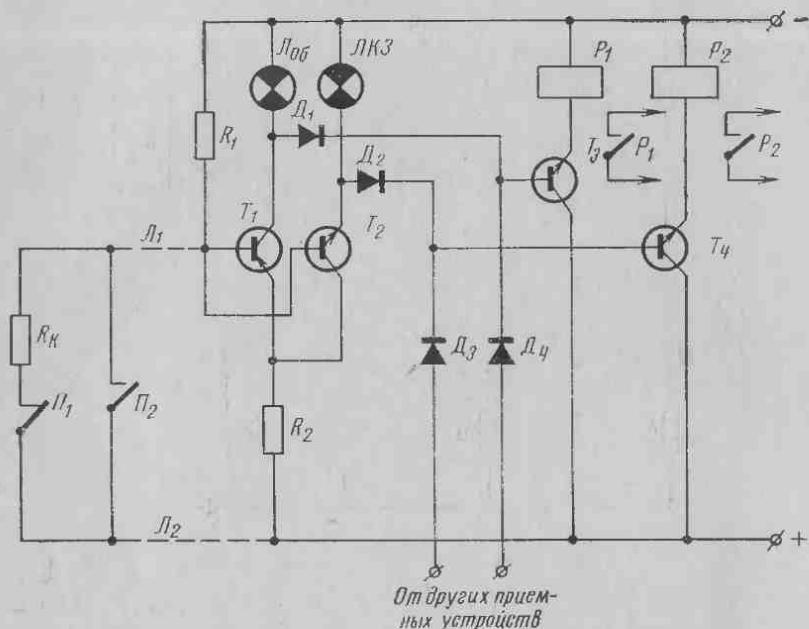


Рис. 7. 20. Схема индивидуального приемного устройства с раздельной регистрацией информации

### § 7.7. Оконечные устройства

В канал связи систем телесигнализации, кроме индивидуальных приемных устройств, линий связи, расположенных на диспетчерском пункте, входят оконечные устройства (ОУ) на контролируемом объекте, выполняющие роль преобразования сигналов пожарных извещателей и согласования их параметров с параметрами линии связи и приемных устройств.

Оконечные устройства бывают активного и пассивного типа.

Активные ОУ, как правило, имеют автономный источник питания и являются активными четырехполюсниками, изменяющими параметры выходных сигналов в соответствии с состоянием контролируемого объекта.

Оконечные устройства пассивного типа собственных источников питания не имеют. Здесь преобразование сигналов, поступающих от извещателей, осуществляется коммутацией дистанционных токовых цепей приемных устройств ДП.

Пассивные ОУ представляют собой простые схемные решения, выполненные на активных сопротивлениях, индуктивностях, емкостях и резонансных элементах.



На рис. 7.21, а приведена схема ОУ, где реализуется возможность образования многозначной информации за счет изменения полярности и амплитуды в линии связи.

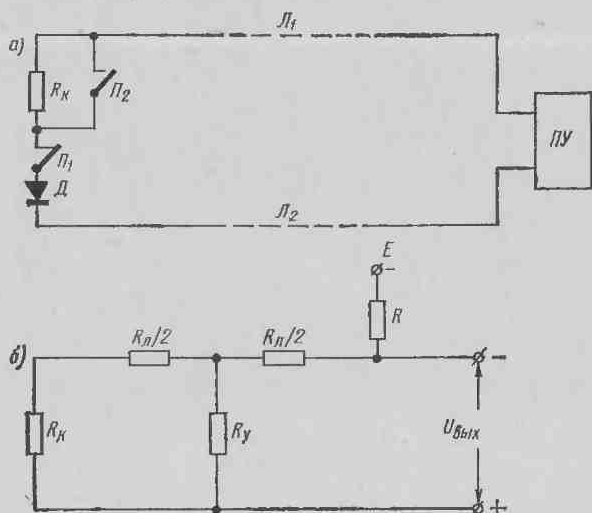


Рис. 7.21. Схемы оконечного устройства

При проектировании системы сигнализации сопротивлением линии связи  $R_{л}$  и сопротивлением утечки  $R_{у}$  задаются. Задача сводится к определению оптимальной величины сопротивления контрольному току  $R_{к}$ . Для расчета составляется эквивалентная схема (рис. 7.21, б), из которой следует

$$R_{\text{эkv}} = \frac{\left(R_{к} + \frac{R_{л}}{2}\right) R_{у}}{R_{к} + \frac{R_{л}}{2} + R_{у}} + \frac{R_{л}}{2}, \quad (7.82)$$

где  $R_{\text{эkv}}$  — эквивалентное сопротивление цепи; при  $R_{л} \rightarrow 0$  и  $R_{у} \rightarrow \infty$

$$R_{\text{эkv}} = \frac{R_{к} R_{у}}{R_{к} + R_{у}}; \quad (7.83)$$

при  $R_{л} \rightarrow \text{макс}$ ;  $R_{у} \rightarrow \infty$

$$R_{\text{эkv}} = R_{к} + R_{л}. \quad (7.84)$$

Подставляя в выражения (7.83, 7.84) различные значения  $R_{к}$ , определим зависимость

$$R_{\text{эkv}} = f(R_{к})$$

При расчетах необходимо стремиться к снижению влияния изменений сопротивления линии и сопротивления утечки на выбор сопротивления  $R_{к}$ .

Среднее значение эквивалентного сопротивления при любых параметрах линии

$$R_{\text{экв.ср}} = \frac{R_k + R_d + \frac{R_k R_y}{R_k + R_y}}{2} \quad (7.85)$$

Величина выходного напряжения зависит как от  $R_{\text{экв}}$ , так и от сопротивления генератора  $R_g$

$$U_{\text{вых.н}} = \frac{E(R_k + R_d)}{R_k + R_d + R_g} \quad (7.86)$$

Задаваясь необходимым для схемы приемника значением  $U_{\text{вых.н}}$ , определим

$$R_k = \frac{U_{\text{вых.н}}(R_d + R_g) - ER_d}{E - U_{\text{вых.н}}} \quad (7.87)$$

Применение дополнительной цепи в окончательном устройстве, состоящее из сопротивления  $R'_k$  и полупроводникового диода  $D_1$  (рис. 7.22), позволяет простейшим способом увеличить в 2 раза по сравнению со схемой (рис. 7.21, а) многозначность передаваемой информации с одного объекта.

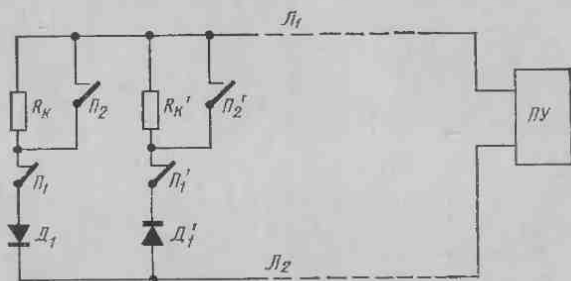


Рис. 7.22. Схема окончательного устройства для передачи многозначной информации

Оконечное устройство, схема которого показана на рис. 7.23, выполнено в виде блокинг-генератора, состоящего из транзистора  $T_1$  и трансформатора  $Tp$ . Частота колебаний блокинг-генератора определяется в основном емкостью  $C_1$ . Схема выполнена так, что эмиттерное сопротивление  $R_3$  транзистора  $T_1$  вынесено на диспетчерский пункт, с которого через емкость  $C_2$  снимается переменный сигнал, соответствующий замкнутому состоянию контакта извещателя  $П_1$ .

Продетектированный сигнал поступает на базу транзистора  $T_2$  — приемного устройства, в результате чего транзистор открывается, реле  $P$  срабатывает, что означает «норму» на объекте.

При срабатывании извещателя контакт  $\Pi_1$  размыкается (или замыкается контакт  $\Pi_2$ ), блокинг-генератор перестает генерировать, транзистор  $T_2$  закрывается, реле  $P$  обесточивается и нормально закрытыми своими контактами включает световую индикацию.

Как видно из схемы (рис. 7.23), оконечный блокинг-генератор питается с диспетчерского пункта по той же линии связи, по которой протекает и переменный ток, что в общем виде позволяет применять в системах сигнализации активные оконечные устройства без дополнительных источников питания и линий связи.

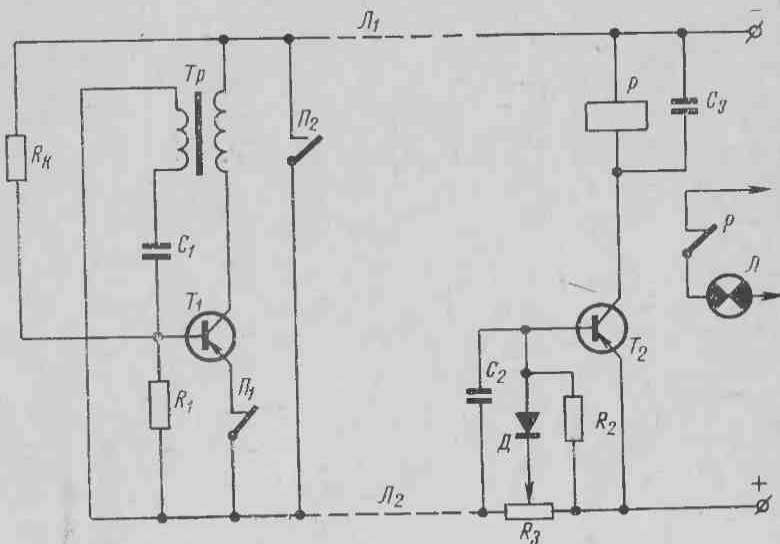


Рис. 7.23. Схема оконечного устройства с частотной посылкой

## § 7.8. Основные понятия теории и расчета надежности систем сигнализации

Различные участки тракта телесигнализации подвержены внешним нарушающим воздействиям. Наиболее подверженным участком внешних воздействий является линия связи. Однако причиной искажения или потери передаваемой информации может быть и повреждение самой приемно-передающей аппаратуры.

*Надежность аппаратуры* — это ее свойство выполнять заданные функции, сохраняя эксплуатационные показатели в заданных пределах в течение требуемого промежутка времени или требуемой наработки.

Высокая надежность функционирования аппаратуры обеспечивается безотказной работой всех узлов системы. В отдельных случаях выход из строя одного из элементов или узлов системы приводит к полной потере информации.

*Работоспособность аппаратуры* — это состояние, при котором она способна выполнять заданные функции с параметрами, установленными требованиями технической документации.

Мерой надежности оборудования является интенсивность отказов.

*Отказ* — это нарушение работоспособности. Если отказы отсутствуют, система обладает стопроцентной надежностью. Как показывает опыт, даже у хорошо спроектированной аппаратуры не исключается полностью вероятность возникновения отказов.

Различают три характерных типа отказов. Отказы, которые возникают в течение раннего периода эксплуатации, называются приработочными и происходят чаще всего вследствие плохой технологии производства и слабого контроля при изготовлении (первый тип отказов).

При неправильном или плохом обслуживании аппаратуры возникают износные отдельные элементы, что приводит к отказам, составляющим второй тип.

К третьему типу отказов относятся внезапные отказы, неожиданно возникающие при концентрации нагрузок.

Сложнее всего исключить внезапные отказы. Однако разработаны такие методы повышения надежности, которые позволяют снизить вероятность возникновения внезапных отказов.

В течение начального периода надежность системы изменяется по экспоненциальному закону, а интенсивность внезапных отказов элементов остается постоянной. После окончания этого периода начинает сказываться износ элементов, что резко увеличивает число отказов системы, после чего число отказов некоторое время колеблется и, наконец, устанавливается на постоянном уровне.

Надежность значительно повышается при профилактическом обслуживании аппаратуры.

Оценка надежности систем состоит в оценке средней наработки системы на отказ путем определения отрезка времени между двумя последовательными отказами.

*Наработка на отказ* — это среднее значение наработки (продолжительности) рекомендуемого изделия между отказами.

Для данного типа аппаратуры количество отказов в единицу времени является величиной устойчивой и называется средней частотой отказов.

Периодом появления отказов, или наработкой на один отказ, является величина, обратная средней частоте отказов [35]:

$$T = \frac{1}{\lambda} = \frac{N_0 \Delta t}{n}, \quad (7.88)$$

где  $N_0$  — общее число элементов аппаратуры;

$\Delta t$  — время испытания аппаратуры;

$n$  — число отказавших элементов с учетом как первоначально имевшихся элементов, так и поставленных на замену.

Исходными параметрами в теории надежности являются средняя частота отказов и наработка на отказ, с помощью которых можно дать сравнительную оценку надежности различных экземпляров серийно выпускаемой аппаратуры.

Вероятность безотказной работы за определенный интервал времени учитывает среднюю наработку на отказ и необходимое время исправной работы аппаратуры данного типа [35]:

$$P_0 = e^{-\frac{t_p}{T_{cp}}}, \quad (7.89)$$

где  $P_0$  — вероятность безотказной работы;  
 $t_p$  — интервал времени работы, в течение которого аппаратура данного типа должна исправно функционировать;  
 $T_{cp}$  — средняя наработка на отказ для аппаратуры данного типа.

В теории надежности приведенное уравнение называется экспоненциальным законом надежности.

Расчет надежности аппаратуры включает в себя составление структурной схемы надежности, выбор нормируемых показателей надежности, заполнение соответствующих карт расчета интенсивности отказов, определение числовых значений нормируемых показателей.

На этапе разработки технических предложений рекомендуется выполнять предварительный расчет надежности, на этапе эскизного проектирования — ориентировочный расчет и на этапе технического проекта, — как правило, уточненный расчет надежности.

На этапе разработки технических предложений расчет надежности выполняется путем сравнительного анализа разрабатываемого устройства с аналогичным существующим.

Определяются числовые значения нормируемых показателей надежности разрабатываемой системы, т. е. путем вычисления доли интенсивности отказов существующей аналогичной системы, приходящейся на одну составную часть ее, и умножения значений этой доли на количество составных частей всей разрабатываемой системы.

Количество составных частей может быть выражено общим числом комплектующих элементов и общим числом функциональных блоков.

Предварительный расчет системы можно представить в такой последовательности.

1. Подсчитывается общее количество функциональных узлов или блоков существующего аналога системы на один канал  $n_1$ .

2. Определяется параметр потока отказов существующего аналога  $\Omega_1$

$$\Omega_1 = \frac{1}{T_1}, \quad (7.90)$$

где  $T_1$  — наработка на отказ аналога.

3. Определяется доля потока отказов, приходящаяся на один функциональный блок  $\Omega_{6л1}$  аналога

$$\Omega_{6л1} = \frac{\Omega_1}{n_1}. \quad (7.91)$$

4. Рассчитывается параметр потока отказов системы  $\Omega_2$ , исходя из условий  $\Omega_{6л1} = \Omega_{6л2}$  (где  $\Omega_{6л2}$  — доля потока отказов на один функциональный блок новой системы  $\Omega_2 = \Omega_{6л1} n_1$ ).

5. Рассчитывается наработка на отказ новой системы  $T_2$ :

$$T_2 = \frac{1}{\Omega_2}. \quad (7.92)$$

6. Задаваясь интервалом времени непрерывной работы системы  $t_2$ , определяется вероятность безотказной работы  $P(t_2)$  разрабатываемой системы:

$$P(t_2) = e^{-\frac{t_2}{T_2}}. \quad (7.93)$$

В основе расчета надежности на этапах эскизного и технического проектирования лежит метод определения числовых значений показателей надежности по известным формулам без учета поправочных коэффициентов — для эскизного проекта и с учетом поправочных коэффициентов — для технического проекта.

Эскизный проект представляет совокупность конструкторских документов, содержащих принципиальные конструктивные решения, характеризующие устройство и принцип работы системы, основные данные о технических параметрах.

При ориентировочном расчете надежности системы заполняется карта расчета интенсивности отказов, учитывающая количество комплектующих элементов и интенсивность их отказов.

Последовательность ориентировочного расчета надежности представляется следующим образом.

1. Составляется структурная схема надежности.
2. Уточняются нормируемые показатели надежности.
3. Заполняется карта ориентировочного расчета интенсивности отказов.
4. Определяется наработка на отказ системы:

$$T = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \lambda_i}, \quad (7.94)$$

где  $\sum_{i=1}^n \lambda_i$  — суммарная интенсивность отказов системы, состоящая из отказов отдельных элементов.

5. Рассчитывается вероятность безотказной работы системы:

$$P(t) = e^{-\frac{t}{T}}, \quad (7.95)$$

где  $t$  задается техническим заданием на проектирование системы.

Уточненный расчет надежности на этапе технического проекта производится примерно в такой же последовательности, как и для ориентировочного расчета, с учетом поправочных коэффициентов влияния нагрузки и температуры окружающей среды комплектующих изделий.

Одним из путей повышения надежности систем сигнализации является резервирование их элементов, функциональных узлов и блоков. Однако в связи с усложнением аппаратуры, увеличением ее габаритов, веса и стоимости резервирование следует применять лишь в том случае, когда исчерпаны более простые способы повышения надежности.

### § 7.9. Общие технические требования при проектировании систем сигнализации

Одной из особенностей объектов, подлежащих оборудованию средствами противопожарной автоматики, является их рассредоточенность.

При проектировании систем сигнализации преследуется цель создать схему, удовлетворяющую определенному комплексу технических требований при минимуме аппаратурных затрат.

Исходные данные для проектирования определяются техническим заданием, характеризующим особенности и структуру расположения объектов, структуру линий связи, удаленность объектов от диспетчерского пункта, характер помех и степень надежности действия системы. Кроме этого, учитывается наличие или отсутствие на контрольном пункте (КП) источников питания, диапазон рабочих температур, влажность, вибрация, взрывобезопасность и т. д.

На начальных этапах проектирования систем сигнализации определяются показатели и технические параметры схемы, характеризующие принцип и структуру построения. К таким показателям следует отнести метод разделения сигналов, тип кода, признаки посылок, тип устройства связи, методы обеспечения надежной работы устройства и, наконец, тип используемых элементов. Кроме качественной зависимости между основными показателями, существует определенная количественная связь между некоторыми показателями. Например, число посылок в серии  $n$  при последовательной передаче сигналов или их элементов зависит от емкости  $N$  устройства, а время передачи серии  $T_c$  — от числа посылок и их признаков. Можно также отметить количественную зависимость числа реле, контактов, диодов, триодов в схемах шифраторов и дешифраторов от числа объектов и структуры построения этих схем.

Для заданного типа систем сигнализации с учетом функциональных зависимостей  $n = f(N)$  и  $T_c = \varphi(n)$  можно определить все необходимые данные для проектирования системы сигнализации.

В связи с большим разнообразием принципов и методов построения схем сигнализации проектирование их не может быть однозначным. Для анализа и сравнения нескольких вариантов при выборе оптимального из них требуется оценить эти варианты по критериям сравнительной оценки схем, характеризующих качество схем и позволяющих оценить их структуру, физическое содержание и динамику работы.

При разработке телемеханических систем сигнализации целесообразно придерживаться следующей последовательности:

- 1) выбор структуры сигналов;
- 2) выбор способа разделения сигналов;
- 3) выбор типа кода и составление кодовых комбинаций;
- 4) выбор признаков посылок;
- 5) расчет устройств связи и выбор структуры линии;
- 6) составление блок-схемы устройства и выбор элементов;
- 7) выбор типа функциональных узлов и составление структурных схем;
- 8) сравнительная оценка структурных схем и выбор оптимального варианта;
- 9) анализ работы выбранного варианта системы;
- 10) составление принципиальных схем и их энергетический расчет;
- 11) выбор и расчет источников питания;
- 12) выбор конструкции устройства и компоновка оборудования на диспетчерском и контролируемом пунктах, составление монтажных схем;
- 13) составление рабочих чертежей;
- 14) расчет надежности системы;
- 15) расчеты технико-экономических показателей.

Определение структуры сигнала заключается в решении вопроса об использовании в проектируемом устройстве одноэлементных или многоэлементных сигналов. Определяющим фактором при этом является емкость устройства, быстрота передачи информации, интенсивность помех и др.

Способ разделения сигналов в канале связи определяется дальностью передачи информации и наличием числа проводных линий связи, возможностью обеспечения минимального времени передачи сигналов и требуемой помехоустойчивости.

Для малых расстояний передачи телемеханических сигналов (до 5 км) при наличии необходимого числа пар проводов линии связи целесообразно применять линейное разделение сигналов или их элементов. При недостаточном количестве проводов возможно применять частотный или временной способ разделения сигналов.

При выборе типа кода главным определяющим фактором является обеспечение заданной помехоустойчивости системы.



Выбор используемых признаков посылок находится в зависимости от требуемого времени передачи, типа линии связи и возможности обеспечения необходимой помехоустойчивости.

После выбора структуры линий связи рассчитывается устройство связи в виде определения первичных ( $R, L, C, G$ ) и вторичных ( $Z_{в}, \gamma, Z_{вх}$ ) параметров и расчета согласующих устройств. В первую очередь при этом необходимо детально проанализировать возможность использования существующих линий связи как наиболее дорогостоящей части канала связи. Обеспечив защиту системы от сбоев в работе, приступают к составлению структурной схемы, характеризующей основные функциональные связи узлов и блоков.

На этом же этапе проектирования решается вопрос (с учетом условий эксплуатации) о том, какие узлы системы выполняются на бесконтактных элементах и какие — на контактных.

Выбор принципиальных схем функциональных узлов осуществляется по четко сформулированным зависимостям выходных сигналов от входных.

Для сравнительной оценки схем могут использоваться следующие критерии.

1. Критерий использования элемента сигнала характеризуется коэффициентом:

$$\alpha = \frac{N}{n}, \quad (7.96)$$

который равен количеству передаваемых сообщений, приходящемуся на один сигнал или его элемент. Чем больше при заданном  $N$  коэффициент  $\alpha$ , тем экономичнее построен сигнал и эффективнее используется аппаратура. Вместе с тем увеличение коэффициента  $\alpha$  ведет к уменьшению избыточности кода, и, следовательно, к снижению его помехоустойчивости. Поэтому при выбранном типе кода необходимо стремиться к увеличению коэффициента  $\alpha$ , но при оптимальном его значении.

2. Критерий удельного расхода реле характеризуется количеством реле, приходящимся на одно сообщение:

$$\beta = \frac{\Sigma A}{N}, \quad (7.97)$$

где  $\Sigma A$  — общее число реле в системе.

С уменьшением коэффициента  $\beta$  снижается аппаратурная сложность системы, что приводит к увеличению ее надежности и уменьшению стоимости.

В бесконтактных схемах под коэффициентом  $\beta$  следует понимать аппаратурные затраты, т. е. число электронных ламп, транзисторов, диодов, ферритов и т. д., приходящихся на одно сообщение.

Сравнительная оценка схем проводится и по количеству элементов схемы, участвующих в общих операциях функционирования системы.

При выборе схем необходимо максимально использовать типовые унифицированные и стандартные узлы и блоки, что позволит значительно повысить качество создаваемой аппаратуры.

Расчет источников питания сводится к определению их необходимых мощностей, а также коэффициентов пульсации и стабилизации при питании схем выпрямленным постоянным током.

Работоспособность системы, а также удобство обслуживания во многом определяются выбором конструкции и способом монтажа.

Блочная конструкция систем сложнее, чем конструкция с использованием общего монтажа, но она обладает рядом достоинств: позволяет применять различные функциональные узлы системы на стандартных логических элементах и тем самым стандартизировать производство аппаратуры; при наличии стандартных функциональных блоков (шифраторов, дешифраторов, распределителей и т. д.) позволяет упростить и удешевить производство аппаратуры; обеспечивает возможность быстрой замены поврежденных блоков.

Для контактных систем сигнализации пульт управления и сигнальное табло выносятся в отдельное (диспетчерское) помещение, что исключает возможность влияния шума на оператора при работе аппаратуры, улучшает условия эксплуатации.

Завершающий этап проектирования заключается в оценке надежности разработанной системы или устройства, которая производится путем анализа надежности схемных решений и анализа системы с точки зрения обеспечения работоспособности ее в конкретных условиях.

Сметно-финансовые расчеты позволяют определить стоимость конструкторской разработки, стоимость изготовления системы, а также затраты на ее внедрение и эксплуатацию.

В заключение следует отметить некоторые общие тактико-технические требования, предъявляемые к системам пожарной телесигнализации.

1. Системы должны с высокой достоверностью обеспечивать прием сигналов о состоянии контролируемых объектов.

2. На табло приемного пульта диспетчерского пункта должна различаться следующая информация:

«норма» — когда датчик на объекте находится в дежурном режиме и в исправном состоянии;

«тревога» — датчик сработал при возникновении пожара на объекте.

«повреждение» — линия связи вышла из строя, либо в канале связи другая неисправность.

3. Прием сигнала «тревога» должен сопровождаться звуковым оповещением и оптической индикацией на табло.

4. Принятая пультом информация должна регистрироваться с отметкой времени ее приема.

5. Сброс информации на приемном пульте может быть ручным или автоматическим, групповым или индивидуальным.

Кроме перечисленных требований, системы сигнализации должны отвечать заданным количественным показателям надежности работы в конкретных условиях.

Надежность систем сигнализации в значительной мере можно повысить за счет использования при конструировании высоконадежных бесконтактных элементов с минимальным количеством электромагнитных реле, кинематических узлов, механических контактов переключения. Все элементы системы должны работать в облегченном режиме.

### § 7.10. Пункты централизованного наблюдения

Пункты централизованного наблюдения (ПЦН) предназначены для телемеханического контролирования охраняемых объектов, рассредоточенных в пределах промышленных предприятий, административных районов и городов.

На ПЦН сосредотачиваются приемно-контрольные пульта телемеханических систем сигнализации, обслуживаемые инженерно-техническим и диспетчерским персоналом. В пожарной и охранной сигнализации наибольшее распространение получают телемеханические системы с использованием телефонных сетей в качестве линий связи.

Диспетчерский персонал на ПЦН выполняет следующие основные операции:

- взятие объектов под централизованный контроль (дистанционное переключение с пульта абонентских линий АТС с режима обычной телефонной связи на режим охраны) с соответствующей регистрацией этой операции;

- наблюдение за световой и звуковой сигнализациями, периодическая проверка с пульта исправности отдельных узлов системы (режим охраны);

- регистрация информации с охраняемых объектов и передача соответствующих сообщений оперативным группам;

- снятие охраняемых объектов с централизованного контроля, заключающееся в дистанционном переключении с пульта абонентских линий АТС с режима охраны на режим обычной телефонной связи с соответствующей регистрацией этой операции.

Для успешного выполнения задач по обслуживанию ПЦН необходимо, чтобы помещение для ПЦН соответствовало санитарно-гигиеническим нормам и позволяло рационально разместить в нем оборудование, рабочие места и места вспомогательного назначения.

Помещения ПЦН делятся на помещения производственного назначения и помещения вспомогательного назначения.

Помещения производственного назначения включают в себя три изолированные комнаты: операторскую, аппаратную и технического персонала.

Помещения вспомогательного назначения состоят из комнаты отдыха, прихожей и санузла.

В помещении операторской постоянно находятся операторы. Кроме того, в операторской размещаются приемный пульт системы сигнализации, световое табло, аппаратура связи (коммутатор диспетчерской связи, радиостанции, телефонные аппараты местной и городской сети), а также аппаратура магнитной звукозаписи и светоплан города. Остальное оборудование (распределительные устройства, источники питания, шкафы и др.) выносятся в отдельное помещение, называемое аппаратной.

Рабочие места технического персонала размещаются в отдельной комнате, где производится ремонт аппаратуры, хранится контрольно-измерительная аппаратура, инструменты, запасные части и техническая документация.

**Общие требования к помещениям производственного назначения.** Пункты централизованного наблюдения имеют много общего с диспетчерскими пунктами производственно-технологических систем телеконтроля и сигнализации. Для этих пунктов помещения должны быть сухими и хорошо вентилируемыми. Высота помещений должна составлять не менее 2,5 м. Площадь и объем помещений рассчитываются по санитарной норме (4,5 — 15 м<sup>3</sup> на одного работающего с учетом размещаемого оборудования и инвентаря). Для укладки кабелей связи в полу предусматриваются деревянные подпольные желоба. Освещение должно быть естественным и искусственным. Отношение световой площади окон к площади пола должно составлять не менее 1 : 4.

Искусственное освещение осуществляется с помощью электрических ламп накаливания или люминесцентными лампами с рассеивающей арматурой. Освещенность пульта оператора должна составлять не менее 200 лк.

Учитывая характер деятельности оператора в течение рабочей смены, требующей большой сосредоточенности и постоянной готовности к выполнению необходимых действий, главная задача цветового оформления (вместе с освещением) должна заключаться в создании высокого уровня зрительного комфорта.

При цветовом решении интерьеров операторской необходимо учитывать специфические особенности конкретного помещения: климатические условия, ориентированность помещения и степень его естественной освещенности, характер искусственного освещения, величину и форму помещения.

Общие рекомендации при цветовом решении интерьеров заключаются в следующем:

в помещении с недостаточной освещенностью следует использовать как можно более светлые цвета;

при отсутствии или недостаточном количестве солнечных лучей рекомендуется использовать цвета с теплым желтоватым оттенком;

в помещениях с избытком солнечного освещения или с повышенной температурой должна преобладать холодная гамма голубых и белых цветов;

в тесных помещениях с низким потолком следует использовать более светлые цвета.

Помещение операторской должно быть оборудовано соответствующей звукоизоляцией, обеспечивающей предельно допустимый уровень шума (не выше 40—50 дб).

Снижение уровня шумов достигается, в частности, размещением наружных окон в сторону тихих дворов, переулков, устройством двойных дверей с обивкой их войлоком или другим звукопоглощающим материалом. В качестве звукопоглощающего материала успешно могут применяться специальные акустические плиты на минераловатной основе, а также акустические перфорированные плиты с минераловатым наполнителем.

Рабочее место оператора должно обеспечивать допустимый угол обзора по горизонтали 90° и по вертикали 70°. Рабочая площадь стола для записей должна быть не менее 400×600 мм.

Минимальная высота пространства от отметки пола до нижней поверхности стола должна составлять 630 мм, ширина зоны — 500 мм и глубина — 450 мм.

В столе должно быть несколько выдвижных ящиков для хранения документации. На каждый охраняемый объект целесообразно иметь индивидуальную карточку из плотной бумаги или картона. В карточке должно быть отражено название и адрес объекта, номер телефона, фамилия ответственного за объект, тип установленной аппаратуры, отметки о профилактических осмотрах.

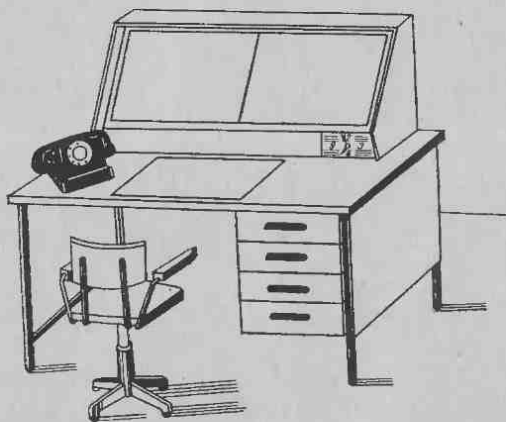


Рис. 7.24. Рабочее место оператора

На рис. 7.24 изображено оснащение рабочего места оператора, которое может быть рекомендовано для диспетчерских пунктов пожарной охраны.

## Глава 8

### ЭКСПЛУАТАЦИЯ СИСТЕМ СИГНАЛИЗАЦИИ

---

#### § 8.1. Факторы, влияющие на надежность систем сигнализации при эксплуатации

На надежность электро- и радиоэлектронной аппаратуры при эксплуатации влияют два типа факторов: субъективные и объективные.

*Субъективные факторы* в основном возникают в процессе деятельности человека, начиная с проектирования и кончая организацией обслуживания аппаратуры.

*К объективным факторам* относятся различные неблагоприятные для работы аппаратуры влияния внешней среды, связанные с климатическими, метеорологическими, биологическими, механическими и другими воздействиями. Наиболее опасно периодическое изменение параметров окружающей среды.

Рассмотрим влияние отдельных факторов на электро- и радиоэлектронные системы сигнализации.

**Низкая температура** вызывает изменение свойств многих видов изоляционных материалов. Пластмассы теряют прочность, а резиновые изделия — эластичность, возникают трещины. Влага, заполняющая поры, капилляры и зазоры материала, замерзает и, расширяясь, разрывает его, в результате электрическая прочность материала снижается.

Под влиянием низкой температуры в герметизированных элементах и изделиях (конденсаторах, сопротивлениях и т. д.) происходит усадка пропиточного материала, вызывающая пробой; смазка в подшипниках, редукторах и других вращающихся механических узлах густеет. При низкой температуре в местах токосъемов электромашин наступает обледенение, вызывающее пробой изоляции и потери энергии, ухудшается качество паек.

При **повышенной температуре** органические материалы склонны к распаду. Нагрев обмоток электродвигателей, трансформаторов и дросселей ограничивает величину допустимой нагрузки. От циклического изменения температуры изменяются размеры обмоток и происходит их смещение, вызывающее межвитковое замыкание; параметры полупроводниковых элементов ухудшаются.

**Повышенная влажность** способствует образованию проводящих и полупроводящих цепей, повышающих проводимость диэлектриков, что приводит к снижению чувствительности приемных устройств, мощности и к. п. д. передающих устройств, ухудшению условий передачи высокочастотной энергии по каналу связи, изменению частоты передающих устройств, нарушению режимов работы радиосхем.

Повышенная влажность снижает поверхностные сопротивления конденсаторов, сопротивлений, ухудшает добротность катушек индуктивности, увеличивает паразитные емкости. В негерметизированных трансформаторах и дросселях влага уменьшает сопротивление изоляции, способствует возникновению электролитического процесса между витками, находящимися под разностью потенциалов. При этом медь провода проникает в изоляцию и разрушает ее.

Необратимое изменение величины сопротивлений может быть вызвано в тонкослойных высокоомных сопротивлениях типа ВС, МЛТ периодическим набуханием лакового покрытия и частичным срывом проводящего слоя от основания. В переменных сопротивлениях влага ухудшает подвижной контакт. Отрицательно сказывается влажность на электромеханических элементах коммутации (реле, шаговые искатели, переключатели, разъединители, разъемы и т. д.).

Наружные элементы и устройства систем сигнализации, в первую очередь линии связи, находящиеся под воздействием льда и снега, претерпевают механические повреждения. Нарушение согласований снижает излучаемую мощность передатчика, ухудшает условия приема сигналов.

На надежности и на долговечности аппаратуры отрицательно сказывается **влияние солнечной радиации**, состоящей из тепловых и ультрафиолетовых лучей. Ультрафиолетовые лучи вызывают окисление материалов органического происхождения, изменение их свойств, разрушение лакокрасочных покрытий. Они служат катализатором реакции окисления полярных диэлектриков (полиэтилена, полистирола и т. д.), а также катализатором реакции разложения полимеров, содержащих хлор, фтор и т. п. Под действием солнечного света сокращается срок службы брезентовых сумок и чехлов, силовых и высокочастотных кабелей.

**Основным биологическим фактором** является образование плесени на поверхности деталей и элементов аппаратуры, приводящее к нарушению контактов, возникновению замыканий и пробоев, снижению электросопротивлений изоляции. Благоприятными условиями для образования плесени является сочетание влажности 75% и температуры 30° С.

С воздействием других биологических факторов в практике эксплуатации приходится встречаться реже.

Кроме перечисленных факторов, в процессе обслуживания аппаратуры наблюдаются удары и вибрации, а также изнашивание и старение деталей.

**Удары и вибрации** приводят к повреждению электровакуумных приборов, обрывам монтажных проводов, ослаблению сварных винтовых и других соединений, деформации монтажа, смещению элементов, нарушению регулировки.

Процессы **изнашивания и старения**, присущие всем элементам систем, протекают непрерывно и ускоряются под совокупным воздействием внешней среды (тепла, влаги, света, электрических и магнитных полей). Степень воздействия перечисленных факторов на эксплуатируемую аппаратуру зависит от строгого выполнения обслуживающим персоналом всех установленных требований.

Технические условия на аппаратуру являются основным нормативно-техническим документом, полностью определяющим все основные характеристики этой аппаратуры и условия эксплуатации. Дополнительные уточняющие сведения по обслуживанию содержатся в инструкции по эксплуатации данной аппаратуры.

Аппаратура пожарной сигнализации относится к системам длительного и непрерывного функционирования, в которых возникают отказы, обусловленные явлениями старения элементов. Наиболее приемлемой структурой профилактического обслуживания указанной аппаратуры является профилактика по регламентным срокам. В отдельных условиях эксплуатации применяется комбинированная структура обслуживания. При этом для некоторой части оборудования профилактические работы предполагается проводить через определенное число часов, а для другой части через определенные календарные сроки. В целом же организация проведения профилактических работ определяется конструктивно-техническими особенностями аппаратуры и условиями ее применения.

После выбора структуры профилактического обслуживания необходимо определить оптимальные характеристики (периодичность и длительность проведения различных профилактических работ) и составить план-график проведения основных мероприятий, обеспечивающих заданную надежность аппаратуры в пределах допустимых экономических затрат.

В профилактическом обслуживании очень важно правильно определить контролируемые параметры и допустимые пределы их изменения. Как правило, к контролируемым параметрам относятся основные выходные параметры систем, а также параметры, позволяющие косвенно оценивать работоспособность систем. Необходимо стремиться к определению минимально необходимого количества контролируемых параметров.

Для удобства определения контролируемых параметров аппаратуру пожарной сигнализации следует условно разделить на отдельные функциональные узлы: датчики, преобразователи, усилители, генераторы, индикаторы, исполнительные устройства сигнализации, антенные устройства, устройства питания и др.

В связи с тем, что при выполнении операций контроля не всегда удается осуществить всестороннюю проверку всех параметров,



следует проверить основные параметры, которые определяют работоспособность аппаратуры.

Наиболее рациональным методом контроля для аппаратуры пожарной сигнализации является инструментальный метод с применением серийных электро- и радиоизмерительных приборов. Иногда целесообразно использовать специальные приспособления и устройства, позволяющие сократить время на выполнение конкретных операций.

## § 8.2. Некоторые сведения о критериях технического обслуживания

Полученная для эксплуатации система пожарной сигнализации должна сопровождаться технической документацией, содержащей исчерпывающие сведения о принципах действия системы и правилах ее эксплуатации. К такой документации относятся: техническое описание со всеми принципиальными схемами, инструкция по эксплуатации, формуляр, куда заносятся все сведения в процессе эксплуатации, инструкция по работе с системой дежурного диспетчерского персонала, а также указания о профилактическом обслуживании.

Системы пожарной сигнализации, как правило, предназначенные для длительного использования, после отказов восстанавливаются и продолжают функционировать. Процесс восстановления заключается в обнаружении и устранении отказа. Как показывает опыт, основную долю времени занимает обнаружение неисправности (до 80%). Длительность восстановления зависит от уровня технической подготовки обслуживающего персонала и наличия у него производственного опыта. Если за определенный период эксплуатации аппаратуры произошло  $n$  отказов, то, просуммировав промежутки времени  $\tau_i$ , затраченного на обнаружение и устранение отказов, и разделив сумму на число восстановлений, равное числу отказов, получим величину среднего времени восстановления  $T_v$  [45]:

$$T_v = \frac{\sum_{i=1}^n \tau_i}{n}. \quad (8.1)$$

показывающую, сколько в среднем затрачивается времени на обнаружение и устранение одного отказа, а также характеризующую ремонтпригодность аппаратуры при заданных условиях обслуживания.

В связи с тем, что время обслуживания одного устройства (системы) является величиной случайной, зависящей от технического состояния к моменту проверки, характера требуемых регулировок и настроек и от других причин, процесс технического обслуживания можно отнести к случайным процессам. Вероятностными критериями количественной оценки процесса технического обслуживания

могут являться вероятностью технического обслуживания и среднее время обслуживания.

Под вероятностью технического обслуживания системы понимается вероятность того, что случайное время обслуживания будет меньше заданного времени [45]:

$$R(t) = P(t_{T.O.} \leq t). \quad (8.2)$$

Следовательно,  $R(t)$  как функция времени представляет собой интегральный закон распределения времени обслуживания.

Под средним временем обслуживания  $T_{T.O.}$  понимают математическое ожидание времени технического обслуживания. Статистически оно определяется как отношение суммарного времени  $t_{T.O.i}$ , затраченного на обслуживание всех однотипных систем, к числу обслуженных систем  $M$  [45]:

$$T_{T.O.} = \frac{\sum_{i=1}^M t_{T.O.i}}{M}. \quad (8.3)$$

Величина  $T_{T.O.}$  показывает, сколько в среднем затрачивается времени на обслуживание одной системы данного типа.

Оценка отдельных эксплуатационных свойств аппаратуры выражается с помощью коэффициентов, показывающих относительную величину оцениваемых показателей.

Коэффициентом использования  $K_n$  называется отношение суммарного времени исправной работы системы к общему времени работы и вынужденных простоев за один и тот же календарный срок [45]:

$$K_n = \frac{\sum_{i=1}^n t_i}{\sum_{i=1}^n t_i + \sum_{i=1}^n t_{ni}}, \quad (8.4)$$

где  $t_i$  — время исправной работы между  $(i-1)$ -й и  $i$ -й остановкой;

$t_{ni}$  — время вынужденного простоя после  $i$ -й остановки;

$n$  — число перерывов в работе за выбранный календарный срок, включая отказы и остановки для проведения профилактики.

В общем случае в суммарное время вынужденного простоя включается время на обнаружение и устранение отказов, регулировку и настройку аппаратуры, время простоев из-за отсутствия запасных элементов и затраты времени на проведение профилактических (регламентных) работ. Время нахождения аппаратуры в резерве и на хранении не учитывается.

Коэффициент готовности  $K_r$  представляет собой отношение суммарного времени исправной работы к общему времени исправ-

ной работы и времени восстановления, взятых за один и тот же период эксплуатации [45]:

$$K_r = \frac{\sum_{i=1}^n t_i}{\sum_{i=1}^n t_i + \sum_{i=1}^n \tau_i}, \quad (8.5)$$

где  $\tau_i$  — время восстановления  $i$ -го отказа;

$n$  — число отказов за рассматриваемый период.

Коэффициент готовности характеризует готовность аппаратуры к нормальному функционированию и зависит как от наработки на отказ, так и от времени восстановления аппаратуры.

Расход времени на различные непроизводительные затраты характеризуется коэффициентом простоя  $K_n$ , показывающим отношение суммарного времени вынужденных простоев к общему времени исправной работы и вынужденных простоев за один и тот же период эксплуатации [45]:

$$K_n = \frac{\sum_{i=1}^n t_{ni}}{\sum_{i=1}^n t_{ni} + \sum_{i=1}^n t_i}. \quad (8.6)$$

Время хранения и нахождения аппаратуры в резерве в суммарное время простоя не входит.

Коэффициент простоя и коэффициент использования связаны между собой очевидным соотношением:

$$K_n = 1 - K_u. \quad (8.7)$$

Иногда коэффициент простоя называют коэффициентом ремонтно-пригодности и определяют в этом случае как отношение суммарного времени восстановления к общему времени работы и восстановления, взятыми за один и тот же период эксплуатации [45]:

$$K_n = \frac{\sum_{i=1}^n \tau_i}{\sum_{i=1}^n \tau_i + \sum_{i=1}^n t_i}. \quad (8.8)$$

При этом коэффициенты  $K_u$  и  $K_r$  связаны соотношением:

$$K_u = 1 - K_r. \quad (8.9)$$

Коэффициент простоя характеризует относительные затраты времени на профилактику и позволяет определить норму профилактики.

Важным показателем в обслуживании аппаратуры является стоимость эксплуатации, показывающая расход средств на поддержание ее в состоянии нормального функционирования. Оценка этих затрат характеризуется коэффициентом стоимости эксплуатации

$K_{с.э}$ , выражающим отношение стоимости эксплуатации аппаратуры  $C_1$  в течение одного года к стоимости изготовления аппаратуры  $C_0$ :

$$K_{с.э} = \frac{C_1}{C_0}. \quad (8.10)$$

В стоимость эксплуатации  $C_1$  входят затраты на запасные детали, ремонт, содержание ремонтного персонала и другие эксплуатационные расходы.

В последние годы в связи с функциональным усложнением аппаратуры стоимость эксплуатации ее достаточно велика.

Количественные показатели рассмотренных критериев позволяют делать расчеты оптимальных вариантов структур по организации эксплуатации систем сигнализации с учетом конкретных условий и особенностей охраняемых объектов.

### § 8.3. Принципы создания устройств и систем совмещенной пожарно-охранной сигнализации

Совмещение функций пожарной и охранной сигнализации в общих схемных структурах может быть осуществлено в первичных устройствах обнаружения (извещателях и датчиках), в объектовых приемно-контрольных приборах и в телемеханических системах сигнализации.

Рассмотренные в § 6.5 и 6.7 устройства обнаружения пожара на принципе активной локации, в частности, с применением фотооптического луча и ультразвукового поля относятся к первичным устройствам совмещенной пожарно-охранной сигнализации.

Задымленность помещения при пожаре снижает оптическую прозрачность воздуха, в результате чего мощность облучения фотоприемника уменьшается до такого уровня, когда срабатывает приемное устройство. Равноценное уменьшение сигнала происходит при перекрытии этого луча человеком. В данном случае реализуется общий амплитудный признак принимаемого сигнала, функционально связанного с помощью излучения оптического луча, прошедшего заданное расстояние контролируемой среды.

Возникновение конвективных тепловых потоков пламени при пожаре вызывает локальное возмущение высокочастотного ультразвукового поля, заполняющего данное помещение, в результате чего на приемном преобразователе появляется сигнал, промодулированный низкой частотой (4—80 гц). Передвижение человека в этой среде также вызывает появление низкочастотных сигналов, близких по спектру к сигналам от пожара, в связи с чем в приемнике возможно формирование равнозначного совмещенного сигнала тревоги. Таким образом, применение указанных устройств обнаружения во многих случаях позволяет выполнять одновременно функции пожарной и охранной сигнализаций.

В объектовых приемно-контрольных приборах совмещение функций пожарной и охранной сигнализации осуществляется путем последовательного включения пожарных извещателей и охран-

ных датчиков  $ДП_2$ ,  $ДП_3$  и  $ДО_2$ ,  $ДО_3$  (рис. 8.1) нормально закрытыми контактами или путем параллельного включения ( $ДП_1$ ,  $ДО_1$ ) нормально открытыми контактами в один и тот же шлейф приемно-контрольного прибора.

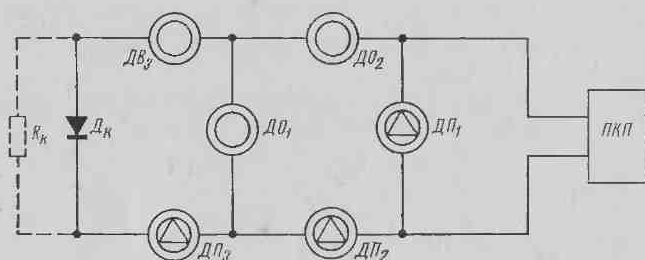


Рис. 8.1. Схема совмещенного включения пожарных извещателей и охранных датчиков в один шлейф

При срабатывании одного из извещателей или датчиков цепь шлейфа разрывается, в результате чего выдается общий сигнал тревоги приемно-контрольным прибором ( $ПКП$ ).

В зависимости от типа  $ПКП$  в конце шлейфа включается контрольный диод  $D_k$  или контрольное сопротивление  $R_k$ , определяющие режим прибора в нормальных условиях.

В ряде случаев тактика применения пожарной сигнализации может отличаться от тактики применения охранной сигнализации. Так, на одном и том же объекте пожарная сигнализация должна функционировать круглосуточно, а охранная сигнализация включается только на время отсутствия обслуживающего персонала. В этом случае применяются два отдельных шлейфа с соответствующей коммутацией их на приемно-контрольном приборе с помощью выключателя  $B$  (рис. 8.2). При выключенном положении

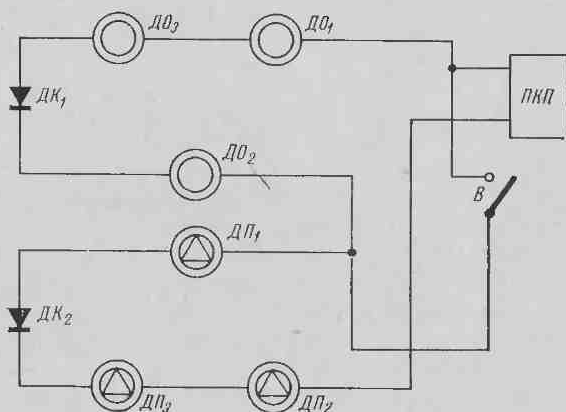


Рис. 8.2. Схема совмещенного включения пожарных извещателей и охранных датчиков в два шлейфа

выключателя В оба шлейфа включены между собой последовательно на приемно-контрольный прибор, при включенном положении — шлейф охранных датчиков закорачивается и на вход ПКП включается только шлейф пожарных извещателей.

Приемно-контрольный прибор может осуществлять местную сигнализацию (на объекте), а также быть включен в телемеханическую систему сигнализации путем подсоединения его выходных контактов к линии связи системы.

В седьмой главе рассматривались различные варианты построения телемеханических систем сигнализации, подключение извещателей и датчиков к которым выполняется с помощью оконечных устройств, обеспечивающих создание многозначной информации.

При эксплуатации устройств и систем совмещенной пожарно-охранной сигнализации вероятность появления ложной информации повышается. Поэтому совмещенные системы без разделения сигналов от пожарных извещателей и охранных датчиков мало пригодны для реализации их в комплексе с автоматическими средствами пожаротушения.

Современные телемеханические системы сигнализации позволяют осуществить разделение сигналов от разнотипных пожарно-охранных преобразователей как на объекте, так и на диспетчерском пункте. На центральном пульте возможен независимый выход сигналов на другие звенья коммутации пожарно-охранного комплекса.

Функции разделения разнотипных сигналов на объекте и их кодирование выполняют оконечные устройства телемеханических систем. Декодирование принятой информации с объектов диспетчерским пультом осуществляется приемным устройством.

#### **§ 8.4. Общая оценка эффективности проекта пожарной сигнализации**

Оснащение охраняемых объектов средствами противопожарной автоматики осуществляется, как правило, на основании типовых, индивидуальных или специального назначения проектов.

Типовые проекты распространяются на группу объектов, родственных по основным характеристикам, определяющихся в первую очередь своим назначением, содержимыми материальными ценностями и категорией пожарной опасности.

Условно можно выделить три группы объектов: коммунально-бытового, общественно-административного и промышленно-производственного назначения.

Индивидуальные проекты разрабатываются на отдельные конкретные объекты, имеющие индивидуальные характеристики и особенности, когда типовой проект не может решить все задачи, и необходимо провести дополнительные изыскательские работы.

Проекты специального назначения разрабатываются по конкретному заданию для объектов, имеющих уникальную техноло-

гию производства, под специально разработанную аппаратуру пожарной автоматики.

Главной задачей проекта пожарной сигнализации является создание схемы, удовлетворяющей определенному комплексу тактико-технических требований при минимуме аппаратурных и других затрат.

Эффективность проекта складывается из оптимального выбора типов и количества пожарных извещателей, телемеханических систем сигнализации, структуры линий связи, определения рациональности применения автоматических средств тушения, а также из эффективности выбранной аппаратуры. Важным вопросом при разработке проекта является обеспечение надежным и бесперебойным электропитанием отдельных устройств и всего комплекса автоматики.

Выбор типов пожарных извещателей должен осуществляться на основе тщательного обследования подлежащих оснащению объектов, изучения их характеристик функционирования, определения наиболее вероятных причин возникновения пожара и условий его развития.

Конфигурация охраняемого помещения, качественный объем заполнения его, наличие вентиляции, сквозняков и другие особенности определяют пространственное распределение конвективных, радиационных и дымовых полей пожара. В связи с этим на эффективности проекта пожарной сигнализации сказывается и оптимальное размещение извещателей в конкретных помещениях.

При выборе телемеханических систем сигнализации и структуры линий связи необходимо учитывать требования (предъявляемые к обеспечению передачи заданного объема информации из одного объекта) к обеспечению надежности и достоверности передачи сообщений, требования по автоматизированию процессов обслуживания, кроме того, следует учитывать возможность использования существующих линий связи.

В последнее время в пожарной охране широкое применение находят комплексные проекты пожарной автоматики, включающие сигнализацию, связь и средства автоматического тушения. Целесообразность применения автоматических средств тушения должна обосновываться в расчетно-пояснительной записке проекта как с технических, так и с экономических позиций.

Во многих случаях информация о пожаре, полученная на ранней стадии его возникновения, позволяет своевременно предпринять необходимые меры и успешно локализовать его. При использовании средств автоматического тушения необходимо создать такую схему проекта, которая бы исключила появление ложной информации.

В проекте должно быть предусмотрено обеспечение средств сигнализации, связи и оперативной автоматики надежным и бесперебойным электропитанием.

При выборе помещения для диспетчерского пункта необходимо учитывать наличие резервных фидеров промышленного электропитания. Кроме того, проект должен предусматривать резервное (аварийное) электропитание от аккумуляторных батарей.

Обеспечение постоянной готовности аккумуляторов к работе достигается посредством зарядно-разрядных щитов, оснащенных необходимой контрольно-измерительной аппаратурой.

Проектом должны быть предусмотрены такие размещения и установка основной и вспомогательной аппаратуры, а также проложение линейных коммуникаций связи, которые бы соответствовали существующим правилам техники электробезопасности их обслуживания.

При оценке эффективности систем сигнализации следует учитывать то обстоятельство, что в простых по своему функциональному построению системах пожарной сигнализации отказ какого-либо элемента приводит к полному прекращению функционирования или совсем не влияет на работоспособность данной системы. Поэтому качественной оценкой таких систем является однозначность понятия рабочего или нерабочего состояния системы в данный период времени.

В более сложных системах, характеризующихся многообразием внутренних функциональных связей, выход из строя одного или нескольких элементов не приводит к отказу всей системы, а лишь снижает качественную сторону функционирования или ограничивает объем выполнения функций данной системой. К такого рода системам могут относиться телемеханические системы пожарной сигнализации с уплотнением каналов связи, где, например, ухудшение параметров линий связи может привести к сокращению объема информации, передаваемой с охраняемых объектов. В приемно-передающей аппаратуре ухудшение характеристик полупроводниковых элементов приводит к уменьшению дальности связи.

Для сложных систем сигнализации необходимо установить такой критерий оценки работоспособности, который бы количественно характеризовал качество и степень целесообразности применения данной системы. Таким показателем может служить эффективность функционирования самой системы. Критерием эффективности сложной системы может служить некоторая мера, количественно оценивающая качество выполняемых этой системой функций.

Эффективность сложной системы изменяется с изменением условий, в которых она функционирует. Система, наиболее эффективная в одних условиях с заданным объектом задач, может стать малозффективной в других условиях при решении новых задач, не претерпевая при этом никаких функциональных изменений. Поэтому целесообразно рассматривать не эффективность сложной системы вообще, а ее эффективность при выполнении определенных задач в заданных условиях. Такой метод оценки эффективности учитывает внутренние свойства самой системы и качества ее функционирования при решении поставленных конкретных задач, т. е. в



основу положен выходной эффект работы системы в реальных условиях. Это позволяет сравнивать функционирование сложных систем, принципиально различных по структуре и принципу действия.

В особенно ответственных проектах (чаще всего в проектах специального назначения) предусматривается резервирование извещателей по общему или же по отдельному каналу связи.

Если при обследовании условий технологии производства установлено, что возникновение и развитие пожара при одних обстоятельствах возможно с обильным выделением тепла, а при других равновероятных обстоятельствах — с выделением продуктов горения, то на одной и той же площади необходимо предусматривать тепловой извещатель и извещатель продуктов горения.

При реализации комплекса противопожарной автоматики с применением средств автоматического тушения пожара необходимо иметь высокую достоверность и однозначность информации из охраняемого объекта, так как в противном случае возможен материальный ущерб в результате включения средств автоматического тушения ложными сигналами.

Причиной ложной информации могут быть сбои нормального функционирования в устройстве обнаружения пожара (извещателе) и в системе передачи информации. Наиболее уязвимым звеном является извещатель. Устранение причин ложной информации в проекте может решаться двумя способами: применением высоконадежных извещателей или включением нескольких извещателей в такую схему, в которой результирующий выходной сигнал функционально зависит от сигналов по меньшей мере двух или нескольких извещателей, размещенных в общей зоне равновероятного возникновения пожара. Так как появление ложной информации в некоторой мере зависит и от субъективных причин, возникающих при обслуживании комплекса пожарной автоматики техническим персоналом, то применение логической схемы включения нескольких извещателей является более целесообразным. При реализации указанного способа можно использовать логическую схему «И», обеспечивающую наличие полезного сигнала только при условии срабатывания двух или более извещателей, включенных на общий вход данной схемы.

В проекте совмещенной пожарно-охранной сигнализации должны применяться такие телемеханические системы, которые бы позволили принимать сигналы раздельно от пожарных извещателей и охранных датчиков. Только в отдельных случаях допускается прием общего сигнала из охраняемого объекта.

#### **§ 8.5. К методике обследования оборудованных пожарной сигнализацией объектов при приеме ее в эксплуатацию**

Обследование оборудованных пожарной сигнализацией объектов при приеме ее в эксплуатацию, как правило, производится пу-

тем проверки соответствия выполненных работ проекту и требованиям технических условий на монтаж. Обследование производится комиссией, состоящей из представителей заказчика, Госпожнадзора и монтажной организации.

Организация, выполнившая работы (монтажная организация), представляет комиссии следующие документы:

а) акт обследования объекта, определяющий перечень и условия оборудования объекта пожарной или пожарно-охранной сигнализацией;

б) проектную документацию;

в) паспорта приборов и оборудования, смонтированных на объекте;

г) акт на скрытые работы, содержащий схемы соединений скрытых проводов.

Путем внешнего осмотра проверяются линии связи, извещатели, распределительные коробки, приемно-контрольные пульты, источники основного и резервного питания.

Линии связи располагаются с учетом допустимых влияний на них других электрических сетей и должны быть защищены от механических повреждений. Чаще всего линии связи выполняются скрытой проводкой или в трубах.

Трубы следует прокладывать таким образом, чтобы в них не могла скапливаться вода в результате конденсации при колебаниях окружающей температуры и влажности. В помещениях с наличием высокой влажности, загазованности и распыленных маслообразных эмульсий трубы должны соединяться при помощи муфт с резьбой и с уплотнением мест соединений, а также ответвлений, размещенных в специальных нишах и коробках.

В стационарных системах пожарной сигнализации не рекомендуется применять воздушные линии связи. Периодически измеряется величина активного сопротивления и сопротивления утечки линий связи.

Извещатели не должны быть закрыты оборудованием, стеллажами и другими предметами, препятствующими свободному доступу к энергетическим компонентам пожара: газа, дыма, тепла, света.

Тепловые извещатели максимального действия должны быть настроены на температуру срабатывания, превышающую температуру окружающей среды на 20°С.

При установке тепловых извещателей дифференциального действия в нормальных условиях не должно быть резкого повышения температуры окружающей среды.

Тепловые извещатели устанавливаются в местах наиболее вероятного повышения температуры при пожаре.

Нельзя устанавливать тепловые извещатели вблизи активных нагревательных приборов, а также вблизи вентиляционных люков и теплоемких предметов.

Пожарные извещатели продуктов горения должны размещаться в местах, где возможно образование больших концентраций газов, дымов. При этом надо учитывать влияние на распределение концентраций продуктов горения вентиляционных систем и конфигурации помещения.

Дымовые радионуклидные извещатели нельзя устанавливать в помещениях, имеющих радиоактивное излучение и сильные электромагнитные поля. Дымовые извещатели не рекомендуется устанавливать и в запыленных или загазованных местах.

Все извещатели, работающие на фотооптических принципах, должны устанавливаться в местах, где фоновая засветка от промышленных источников излучения и солнца не превышает допустимые по техническим условиям на них значения. Одни и те же источники фонового излучения на разные извещатели могут влиять по-разному в связи с их специальной избирательностью.

При обследовании объектов, где установлены ультразвуковые извещатели, следует обратить внимание главным образом на наличие акустических помех в помещении и на вероятность их возникновения в течение эксплуатации. Источниками таких помех могут быть воздушные сквозняки через открытые или плохо закрытые окна, двери, люки и вентиляционные каналы. Кроме того, могут быть ложные срабатывания от звуковых и ударных эффектов промышленного происхождения, от транспорта и др. Степень влияния указанных помех может быть установлена методом опробирования конкретной аппаратуры на данном объекте.

При наличии в помещении отсеков, образованных размещением в нем оборудованием, извещатель необходимо устанавливать в каждом отсеке.

Нормальное функционирование и эффективность применения стационарных систем сигнализации во многом зависит от соблюдения правил их установки и монтажа.

Как правило, после окончания монтажных работ необходимо провести настройку и регулировку основных параметров в соответствии с указаниями технической документации.

Нормальное функционирование устанавливается в результате проведения испытаний, состоящих из проверки работы узлов системы путем выдачи и приема всех сигналов, определяющих основные параметры системы, оговоренных в технических условиях. Подвергается испытанию влияние изменений напряжения питающей сети на выходные параметры. Для телемеханических систем сигнализации проверяется влияние изменений параметров линии связи на достоверность передаваемой информации.

Достоверность срабатывания извещателей определяется имитацией входных параметров путем образования соответствующих энергетических компонентов пожара в зоне действия извещателя специальными генераторными устройствами, рекомендованными в инструкциях по эксплуатации извещателей.

Перечень параметров линий связи, подлежащих контрольным измерениям, зависит от функционального построения телемеханической системы сигнализации. Граничные (допустимые) значения этих параметров задаются в инструкции по эксплуатации на систему.

Постоянный контроль исправности линий связи осуществляется приемно-контрольным пультом телемеханической системы сигнализации путем выдачи сигнала «повреждение» (тревога) при обрыве или коротком замыкании.

На пункте централизованного наблюдения, где сосредоточены обслуживаемые приемно-контрольные пульта телемеханических систем сигнализации, должны быть стабильные основные и резервные источники электропитания. Помещение обслуживаемого пункта должно соответствовать всем требованиям § 7.10. Кроме того, при наличии аккумуляторных шкафов в помещении должен быть отдельный вентиляционный канал для естественной вентиляции.

Для обеспечения нормальной эксплуатации систем сигнализации на пункте централизованного наблюдения необходимо иметь соответствующий перечень контрольно-измерительной аппаратуры, нормативно-учетной и справочной документации.

В случае совмещенной пожарно-охранной сигнализации диспетчерский персонал пункта должен быть обеспечен необходимыми структурными схемами и инструкциями оперативных мероприятий по эффективной реализации тревожных сообщений.

Система пожарной сигнализации считается принятой в эксплуатацию, если установлено полное соответствие объема и качества выполненных работ проектной документации и правилам монтажа, а также подтверждено соответствие данных контрольных измерений основных параметров систем сигнализации ее паспортным данным.

---

## ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПРОЕКТНЫХ РЕШЕНИЙ ПОЖАРНОЙ И ПОЖАРНО-ОХРАННОЙ СИГНАЛИЗАЦИИ

---

### § 9.1. Формулировка задачи

Ежегодно на оснащение подразделений пожарной охраны поступает новая техника и средства предупредительной пожарной сигнализации. За последнее время все большее развитие получают системы автоматической пожарной сигнализации, которые позволяют в минимально короткие сроки давать сообщения о возникших пожарах, а также самостоятельно приводить в действие автоматические установки пожаротушения.

Внедрение связи и сигнализации в пожарной охране представляет собой сложную техническую и экономическую задачу.

Технико-экономическая оценка служит основанием для выбора определенного варианта системы пожарной связи и сигнализации. Методика оценки проектных решений выбирается в зависимости от характера разработки. Для этого предлагаемый вариант характеризуется определенными технико-экономическими показателями, которые анализируются путем сопоставления с такими же показателями других возможных вариантов или уже существующими устройствами аналогичного применения.

Технико-экономическая оценка должна свидетельствовать, с одной стороны, о соответствии проектного решения пожарной и пожарно-охранной сигнализации техническим требованиям и, с другой стороны, об экономической целесообразности. При выборе оптимального варианта пожарной связи и сигнализации необходимо сформулировать задачи, которые должны включать:

краткую технико-экономическую характеристику охраняемого объекта (вид производственной деятельности и основные показатели, объем производства, стоимость основных и оборотных фондов, площадь застройки, характеристика пожарной опасности производства). Это позволит определить целесообразность улучшения имеющейся связи и сигнализации или строительства новых систем, а также наметить тип пожарной связи и сигнализации;

характеристики существующих систем пожарной связи и сигнализации на объекте (ее тип, протяженность, количество защищаемых зданий или площадей, недостатки существующей пожарной связи и сигнализации);

данные о пожарах и убытках от них (стоимость уничтоженного огнем имущества и затраты на восстановление и ремонт зданий, сооружений и оборудования. Статистические данные берутся за ряд лет);

предлагаемые варианты пожарной связи и сигнализации (показать преимущества и эффективность предлагаемых систем. Лучший вариант определяется на основе сравнения ряда вариантов по техническим параметрам и экономической эффективности).

## § 9.2. Выбор эталона

Основной целью внедрения новых средств связи и сигнализации в пожарной охране является улучшение экономических показателей, направленных на сокращение убытков от пожаров. Поскольку современная техника позволяет в ряде случаев решать одинаковые задачи различными средствами, возникает необходимость выбора наиболее эффективных из них.

При определении сравнительной экономической эффективности новых решений в развитии связи и сигнализации в пожарной охране узловым вопросом является выбор эталона (базы) для сравнения.

В существующих методиках по определению экономической эффективности за эталон рекомендуется принимать показатели лучших внедренных или разработанных в проектах отечественных и зарубежных приборов и систем.

При оценке эффективности внедрения отдельных новых видов пожарной связи и сигнализации в расчетах годового экономического эффекта в качестве базы для сравнения принимается:

а) заменяемая техника, когда внедряется вместо нее новая, экономически более эффективная;

б) лучший серийный вариант или рекомендованный Государственной комиссией к серийному производству отечественный образец;

в) при отсутствии отечественного образца в качестве базисного варианта допускается принимать зарубежную технику;

г) при модернизации в качестве базисного варианта принимаются немодернизированные образцы;

д) при замене ручного труда экономический эффект определяется путем сравнения новых систем связи и сигнализации с ручным трудом.

Для сравнения выбираются такие варианты, которые удовлетворяют общим условиям развития техники и требованиям качественного сообщения и извещения о пожаре. Сравнимые варианты должны быть приведены в сопоставимый вид по всем признакам

(количество абонентов, обслуживаемая площадь, расстояние обслуживания, срок службы и т. д.), кроме признака, эффективность которого определяется.

### § 9.3. Основные и дополнительные показатели

Для расчетов экономической эффективности используются следующие основные показатели:

а) капитальные вложения  $K$ , которые представляют собой расходы на строительные-монтажные работы по оборудованию объектов новыми системами связи и сигнализации, а также на реконструкцию существующих. В смету этих расходов включаются затраты на приобретение приборов и систем, строительство (при необходимости) помещений и стоимость монтажных работ;

б) эксплуатационные расходы  $C$ , которые включают в себя затраты на обслуживание и ремонт систем связи и сигнализации;

в) требуемое количество систем связи и сигнализации  $A$ , которое определяется нуждами пожарной охраны в указанных системах.

На современном этапе очень важно проводить технико-экономический анализ обновляемой техники. Поэтому при выборе рациональной схемы проектируемой системы связи и сигнализации необходимо наряду с техническими характеристиками учитывать затраты, связанные с ее изготовлением и эксплуатацией. Экономические расчеты позволяют дать такую обобщенную оценку системам связи и сигнализации.

При определении экономической эффективности новых систем пожарной связи и сигнализации необходимо знать закономерности развития пожарной охраны, а также тех отраслей промышленности, которые изготавливают эти системы.

Как было сказано выше, все затраты, связанные с внедрением и эксплуатацией систем связи и сигнализации, сосредоточены в двух показателях: капитальных вложениях и эксплуатационных расходах.

Капитальные вложения в новую технику производятся лишь один раз до начала ее эксплуатации, а эксплуатационные расходы — в течение всего периода использования техники.

Убытки от пожаров участвуют в расчетах экономической эффективности самостоятельно, как дополнительный эффект.

Сметная стоимость капитальных вложений определяется исходя из отовых цен систем и приборов пожарной связи и сигнализации по соответствующим прейскурантам с включением транспортно-заготовительных расходов и стоимости строительные-монтажных работ, определяемых по соответствующим ценникам, сметным нормам, расценкам и т. п.

Наибольшую трудность при определении экономической эффективности новых систем связи и сигнализации представляет определение цены новой системы.

Формула определения оптовой цены  $C$  имеет вид:

$$C = C \left( 1 + \frac{P}{100} \right), \quad (9.1)$$

где  $C$  — себестоимость нового изделия;

$P$  — рентабельность в процентах к себестоимости.

Для упрощенного определения цены изделия можно пользоваться следующими способами:

а) при замене однотипных изделий учитывается разница в стоимости материалов и покупных комплектующих изделий;

б) по удельному весу (в стоимостном выражении) покупных комплектующих изделий в себестоимости.

Эксплуатационные расходы включают в себя затраты на заработную плату обслуживающего персонала и ремонтных рабочих, затраты на текущие, средние ремонты и техосмотры, амортизационные отчисления на капитальный ремонт и реновацию (полное восстановление стоимости).

Заработная плата обслуживающего персонала и ремонтных рабочих определяется, исходя из численности работников, их окладов или тарифных ставок и дополнительных видов заработной платы.

Заработная плата определяется по формуле:

а) для обслуживающего персонала

$$Z = P Z_0 \left( 1 + \frac{Z_d}{100} \right), \quad (9.2)$$

где  $P$  — численность отдельной должностной группы;

$Z_0$  — должностной оклад в год;

$Z_d$  — дополнительная заработная плата в процентах к окладу;

б) для рабочих-ремонтников

$$Z_1 = P_1 Z_r \left( 1 + \frac{Z_d}{100} \right), \quad (9.3)$$

где  $P_1$  — численность ремонтных рабочих определенного разряда,

$Z_r$  — часовая тарифная ставка определенного разряда;

$r$  — количество рабочих часов в году;

$Z_d$  — дополнительная зарплата в процентах к основной заработной плате.

Затраты на материалы рассчитываются, исходя из норм расхода материалов на проведение определенного вида ремонта и осмотра, их стоимости по прейскуранту с учетом транспортно-заготовительных расходов (которые принимаются 6—9%) и количества ремонтов.

Амортизационные отчисления на капитальный ремонт и реновацию рассчитываются, исходя из утвержденных норм амортизационных отчислений по основным фондам народного хозяйства СССР.

В нормах указаны как общие амортизационные отчисления, так и отдельно на капитальный ремонт и реновацию.



Так, в настоящее время для телефонных станций АТС всех систем общая норма амортизационных отчислений установлена 7,8%, в том числе на капитальный ремонт 5,3% и на реновацию 2,5%. Для телефонных станций ручного обслуживания общая норма 11,6%, в том числе на капитальный ремонт 5,8% и на реновацию 5,8% от балансовой стоимости.

Требуемое количество систем пожарной связи и сигнализации рассчитывается с целью определения объемов внедрения и общего экономического эффекта. Расчет производится на полное обеспечение органов пожарной охраны связью и сигнализацией.

При определении экономического эффекта в расчетах принимаются средние убытки от пожаров, которые находятся в прямой зависимости от времени сообщения о пожаре. Показатель убытков должен применяться при расчетах экономической эффективности на всю потребность пожарной охраны в системах связи и сигнализации.

Убытки от пожаров подсчитываются по статистическим данным за 3—5 лет с целью определения среднегодового убытка. При этом включаются убытки, причиненные пожарами объектам, на которых будут внедряться новые системы связи и сигнализации.

Расчет производится в следующем порядке:

1) путем отношения суммы убытков к числу пожаров по указанным объектам определяется средний убыток от одного пожара;

2) по статистическим данным принимается средняя продолжительность одного пожара в минутах;

3) среднее время сообщения о пожаре и удельный вес этого времени в общей продолжительности пожара определяется по статистическим данным;

4) определяется доля среднего убытка, приходящаяся на время сообщения о пожаре, путем умножения среднего убытка от одного пожара на удельный вес этого времени;

5) по актам испытаний новых систем связи и сигнализации определяется коэффициент их эффективности (отношение времени сообщения о пожаре по старым и новым системам);

6) путем отношения доли убытка, приходящейся на время сообщения, на коэффициент эффективности новой системы определяется средний убыток.

При одинаковом значении основных показателей в расчетах экономической эффективности при выборе того или иного варианта пожарной связи и сигнализации решающими являются дополнительные показатели. К числу таких показателей относятся: технический уровень системы, возможность применения в различных средах, материалоемкость, соответствие эстетическим требованиям, ремонтпригодность, надежность и др.

Рассмотрим подробнее вопрос о надежности систем пожарной и пожарно-охранной сигнализации.

Надежность — это сохранение системой в течение определенно-го времени и в определенных условиях эксплуатации способности

выполнять те или иные функции с достаточной точностью и быстро-  
той.

\* Поскольку на современном этапе научно-технической револю-  
ции техника становится все точнее и сложнее, то на поиск и устране-  
ние неисправностей уходит все больше времени, что затрудняет  
обеспечение высокой надежности систем. Поэтому проблема повы-  
шения надежности является не только технической, но и экономи-  
ческой задачей. Чем ниже надежность систем пожарной связи и  
сигнализации, тем, с одной стороны, выше затраты при эксплуата-  
ции (больше времени на ремонт, выше затраты на материалы), а, с  
с другой стороны, несвоевременное сообщение о пожаре ведет к  
увеличению убытков. Поэтому при расчетах экономической эффек-  
тивности показатель надежности проектируемых систем находит  
отражение в снижении убытков от пожара. Для этого определяется  
коэффициент повышения надежности  $K_{II}$  путем отношения тех-  
нических ресурсов работы или других показателей надежности  
проектируемых систем к эталону. Затем рассчитанная сумма убыт-  
ков по проектируемому варианту  $Y_2$  умножается на коэффициент  
надежности  $\left(Y_2 \frac{1}{K_{II}}\right)$ .

#### § 9.4. Сравнение вариантов и выбор оптимального решения

Определение экономической эффективности внедрения новой  
техники предполагает поиск путей выбора наиболее целесообраз-  
ных решений, а для этого необходимо правильно выбрать объект  
для сравнения. В качестве объектов для сравнения рекомендуется  
принимать лучшие из известных или спроектированных систем, а  
при отсутствии таковых сравнение производится с лучшими миро-  
выми образцами.

Часто сравнение ведется по образцам, выполненным на одном  
техническом принципе. Однако дело здесь не в единстве техниче-  
ского принципа, лежащего в основе конструкции, а в тех общест-  
венных потребностях, которые с помощью этой техники удовлетво-  
ряются. Новые системы надо сравнивать с такими, которые хотя и  
разработаны на иных принципах, но удовлетворяют те же потреб-  
ности.

В практике расчетов при сравнении вариантов встречаются сле-  
дующие случаи.

1. Затраты по сравниваемым вариантам характеризуются сле-  
дующими данными:

$$K_1 > K_2; \quad C_1 = C_2,$$

где  $K_1$  и  $K_2$  — капитальные вложения, руб.;

$C_1$  и  $C_2$  — эксплуатационные расходы, руб./год.

В данном случае второй вариант по сравнению с первым будет эффективнее за счет экономии на капитальных вложениях. Абсолютная экономия будет выражаться:

$$\partial_a = K_1 - K_2, \quad (9.4)$$

а относительная экономия составит:

$$\partial_0 = \frac{K_1 - K_2}{K_1} \cdot 100. \quad (9.5)$$

Здесь исчислять срок окупаемости не требуется, так как срок окупаемости относится к дополнительным капитальным вложениям, а в нашем случае новая техника дает экономию капитальных вложений.

2. В том случае, когда  $K_1 < K_2$ ;  $C_1 = C_2$ , второй вариант вообще неприемлем, так как дополнительные капитальные вложения в размере  $\Delta K = K_2 - K_1$  никогда не окупятся.

3.  $K_1 = K_2$ ;  $C_1 > C_2$ . Здесь второй вариант эффективнее первого, поскольку при равных капитальных вложениях у него ниже эксплуатационные расходы. В этом случае абсолютная экономия эксплуатационных расходов будет выражаться  $\partial_a = C_1 - C_2$ . Относительная экономия  $\partial_0 = \frac{C_1 - C_2}{C_1} \cdot 100$ .

4. Когда  $K_1 = K_2$ ;  $C_1 < C_2$ , второй вариант неприемлем, так как при равных капитальных вложениях эксплуатационные расходы больше.

5.  $K_1 > K_2$ ;  $C_1 > C_2$ . В этом случае эффективнее второй вариант и его эффективность будет характеризоваться экономией на капитальных вложениях и эксплуатационных расходах.

Если принять обратные значения в указанном случае, то второй вариант неприемлем, так как и капитальные вложения, и эксплуатационные расходы у него выше. Иногда приходится сопоставлять не абсолютные, а удельные показатели затрат, исчисленные на единицу продукции.

Допустим, что сравниваемые варианты характеризуются следующими данными  $K_1 < K_2$ ,  $C_1 < C_2$ ,  $A_1 < A_2$ . В данном случае второй вариант может быть экономичнее первого за счет большего объема продукции. Если имеются следующие неравенства.

$$\frac{K_1}{A_1} > \frac{K_2}{A_2} \text{ и } \frac{C_1}{A_1} > \frac{C_2}{A_2},$$

то эффективность того или иного варианта будет зависеть от удельных затрат и они будут соответствовать рассмотренным выше шести случаям.

В ряде случаев при одинаковом объеме производства или внедрения ( $A_1 = A_2$ ) и при одинаковых качественных характеристиках имеются следующие показатели:  $K_1 < K_2$ , а  $C_1 > C_2$ . Здесь качест-

## ОГЛАВЛЕНИЕ

	Стр.
Предисловие . . . . .	3
<b>Глава 1. Проводная связь пожарной охраны</b>	
§ 1.1. Общие сведения о телефонной связи . . . . .	5
§ 1.2. Телефонные коммутационные устройства . . . . .	19
§ 1.3. Структура телефонных сетей . . . . .	32
§ 1.4. Линии связи . . . . .	36
§ 1.5. Организация пунктов связи пожарной охраны . . . . .	48
<b>Глава 2. Краткие сведения о радиотехнических устройствах</b>	
§ 2.1. Некоторые вопросы теории передачи информации . . . . .	49
§ 2.2. Радиопередающие устройства . . . . .	54
§ 2.3. Радиоприемные устройства . . . . .	75
<b>Глава 3. Распространение радиоволн и антенно-фидерные устройства</b>	
§ 3.1. Излучение и общие свойства радиоволн . . . . .	90
§ 3.2. Антенны . . . . .	97
§ 3.3. Основные сведения о фидерных линиях . . . . .	104
§ 3.4. Расчет напряженности поля в точке приема . . . . .	106
<b>Глава 4. Радиосвязь с подвижными объектами</b>	
§ 4.1. Принципы организации радиосвязи . . . . .	114
§ 4.2. Технические требования и особенности построения структурных схем радиостанций, применяемых в пожарной охране . . . . .	118
§ 4.3. Стационарные радиостанции . . . . .	124
§ 4.4. Мобильные радиостанции . . . . .	127
§ 4.5. Методика определения ожидаемой дальности радиосвязи с подвижными объектами . . . . .	129
<b>Глава 5. Эксплуатация радиостанций, применяемых в пожарной охране</b>	
§ 5.1. Помехи радиоприему и их подавление . . . . .	137
§ 5.2. Эксплуатация радиостанций. Вопросы эксплуатационной надежности . . . . .	142
<b>Глава 6. Пожарные извещатели</b>	
§ 6.1. Общая характеристика пожарных извещателей . . . . .	150
§ 6.2. Извещатели ручного действия . . . . .	156
§ 6.3. Тепловые извещатели . . . . .	158
§ 6.4. Извещатели инфракрасного излучения . . . . .	168
§ 6.5. Извещатели ультрафиолетового излучения . . . . .	185
§ 6.6. Извещатели продуктов горения . . . . .	186
§ 6.7. Ультразвуковые извещатели . . . . .	197

М

## Глава 7. Телемеханические системы пожарной сигнализации

§ 7.1. Особенности телемеханических систем пожарной сигнализации и назначение каналов связи	204
§ 7.2. Телемеханические сигналы и кодообразование	207
§ 7.3. Способы разделения телемеханических сигналов в каналах связи	210
§ 7.4. Структура и характеристика линий связи в системах пожарной сигнализации	215
§ 7.5. Генераторы и преобразователи импульсов	221
§ 7.6. Индивидуальные узлы приемного устройства и сигнализации	234
§ 7.7. Оконечные устройства	239
§ 7.8. Основные понятия теории и расчета надежности систем сигнализации	242
§ 7.9. Общие технические требования при проектировании систем сигнализации	246
§ 7.10. Пункты централизованного наблюдения	250

## Глава 8. Эксплуатация систем сигнализации

§ 8.1. Факторы, влияющие на надежность систем сигнализации при эксплуатации	253
§ 8.2. Некоторые сведения о критериях технического обслуживания	256
§ 8.3. Принципы создания устройств и систем совмещенной пожарно-охранной сигнализации	259
§ 8.4. Общая оценка эффективности проекта пожарной сигнализации	261
§ 8.5. К методике обследования оборудованных пожарной сигнализацией объектов при приеме ее в эксплуатацию	264

## Глава 9. Технико-экономическая оценка проектных решений пожарно-охранной сигнализации

§ 9.1. Формулировка задачи	268
§ 9.2. Выбор эталона	269
§ 9.3. Основные и дополнительные показатели	270
§ 9.4. Сравнение вариантов и выбор оптимального решения	273
§ 9.5. Определение годового экономического эффекта	275
Литература	277

Федор Иванович Шаровар,  
Мамекон Леонович Мелик-Адамов,  
Анатолий Александрович Терехин

## СВЯЗЬ И СИГНАЛИЗАЦИЯ ПОЖАРНОЙ ОХРАНЫ

Учебник

Редактор В. П. Перевалюк  
Технический редактор Э. П. Чурова  
Корректор Л. А. Егорова

Сдано в набор 14 сентября 1973 г. Подписано к печати 11 ноября 1974 г.  
Формат 60×90<sup>1/16</sup>. Бумага типогр. № 2. Печ. л. 17,5. Уч.-изд. л. 17,0.  
Л-81690 Тираж 5000. Цена 70 коп. Зак. 283.  
Типография Академии МВД СССР, Москва

### ЗАМЕЧЕННЫЕ ОПЕЧАТКИ

Страница	Строка	Напечатано	Следует читать
19	2 и 1 снизу	... пружина 8	... пружина
42	10 сверху	$a = aI \dots$	$a = aI = \dots$
85	4 снизу	$I\Omega = \dots$	$I_{\Omega} = \dots$
96	1 снизу (в таблице)	... 300 Гц—3000 Гц	... 300 Гц—3000 Гц
240	6 снизу	... выражения (7.83, 7.84)	... выражения (7.82, 7.83)
249	14 снизу	... приемного	... приемного
254	3 сверху	... снижено	... снижено
264	12 снизу	... наличие	... наличие
277	4 снизу	... Исольцев	... Усольцев
280	11 снизу	Мамекоп	Мамикоп

К зак. 283.

Цена 70 коп.

**Москва**  
**1974**