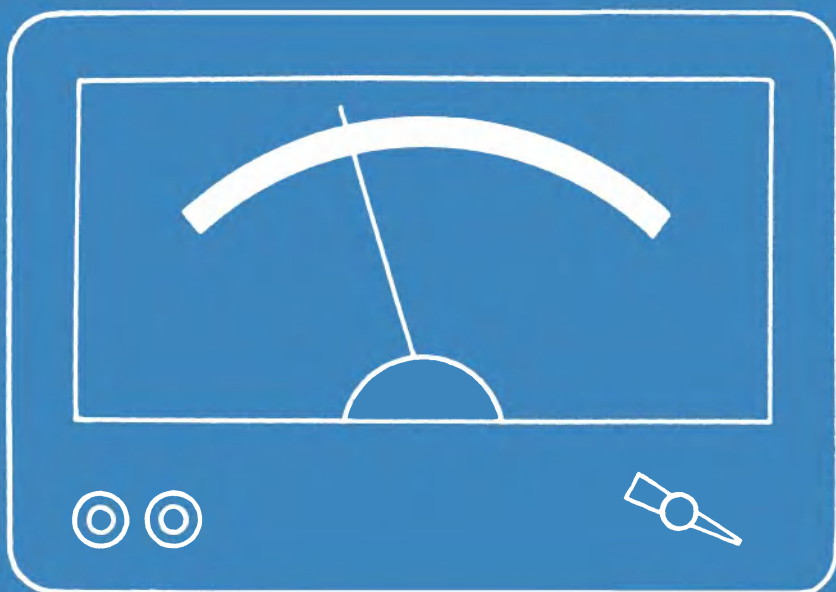


Дж. Карр



**ДИАГНОСТИКА
И РЕМОНТ АППАРАТУРЫ
РАДИОСВЯЗИ
И РАДИОВЕЩАНИЯ**

Издательство «Мир»

ДИАГНОСТИКА И РЕМОНТ АППАРАТУРЫ РАДИОСВЯЗИ И РАДИОВЕЩАНИЯ

TWO-WAY RADIO AND BROADCAST EQUIPMENT

Troubleshooting and Repair

Joseph J. Carr

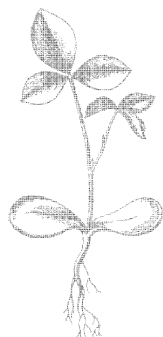
PRENTICE HALL, Englewood Cliffs, New Jersey 07632

Дж. Карр
**ДИАГНОСТИКА
РЕМОНТ АППАРАТУРЫ
РАДИОСВЯЗИ
И РАДИОВЕЩАНИЯ**

Перевод с английского
канд. физ.-мат. наук
И.М. Ахмеджанова



Москва «МИР» 1991



ББК 32.84
К21
УДК 621.38

Карр Дж.

К21 Диагностика и ремонт аппаратуры радиосвязи и радиовещания: Пер. с англ. - М.: 1991, 400 с., ил.

ISBN 5-03-002134-5

В книге американского автора рассматриваются технические средства и методы поиска и устранения неисправностей в устройствах радиосвязи и радиовещания. Значительное внимание уделяется приборам, используемым для этих целей. Изучаются как общие методы диагностики и ремонта радиоаппаратуры, так и выполнение подобных операций для конкретных устройств: передатчиков, приемников, антенн.

Для техников и инженеров по обслуживанию радиоаппаратуры, а также для радиолюбителей, увлекающихся устройствами связи и вещания.

К 2303040500-317 114-91
041(01)-91

ББК 32.84

Редакция литературы по физике и астрономии

ISBN 5-03-002134-5 (русск.)
ISBN 0-13-935348-8 (англ.)

© 1989 by Prentice-Hall
© перевод на русский язык,
И.И. Ахмеджанова, 1991

ОТ РЕДАКЦИИ

Не хотите ли вы в новых экономических условиях обзавестись собственной мастерской по ремонту радиоэлектронной аппаратуры? Или открыть магазин, торгующий радиодетальями? Тогда незаменимую помощь вам окажет предлагаемая книга. Ее можно отнести к серии “ноу -хау”. Ее автор долгое время занимался ремонтом всевозможной радиоэлектронной аппаратуры и на страницах книги увлеченно делится своим богатым опытом. Он знакомит не только с технической стороной проблемы, но и дает советы по организации работы мастерской. Именно этим она особенно полезна будущим предпринимателям.

В наше время трудно найти дом, где не было бы телевизора, радиоприемника, магнитофона и другой электронной техники. В их работе могут возникать неполадки, связанные не только с внутренними причинами, но и с внешними помехами. В нашей стране велика армия радиолюбителей, и книга Карра будет для них настольным справочником, позволяющим установить правильный диагноз и решить, по силам ли им ремонт или лучше обратиться в мастерскую.

А если у вас накоплен собственный опыт, которым бы вы хотели поделиться с другими, то книга Карра послужит вам в этом образцом.

ПРЕДИСЛОВИЕ

Электроника средств связи и радиовещания - это две тесно связанные области, в которых занято большое число техников. Одни обучались в различных технических и военных училищах или в колледжах по специальным программам. Другие прослушали хорошо подготовленные курсы для работников, занятых в электронике. Независимо от уже полученного образования специалисты, занятые в этих областях, ищут пути самообразования, чтобы пополнить свои знания, повысить квалификацию и быть в курсе непрерывно меняющейся технологии. Эта книга подходит как для самообучения, так и в качестве учебника и удовлетворяет всем перечисленным выше потребностям.

Основная часть книги посвящена практическим приложениям, с которыми сталкивается практически каждый, работающий в области средств связи и радиовещания. Для успешной работы каждому необходим некоторый объем практических знаний независимо от типа оборудования, на котором он работает. Эти знания и собраны в данной книге.

Специальное оборудование не рассматривается по нескольким причинам. Во-первых, оно представляет интерес лишь для ограниченного круга читателей, занятых в этой области. Во-вторых, специальные модели мимолетны, как мотыльки, так что выбранные для описания примеры днем с огнем не сыщешь еще до того или вскоре после того, как книга выйдет в свет. Вместо такого узкого рассмотрения автор предпочел более широкий обзор, чтобы снабдить как можно большее число техников способами решения разнообразных задач.

В гл. 1 - 4 приводится информация о некоторых основных приборах, используемых при поиске неисправностей и испытаниях систем радиосвязи и радиовещания. Этот материал охватывает не только основные принципы функционирования мультиметров, осциллографов, генераторов сигналов и высокочастотных ваттметров, но также дает критерии выбора той или иной модели для работы с системами связи и радиовещания. Так, мультиметр - это простой прибор, который есть у каждого техника независимо от поля его деятельности. Но техники систем радиосвязи и радиовещания сталкиваются со специфическими проблемами. К примеру, мультиметр должен давать правильные показания в присутствии интенсивных радиочастотных полей, и некоторые из имеющихся моделей совершенно непригодны для этих целей. С цифрового мультиметра легко снять отсчеты, хо-

тя не всегда легко их интерпретировать (особенно в присутствии модуляции или шума). Цифровые мультиметры, хотя и являются модной новинкой, используются реже, чем старые добрые аналоговые модели, для настройки и регулировки электронных схем, входящих в оборудование схем связи.

Глава об оснащении мастерской включена потому, что ее оснащение очень важно для успешного осуществления текущего обслуживания и ремонта. Чистота, хорошее освещение, правильная организация работы - немаловажные факторы для успешной деятельности мастерской текущего обслуживания и ремонта радиоаппаратуры.

Мрачная, но необходимая тема при работе с электронными приборами - техника безопасности. Всем имеющим дело с тем или иным электронным оборудованием необходимо знать основы техники безопасности, но при обслуживании средств связи и радиовещания риск особенно велик, так как приходится иметь дело с высокими напряжениями.

Несколько глав посвящено специфическим неисправностям. Описаны как общие методы поиска неисправностей, так и некоторые специальные проблемы.

Глава об охлаждении электронного оборудования написана потому, что тепло - враг номер один электронных приборов любых типов. Хотя и утверждается, что борьба с теплом - дело инженера, мудрый техник не только осознает эту проблему, но и знает, что предпринять, чтобы улучшить охлаждение, когда тепло - главная причина ненадежной работы.

Читатель найдет несколько глав, связанных со спецификой систем радиосвязи. В книге имеется материал, посвященный поиску неисправностей в передатчиках, антеннах и специальное рассмотрение проблемы настройки ОВЧ/УВЧ и микроволновых радиоприемников. В главе, посвященной антеннам, рассмотрены простые инструменты, предназначенные специально для антенн. Хотя имеется целый комплекс инструментов, техникам, находящимся в разъезде, часто приходится иметь дело с более простыми приборами (которые к тому же более портативны и надежны).

В системах радиосвязи все чаще используется автономное питание. Чем шире используются элементы питания в портативном и непрерывно работающем оборудовании, тем больше возникает проблем. Гл. 16 включена потому, что эти проблемы и их решение не всегда очевидны даже квалифицированному технику. Этот материал был опубликован в статье, подготовленной автором для журнала по техническому обслуживанию. Многие организации, занимающиеся текущим ремонтом и обслуживанием, обратились к автору с просьбой дать им разрешение на репродуцирование. Откликнулись также люди, использующие

элементы питания, со всех концов света, и те, кто имеет медицинское оборудование на автономном питании, и все одобительно отозвались о материале, который приведен в гл. 16.

Гл. 20 названа “Понемногу о разном”, потому что в ней рассмотрено несколько электронных компонентов, которые используются в современной схемотехнике, но обычно не знакомы многим практикующим техникам. В этой главе вы найдете информацию о варакторных цепях и рип-диодах.

Обсуждение того, как выбирать полупроводниковые эквиваленты, дано в гл. 21. Хотя предпочтительно использовать для замены те компоненты, которые использовал производитель, это не всегда возможно. Например, производитель имеет на складе запасные части на минимальную сумму 500 долл. Для магазина, который не сотрудничает постоянно с производителем, такой заказ окажется невыполнимым и ему придется искать подходящие эквиваленты - часто не зная точно номера серий 2N или LM.

Все современные приборы собраны на монтажных платах. В гл. 8 рассмотрены поиски неисправностей и ремонт плат печатного монтажа.

Отдельная глава посвящена источникам питания постоянного тока. Почему? Источник постоянного тока - одно из наиболее слабых звеньев в системах радиосвязи и радиовещания. Если провести статистику случаев отказа в системах, то окажется, что главный виновник их - источник постоянного тока. Однако проблема надежности здесь вполне разрешима: причины неисправностей известны и обычно легко устранимы. Следуя правилам, набранным жирным шрифтом в гл. 18, вы научитесь ладить с источниками постоянного тока.

Линейные ИС, особенно ОУ, - это основные приборы в современном оборудовании. Инженеры по радиовещанию и звукооператоры знакомы с десятками таких приборов. Их обзор приведен в гл. 24. Но материал этот нужен не в помощь при поиске неисправностей, а для конструирования схем. Правила работы с ОУ столь просты, что его конструирование становится увлекательной игрой.

И наконец, одна глава посвящена специальным проблемам радиосвязи, в том числе распространению радиоволн и кабельным радиосистемам. В каждом случае имеются различные пути решения проблемы.

Джозеф Карр

ГЛАВА 1

ВЫБОР И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МУЛЬТИМЕТРА

Каждому специалисту, обслуживающему аппаратуру связи или радиовещания, приходится решать проблему выбора при приобретении мультиметра. Обычно мультиметр - это первый приобретаемый прибор. Цены на эти приборы существенно снизились за последние годы. Даже в магазинах с малым оборотом в настоящее время можно увидеть мультиметры с такими точностными характеристиками и функциональными возможностями, которыми буквально несколько лет назад обладали лишь измерительные приборы в инженерных лабораториях.

Без мультиметров практически невозможно обойтись при поиске неисправностей в аппаратуре. Они позволяют определить состояние исследуемых или контролируемых схем. Только осциллограф является более универсальным прибором. Мультиметры являются комбинированными измерительными приборами, совмещающими в себе функции вольтметра постоянного тока, вольтметра переменного тока и омметра. (Функциональные возможности некоторых моделей более широки. Они могут, например, измерять емкость.) В данной главе речь пойдет о различных мультиметрах, имеющих в настоящее время в продаже. Ее цель - дать специалисту рекомендации, которыми необходимо руководствоваться, выбирая мультиметр на быстроизменяющемся и конкурирующем рынке.

КЛАССИФИКАЦИЯ МУЛЬТИМЕТРОВ

Разработанные к настоящему времени различные типы мультиметров могут быть классифицированы по нескольким признакам. Например, с точки зрения использования активных элементов мультиметры можно разделить на следующие виды: приборы, не содержащие активных элементов (классические ампервольтметры); приборы на вакуумных лампах; приборы на полевых транзисторах и т. д.). Классификация по типу устройства отображения делит все многообразие приборов на две группы: аналоговые и цифровые. В аналоговых мультиметрах используются

стрелочные индикаторные механизмы конструкции д'Арсонваля или Таута-Бенда (существуют также другие конструкции, но они используются значительно реже). Шкала аналогового мультиметра нанесена на панель, расположенную за подвижным стрелочным указателем. В цифровых измерительных приборах реализованы цифровые методы измерения и отображения результатов в цифровой форме на светодиодных или жидкокристаллических дисплеях.

АМПЕРВОЛЬТОММЕТРЫ

На рис. 1.1 представлен современный вариант одного из самых первых типов мультиметров - ампервольтметр, или авометр. Этот прибор основан на аналоговом стрелочном индикаторном механизме и предназначен для измерения постоянного и переменного напряжений, постоянного тока (в миллиамперметрах) и сопротивлений (в омах). Пределы шкалы для каждого вида измерений устанавливаются с помощью переключателя. Классические авометры не содержат активных элементов и не требуют источников электропитания (за исключением одного гальванического элемента для измерения сопротивлений). Определяющим параметром при выборе такого прибора является приведенное входное сопротивление. Оно измеряется мерой входного импеданса прибора при работе в режиме вольтметра. Прибор на рис. 1.1 имеет приведенное входное сопротивление 20 000 Ом/В. Умножение предела шкалы на приведенное входное сопротивление дает полное входное сопротивление (импеданс). Например, при выборе предела от 0 до 50В входной импеданс составит 50 В x 20 000 Ом/В, или 1 000 000 Ом.

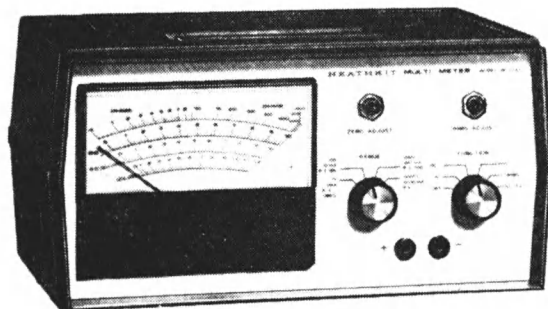


Рис. 1.1. Аналоговый электронный мультиметр.

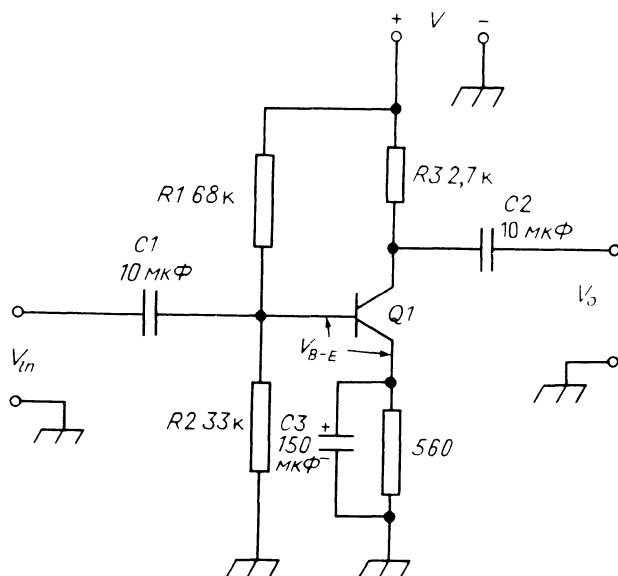


Рис. 1.2. Усилитель с общим эмиттером.

Имея низкое входное сопротивление на малых пределах измерений, авометры существенно подгружают анализируемые схемы на полупроводниковых приборах. Это является серьезным недостатком мультиметров данного типа. В схемах, реализованных на электровакуумных лампах, авометр большую часть времени работает надежно, но в полупроводниковых схемах часто возникают проблемы. Например, ожидаемые результаты измерений постоянной составляющей напряжения на базе прп-транзистора, включенного по схеме с общим эмиттером и входящего в состав предусилителя звуковых частот в модуляторе передатчика (рис. 1.2), составляют 0,2 - 0,3 В для германиевых транзисторов и 0,6 - 0,7 В для кремниевых транзисторов. Поэтому при выборе предела шкалы постоянного тока 1,5 В входное сопротивление составляет $1,5\text{ В} \times 20\,000\text{ Ом/В}$, или 30 000 Ом. К сожалению, полученное значение соизмеримо с эквивалентным сопротивлением цепей смещения транзистора со стороны базового вывода ($R1$ и $R2$). Таким образом, подключение прибора к переходу база-эмиттер изменяет токораспределение в анализируемой схеме, что приводит к недостоверности результатов измерений.

ПРЕИМУЩЕСТВА АВОМЕТРОВ В ТЕХНИКЕ СВЯЗИ

Авометры - простые, надежные и портативные приборы. Это обусловило их популярность у специалистов, в течение длительного времени обслуживающих аппаратуру связи в отдаленных районах. Техники, работающие с радиопередатчиками и мощными усилителями радиочастотного диапазона, обычно имеют один из таких приборов в своем наборе инструментов даже в том случае, когда в нормальных условиях они пользуются современными цифровыми приборами. Активные элементы подвержены воздействию сильных электромагнитных полей радиочастотного диапазона. Поэтому классический авометр, не содержащий их, сохраняет свою работоспособность вблизи передатчиков, где другие (более дорогие) приборы оказываются недействительными. Точность авометра в большинстве работ по обслуживанию аппаратуры связи оказывается вполне удовлетворительной, хотя и не совсем на уровне современных требований.

ЭЛЕКТРОННЫЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ В ТЕХНИКЕ СВЯЗИ

Другой тип мультиметра изображен на рис. 1.3. Это представитель класса электронных вольтметров - мультиметр на полевых транзисторах. Ранние модели данного класса выполнялись на электровакуумных лампах и биполярных транзисторах.

Обобщенно представители класса называются электронными вольтметрами. Своё название мультиметр получил по активному элементу, на котором реализована входная цепь прибора. Это может быть вакуумная лампа, биполярный или полевой транзистор. Основное назначение установки во входной цепи усилительного элемента - увеличение входного импеданса прибора, за счет чего существенно уменьшается влияние прибора на исследуемую схему. Например, типовое значение входного сопротивления электронных вольтметров равно 10 МОм. Если при этом во внешнем пробнике установлен резистор номиналом 1 МОм, то общее сопротивление составит 11 МОм. Как правило, входная цепь электронных вольтметров имеет емкостную составляющую сопротивления (20 - 50 пФ), шунтирующую активную часть. Современные модели электронных вольтметров на полевых транзисторах имеют входное сопротивление, значительно превышающее 11 МОм (рекламировались приборы с сопротивлением 100 МОм и более).

Подобно авометрам, электронные вольтметры на полевых транзисторах выполняют несколько функций и имеют несколько пределов измерений. В варианте, представленном на рис. 1.3, выбор выполняемой функции (измерение постоянных напряжений, переменных напряжений, сопротивлений и т.д.) осуществляется с помощью кнопочных переключателей. В отличие от

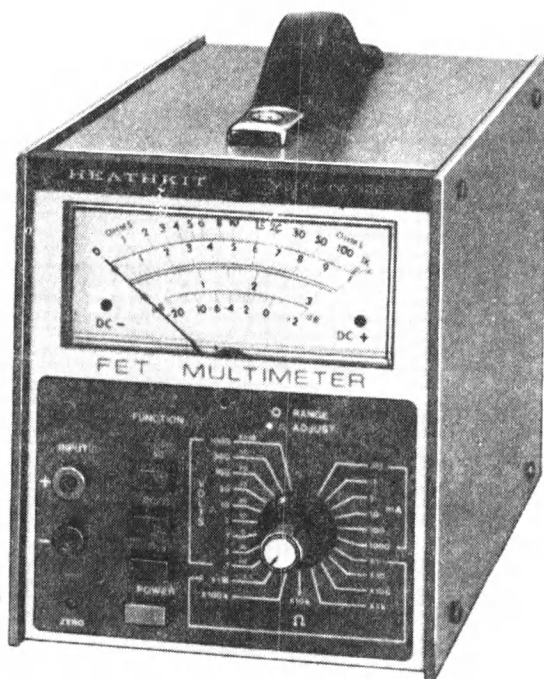


Рис. 1.3. Аналоговый мультиметр на полевых транзисторах.

авометров электронным вольтметрам для обеспечения работы активных элементов необходимы источники электропитания постоянного тока. В большинстве случаев в качестве таковых используются батареи гальванических элементов. Некоторые модели работают от сети переменного тока напряжением 115 В. Кроме того, в противоположность авометрам, электронные вольтметры чувствительны к высокочастотным электромагнитным полям. Большинство моделей приборов не могут работать вблизи мощных радиопередатчиков и других генераторов электромагнитного излучения (медицинских СВЧ-установок, индукционных нагревателей и т. д.). Специалисты считают, что мощные электромагнитные поля вызывают изменение режимов работы активных элементов, что приводит к ошибочным результатам измерения.

Электронные вольтметры на полевых транзисторах, так же как и авометры, позволяют измерять переменные напряжения. Однако даже на малых пределах измерений эти приборы не яв-

ляются хорошей заменой специализированным вольтметрам переменного тока, необходимым для настройки цепей звуковых частот и магнитофонов. Частотный диапазон прибора ограничен. В интервале от 50 до 400 Гц их точность можно считать приемлемой. Однако с увеличением частоты измеряемых напряжений точность резко падает. Кроме того, нелинейности приборов обуславливают дополнительные погрешности, которые, не являясь существенными при измерениях мощности, могут стать критичными при настройке аппаратуры связи или радиовещания.

ЦИФРОВЫЕ МУЛЬТИМЕТРЫ В ТЕХНИКЕ СВЯЗИ

На рис. 1.4 и 1.5 показаны примеры цифровых мультиметров. Основным функциональным узлом представленных приборов является аналого-цифровой преобразователь (АЦП), осуществляющий преобразование входного напряжения в семисегментный цифровой код. Эти приборы составляют большую часть продаваемых в настоящее время мультиметров. Подобно электронным вольтметрам и авометрам, цифровые мультиметры позволяют измерять постоянные и переменные напряжения, токи и сопротивления.

Разрядность некоторых цифровых мультиметров выражается дробными числами $2\frac{1}{2}$, $3\frac{1}{2}$, $4\frac{1}{2}$ и т. д. Как вы думаете, что означает эта половинка? А то, что самый старший десятичный разряд (крайний слева) может принимать только два значения: 0 или 1, поэтому данный разряд учитывается как половинный. Цифры во всех других разрядах (называемых пол-

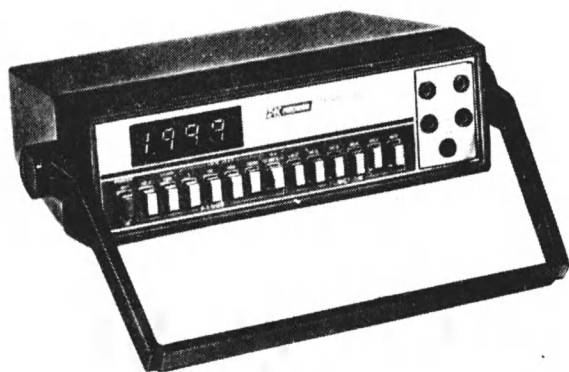


Рис. 1.4. Цифровой мультиметр.

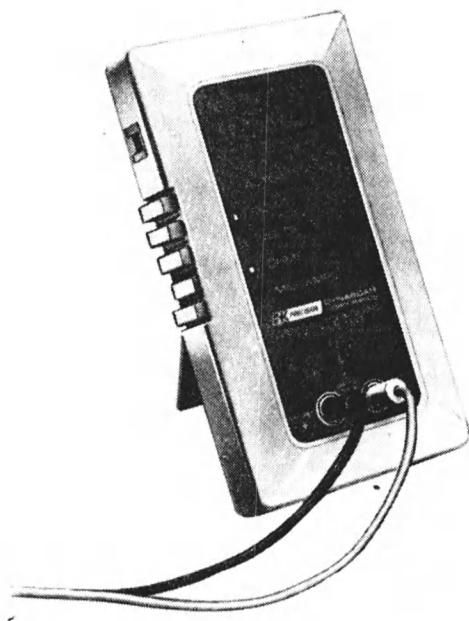


Рис. 1.5. Портативный цифровой мультиметр.

ными), могут принимать значения от 0 до 9. Например, в 3 1/2-разрядном приборе отображаемые результаты могут находиться в диапазоне от 0 до 1999. Число разрядов дисплея является грубой оценкой точности мультиметра, хотя большое число цифр еще не гарантирует точность прибора. Обычно поиск неисправностей можно успешно провести с помощью мультиметра с 3 1/2 разряда. В ряде случаев 2 1/2 разряда недостаточно, а использование 4 1/2-разрядного прибора для данных целей не оправданно, а скорее, расточительно. Тем не менее, некоторые опытные специалисты предпочитают мультиметры с возможно большим числом разрядов. Следует, однако, отметить, что разрядность более 4 1/2 нужна лишь для настройки прецизионной аппаратуры.

ТОЧНОСТЬ ЦИФРОВЫХ МУЛЬТИМЕТРОВ

Означает ли большее число разрядов дисплея более высокую точность? Являются ли цифровые приборы более точными, чем

авометры и электронные вольтметры? На оба вопроса следует дать отрицательный ответ. Точность зависит не столько от числа разрядов, сколько от конструкции. Например, точность цифрового мультиметра определяется источником опорного напряжения, АЦП и некоторыми другими узлами и слабо зависит от числа разрядов дисплея. Обычно на индикацию выводятся только достоверные разряды, но размеры дисплея не могут быть абсолютным индикатором точности прибора.

Вместе с тем следует отметить, что цифровые мультиметры потенциально имеют лучшие возможности для достижения более высокой точности, чем авометры. Характерной особенностью цифровых мультиметров является сохранение точностных характеристик в течение длительного срока. Основными факторами, определяющими точность, являются принципы реализации прибора, качество элементной базы и некоторые другие. Необходимо отметить различие в реакции приборов со стрелочными индикаторами и цифровых мультиметров на сигналы, содержащие шумы. Шумовые составляющие сигнала интегрируются (фильтруются или усредняются во времени) за счет инерционности аналогового индикаторного механизма и не мешают считывать полезную информацию. В безынерционных цифровых мультиметрах при наличии шума в сигнале происходит мелькание показаний, затрудняющее, а иногда и делающее невозможным считывание информации с дисплея. Поэтому при исследовании цепей, содержащих источники шума, высокоточные цифровые приборы могут проигрывать авометрам.

Внимательное ознакомление с техническим описанием цифрового мультиметра - это первое, что необходимо сделать при его выборе. Старайтесь приобретать измерительную аппаратуру только у поставщиков с высокой репутацией. Будьте осмотрительны чтобы не переплатить. Выбирая измерительный прибор, не позволяйте, чтобы блеск дорогостоящих сверхточных моделей ослепил вас.

ВЫБОР ЦИФРОВЫХ МУЛЬТИМЕТРОВ

Приборы, подобные показанным на рис. 1.4 и 1.5, имеются в настоящее время в широкой продаже. Предлагаются недорогие модели цифровых мультиметров, выполняющие более широкий набор операций, чем классические авометры. Например, они позволяют измерять емкость. Пределы измерения емкости обычно лежат в диапазоне от 2000 пФ (при разрешающей способности 1 пФ) до 2000 мкФ.

Другими особенностями, свойственными цифровым мультиметрам, являются диодный режим работы и режим тестера со звуковой сигнализацией. Диодный режим используется для тес-

тирования рп-переходов диодов и транзисторов (*рпр-* и *прп-*ти-па). В обычном режиме омметра на щупы цифрового мультиметра выводится малое напряжение, недостаточное для прямого смещения рпр-перехода. Диодный режим (обычно обозначается символом диода на передней панели прибора) также представляет собой режим измерения сопротивлений. Однако в этом случае величина тестового напряжения на щупах прибора достаточна для смещения рп-перехода в прямом направлении. Нормальный режим омметра используется для измерения сопротивлений между отдельными точками схемы, а работоспособность изолированных от схем полупроводниковых элементов проверяется в диодном режиме.

Для “прозвонки” кабелей, содержащих большое число проводников, очень удобен режим измерения сопротивлений со звуковой сигнализацией. Почему это важно? Попробуйте прозвонить многожильный кабель, да еще стоя на стремянке (обычная ситуация в радиовещании, связи и промышленной электронике). Вам не удастся одновременно следить за положением щупов прибора и за дисплеем. А звуковой сигнал будет свидетельствовать о наличии соединений между точками, а его отсутствие — о разрыве цепи.

ПОДКЛЮЧЕНИЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ

Измерительные приборы следует правильно подключать к исследуемой схеме, в противном случае возможны катастрофические последствия. На рис. 1.6 показаны способы включения различных измерительных приборов в контролируемую цепь. Необходимо знать, что токи, напряжения и сопротивления измеряются по-разному, иначе можно повредить мультиметр, способный выполнять различные функции. При фиксированном положении щупов ошибка в подключении прибора может быть вызвана сменой режима его работы.

Вот два правила подключения измерительных приборов:

1. Вольтметры подключаются параллельно с нагрузкой.

2. Амперметры подключаются последовательно с нагрузкой.

НИКОГДА НЕ НАРУШАЙТЕ ЭТИХ ПРАВИЛ!

Особенно важно правило о последовательном включении амперметра. Соединение амперметра параллельно к нагрузке может вызвать большой ток через него, так как внутреннее сопротивление прибора мало. В этих случаях ток, текущий через амперметр, как правило, превышает предел шкалы. В аналоговом приборе при этом стрелка изгибается, а из-под кожуа валют клубы дыма. Цифровые мультиметры легче переносят подобные ошибки, но опасность их повреждения все же существует. К счастью, в некоторых моделях приборов последовательно

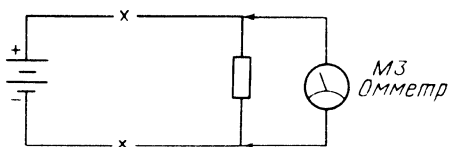
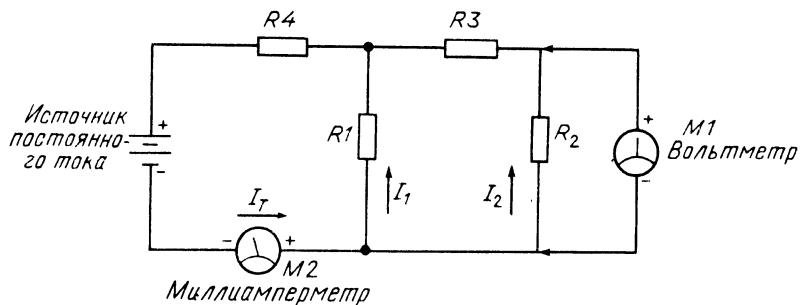


Рис. 1.6. Подключение вольтметров, амперметров и омметров. -

со щупами установлены плавкие предохранители, предотвращающие выход прибора из строя.

Резистор, сопротивление которого измеряется омметром, должен быть электрически изолирован от схемы, даже если источник питания отключен. Электрическая изоляция резистора осуществляется по двум причинам. Во-первых, находясь в схеме, резистор может быть зашунтирован другими цепями. Во-вторых, даже в отключенной от источников питания схеме конденсаторы некоторое время продолжают сохранять заряд. Накопленные заряды могут вывести из строя омметр. В этом смысле наибольшую опасность для омметров представляют собой конденсаторы фильтров в блоках питания. К сожалению, даже опытные специалисты иногда игнорируют это правило. Тем более уместно напомнить о том, что и отсоединенные от схемы элементы иногда доставляют неприятности.

ОШИБКИ ПРИ ИЗМЕРЕНИИ НАПРЯЖЕНИЙ

Однажды один профессор электротехники не смог объяснить студентам, почему экспериментальные результаты измерений напряжений значительно ниже данных, указанных в руководстве

к лабораторной работе. Причина такого несовпадения заключалась в том, что вольтметр, имея конечное внутреннее сопротивление, подгружает исследуемую схему. Для авометров входное сопротивление может быть рассчитано по приведенному входному сопротивлению. Большинство находящихся в эксплуатации авометров имеют приведенное внутреннее сопротивление 20 кОм/В. У некоторых образцов эта величина достигает 100 кОм/В. Большинство дешевых авометров имеет приведенное внутреннее сопротивление всего 1000 Ом/В, что является весьма низким показателем. В ряде случаев приведенное внутреннее сопротивление отражает ток полного отклонения стрелочного измерительного механизма, используемого в авометре. При приведенных внутренних сопротивлениях 20 000 и 1000 Ом/В токи полного отклонения составляют 50 мкА и 1 мА соответственно.

Рис. 1.7 иллюстрирует, как вольтметр подгружает исследуемую схему. Схема содержит источник напряжения 10 В и два последовательно включенных резистора R1 и R2. Падение напряжения на резисторе R2 рассчитывается по следующим формулам:

$$V = V \times R_2 / (R_1 + R_2) =$$

$$= 10\text{В} \times 10 \text{ кОм} / (100\text{кОм} + 10\text{кОм}) = 0,909 \text{ В.}$$

Что же реально происходит при подключении вольтметра к резистору R2? Общее сопротивление участка цепи резистор R2 - вольтметр рассчитывается по закону параллельного соединения. Если на приборе установлен предел шкалы 1,5 В, то при приведенном входном сопротивлении 20 000 Ом/В входное сопротивление вольтметра составит 30 кОм, а при приведенном входном сопротивлении 1 000 Ом/В - 1,5 кОм. Сопротивление параллельного соединения резистор R2 - вольтметр в первом случае равно 7,5 кОм, а во втором 1,3 кОм. Значит, вольтметр

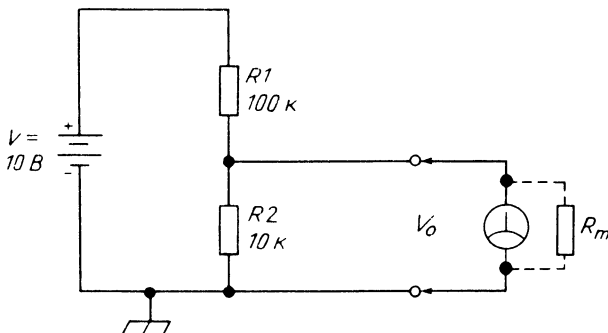


Рис. 1.7. Подгрузка вольтметром схемы с высоким импедансом.

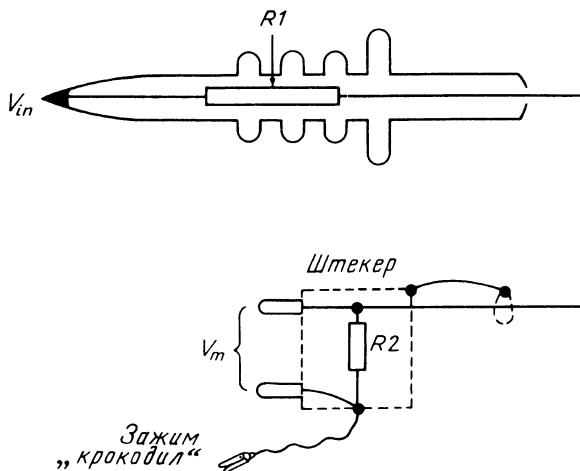


Рис. 1.8. Высоковольтный пробник для электронного мультиметра
 $V_m = V_{in} \times 100 \text{ МОм} / (990 \text{ МОм} + 10 \text{ МОм})$, $V_{in} : V_m = 100:1$.

при подключении к резистору $R2$ вместо 0,909 В покажет 0,697 В или 0,128 В соответственно. Такие большие ошибки измерения побуждают выбирать вольтметр с большим внутренним сопротивлением.

ВЫСОКОВОЛЬТНЫЕ ПРОБНИКИ

Большинство вольтметров, предназначенные для измерения высоких напряжений, создаются на базе обычных приборов при подключении ко входу добавочного резистора резистивного делителя напряжения. На рис. 1.8 и 1.9 показаны два метода расширения пределов измерения обычного мультиметра. Высоковольтный пробник на рис. 1.8 используется с приборами, имеющими собственное внутреннее сопротивление 10 МОм. Если установленный в щупе резистор имеет сопротивление 990 МОм, то показания вольтметра будут соответствовать 1/100 реального напряжения на входе пробника. Таким образом, при напряжении 30 000 В вольтметр покажет 300 В. Специалисты часто используют подобные пробники совместно со стандартными вольтметрами для измерения анодных напряжений в цветных телевизорах.

Суть метода, иллюстрируемого на рис. 1.8, заключается в том, что резистор, установленный в щупе, совместно с внутренним сопротивлением вольтметра образует делитель напряжения.

Метод применяется, когда внутреннее сопротивление вольтметра составляет 10 МОм. Современные электронные вольтметры, включая вольтметры на полевых транзисторах и цифровые мультиметры, имеют входные сопротивления, значительно превышающие 10 МОм. В этих случаях для деления входного напряжения используют пробник, изображенный на рис. 1.9. При покупке высоковольтного пробника для вашей модели прибора желательно, чтобы он имел такую схему. Имеются в продаже универсальные пробники с понижением напряжения 100 : 1 и 1000 : 16. Можно сделать такой пробник самому.

Высоковольтный пробник должен быть снабжен надежным зажимом “крокодил”. Если использовать обычный пробник или некачественный зажим, то держу пари, что вы повредите свой прибор. Особенно легко повредить прибор, когда он и проверяемая схема заземлены. Когда общий вывод нарушится, ток от высоковольтной цепи может пойти через прибор.

ИЗМЕРЕНИЯ В ЦЕПЯХ РАДИОЧАСТОТНОГО ДИАПАЗОНА

При обслуживании радиотехнических цепей необходимо измерять постоянные и высокочастотные составляющие сигналов. Большинство мультиметров не позволяют провести указанные измерения без специальных пробников.

На рис. 1.10 показана схема пробника, предназначенного для измерения постоянной составляющей сигнала в цепях с высокочастотной составляющей, например, в радиопередатчике. По своей сути пробник представляет собой LC-фильтр нижних частот, который не пропускает высокочастотные составляющие на входы мультиметра. Он реализован на высокочастотном

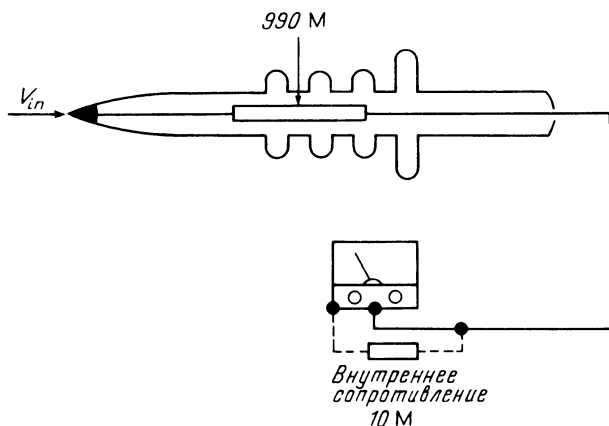


Рис. 1.9. Универсальный высоковольтный пробник. $V_m = V_{in} \cdot R_2 / (R_1 + R_2)$.

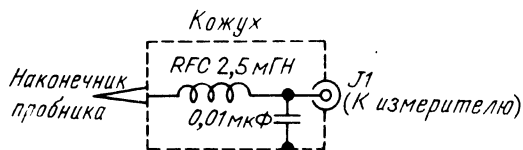


Рис. 1.10. Пробник для измерения постоянных составляющих сигналов в радиочастотных цепях.

дросселе индуктивностью 2,5 мГн и конденсаторе емкостью 0,01 мкФ. Как правило, пробник хорошо блокирует высокочастотные составляющие сигнала. Если все-таки подавление недостаточно, то два или три подобных фильтра включают каскадно.

Используя рассмотренный пробник, необходимо помнить о некоторых особенностях его поведения. Во-первых, дроссель и конденсатор могут взаимодействовать с настраиваемыми элементами исследуемой схемы. В этом случае показания прибора не будут соответствовать реальной ситуации в схеме. Во-вторых, дроссель имеет собственную резонансную частоту, обусловленную наличием межвитковой емкости. При использовании пробника на частотах, близких к ней, возникающие резонансные явления также могут привести к ошибочным результатам.

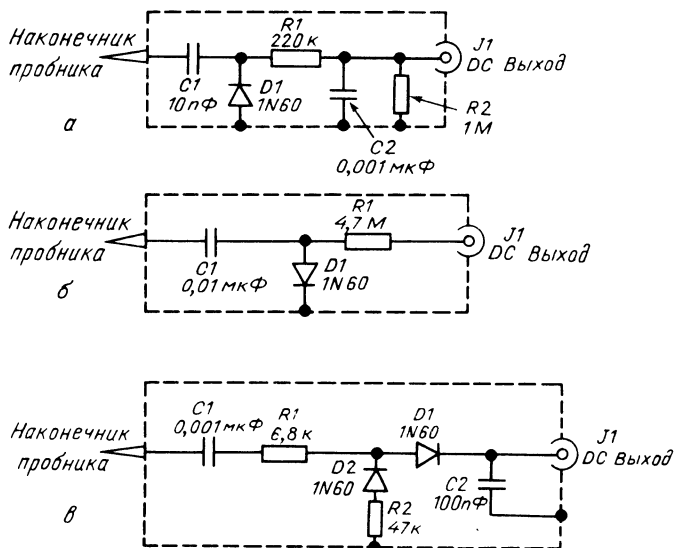


Рис. 1.11. Высокочастотные демодуляторные пробники.

Принципиальные схемы трех вариантов высокочастотных пробников изображены на рис. 1.11. Эти пробники иногда называют демодуляторными, так как они способны демодулировать сигналы с амплитудной модуляцией (АМ-сигналы). Прибор для покаскадной проверки прохождения сигнала представляет собой усилитель низких частот с пробником, имеющим малую емкость на входе, для регистрации звуковых частот. Если заменить пробник с малой емкостью на входе одной из схем, показанных на рис. 1.11, то получим прибор для поиска неисправностей в приемниках АМ-сигналов и трактах промежуточной частоты (ПЧ). При указанных на схемах типах германиевых диодов можно измерять переменные составляющие сигналов с амплитудой 50-60 В. При необходимости измерять сигналы с большей амплитудой каждый диод заменяется последовательным соединением из двух или более диодов. Хотя сейчас все шире используются кремниевые диоды, пока еще имеется много видеодетекторов и телевизоров на диодах 1N60 (некоторые поставщики радиодеталей еще предлагают диоды 1N60).

ВЫВОДЫ

Мультиметр - это один из основных приборов, без которого невозможно обойтись при обслуживании аппаратуры радиосвязи и радиовещания. Если вы будете следовать приведенным выше правилам, то ваши приборы будут долго служить вам.

ГЛАВА 2

ВЫБОР И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВЫСОКОЧАСТОТНЫХ ВАТТМЕТРОВ И АНТЕННЫХ ИЗМЕРИТЕЛЕЙ КСВН

Базовым измерительным прибором, необходимым для проверки работоспособности радиопередатчиков и поиска неисправностей в них, является высокочастотный ваттметр. Он измеряет выходную мощность передатчика и дает результат в ваттах или в других единицах, косвенно связанных с мощностью. О выходной мощности передатчика можно судить и по показаниям антенного измерителя КСВН. Этот прибор градуируют в безразмерных единицах, называемых КСВН. Данная аббревиатура расшифровывается как коэффициент стоячей волны по напряжению. Большинство современных приборов, два варианта из которых будут обсуждаться в данной главе, совмещают в себе возможности ваттметра и измерителя КСВН.

Поскольку данные приборы также используются при измерениях в антенных системах, связанные с этими измерениями вопросы будут освещены в гл. 19. В ней будут обсуждаться другие приборы, такие, как, поглощающий измеритель, измерители антенного импеданса, мосты для измерения шума и т. д. Высокочастотные ваттметры рассматриваются в данной главе, так как они используются для тестирования передатчиков; измерители КСВН, хотя они относятся к антенным измерительным приборам, также рассматриваются здесь из-за их тесной связи с ВЧ -ваттметрами. Необходимо изучить раздел об эквивалентах нагрузок (для передатчиков) в гл. 19. Все эти приборы необходимы для эксплуатации, поиска неисправностей, регулировки, тестирования как передатчиков, так и антенных систем.

ИЗМЕРЕНИЕ МОЩНОСТИ НА ВЫСОКИХ ЧАСТОТАХ

Измерение мощности на высоких частотах традиционно представляло собой весьма трудную задачу. Исключение, возможно, составляет измерение мощности синусоидального сигнала. Одна-

ко и в этом случае необходимо рационально выбирать методику измерений. В табл. 2.1 представлены формы выходных сигналов передатчиков при различных видах модуляции. Эта диаграмма любезно предоставлена фирмой "Bird Electronics Inc.", поставщиком ВЧ-ваттметров профессионального класса, включая Model 43, которую следует признать промышленным стандартом.

На иллюстрации А табл. 2.1 представлен немодулированный синусоидальный сигнал. Его спектрограмма представляет собой одиночный отрезок прямой. Мощность синусоидального сигнала измеряется просто. Предположим (как показано в данном примере), что амплитуда сигнала составляет 100 В (т.е. полный размах равен 200 В). Действующее (или эффективное) значение U_{rms} этого сигнала составляет 0,707 от амплитудного, или 70,7 В. Выходная мощность P связана с действующим напряжением U_{rms} на нагрузке соотношением

$$P = U_{rms}^2 / Z_o,$$

где Z_o - полное сопротивление (импеданс) нагрузки в омах.

При нагрузке 50 Ом мощность синусоидального сигнала, показанного на иллюстрации А, составит 100 Вт.

Можно измерить мощность синусоидального немодулированного сигнала, измерив действующее пиковое значение либо напряжения, либо тока (при условии постоянного сопротивления нагрузки). Задача существенно усложняется для модулированных сигналов. Различные формы модулированных сигналов представлены на иллюстрации В табл. 2.1. Сравнивая показания пикового ваттметра модели Bird Model 4311, можно видеть, что соотношение между пиковым и средним значениями мощности существенно зависит от вида модуляции.

Один из наиболее ранних практических методов измерения ВЧ-мощности основан на использовании термоэлектрического амперметра (рис. 2.1). Принцип действия этого прибора базируется на измерении с помощью термопары теплоты, выделяемой при прохождении тока высокой частоты через резистор низкого номинала. Выходы термопары подключаются к амперметру постоянного тока. Таким образом, термоэлектрический амперметр по своей сути является прибором, измеряющим действующее значение тока. В силу отмеченной особенности этот амперметр весьма полезен для измерений средних значений мощности. Если известны действующее значение тока и активная компонента полного сопротивления нагрузки и при этом реактивная компонента пренебрежимо мала или равна нулю, то мощность ВЧ -сигнала может быть получена из известного выражения

$$P = I^2 R_1.$$

ТАБЛИЦА 2.1. Мощность различных ВЧ-волн для модели Bird 43.

	Частотный спектр (С — несущая)	Действующее напряжение, В	Максимальная мощность, Вт	Средняя мощность, Вт	Пиковый режим Вт	Непрерывный режим, Вт
A Несущая		$\frac{100}{\sqrt{2}}$	100	100	100	100
B АМ 100%		$\frac{200}{\sqrt{2}}$	400	150	400	100
C АМ 73%		$\frac{173}{\sqrt{2}}$	300	127	300	100
D ОБП 1 тон		$\frac{100}{\sqrt{2}}$	100	100	100	100
E ОБП 2 тона		$\frac{100}{\sqrt{2}}$	100	50	100	40.5
F ОБП 3 тона		$\frac{100}{\sqrt{2}}$	100	33.3	100	—
G ОБП, голос		$\frac{100}{\sqrt{2}}$	100	—	100	—
H Импульс		$\frac{100}{\sqrt{2}}$	100	10	100	—

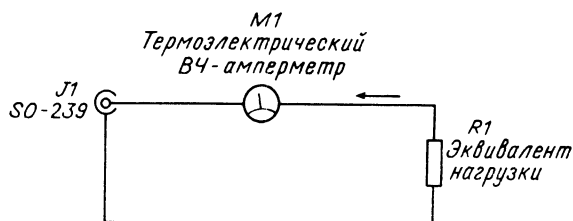


Рис. 2.1. Термоэлектрический высокочастотный амперметр для измерения ВЧ-мощности.

Однако из-за сильной зависимости показаний от частоты термоэлектрический амперметр не может служить универсальным прибором для измерения мощности на высоких частотах. Даже при измерениях на низких частотах рекомендуется устанавливать амперметры на изоляционный материал, сохраняя зазор не менее 1 см между амперметром и его металлическим корпусом. Выполнение указанных рекомендаций тем не менее не обеспечивает необходимой равномерности частотной характеристики амперметра в области более высоких частот. Некоторые приборы предназначены для измерений в низкочастотной части УКВ диапазона, но и в этом случае необходимо соблюдать предосторожности. Рекомендуется иметь калиброванную амплитудно-частотную характеристику для данного конкретного прибора с тем, чтобы вносить необходимую коррекцию в показания. Без этой характеристики показания термоэлектрического амперметра на частотах 10 МГц и выше должны восприниматься с определенной долей недоверия.

ВЧ-мощность может быть рассчитана и по измеренному падению напряжения на нагрузочном сопротивлении (рис. 2.2). В схеме на рис. 2.2 высокочастотное напряжение на нагрузке ослабляется до уровня, совместимого с вольтметром, с помощью резистивного делителя $R2/R3$. Сигнал с его выхода выпрямляется диодом $CR1$ и преобразуется в постоянное напряжение благодаря фильтрующему действию конденсатора $C2$.

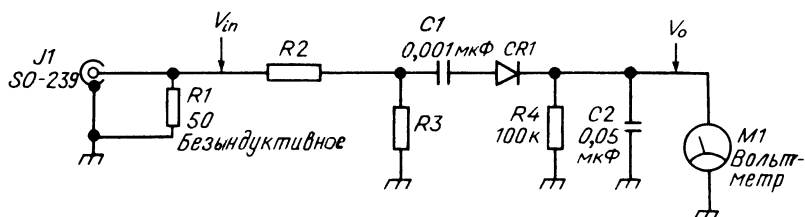


Рис. 2.2. Высокочастотный вольтметр для измерения ВЧ-мощности.

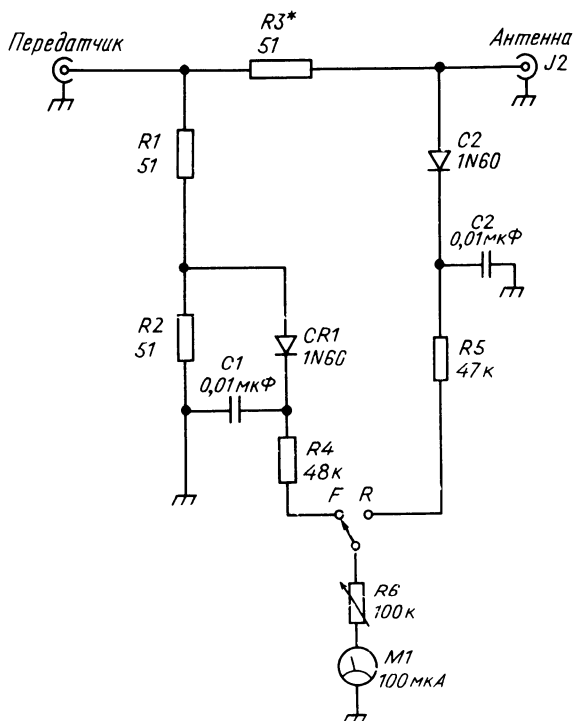


Рис. 2.3. Простой мост для измерений ВЧ-мощности.

Метод измерения напряжения простым вольтметром с выпрямителем может применяться лишь для немодулированных сигналов синусоидальной формы. Хотя эти критерии удовлетворены во многих передатчиках, они не являются универсальными. Если в схеме использован пиковый вольтметр, как на рис. 2.2, пиковая мощность рассчитывается по формуле

$$P = V_o^2 / R1.$$

Умножив пиковую мощность на 0,707, получим среднюю мощность. В некоторых приборах указанная операция умножения осуществляется с помощью делителя напряжения, установленного на входе вольтметра. Необходимо подчеркнуть, что термин «действующее», «среднее» и «пиковое» значения имеют смысл лишь для немодулированных синусоидальных сигналов. В противном случае показания приборов бессмысленны, если только они не прокалиброваны по какому-либо иному источнику.

Для измерения мощности на высоких частотах можно ис-

пользовать различные мостовые схемы. На рис 2.3 показан мост для измерений прямой и обратной волны. Эта схема была популярна для измерений КСВН. Квазимост Уинстона включает четыре основных элемента: резисторы $R1$ и $R3$ и антенну (подключенную к мосту в точке $J2$). Если сопротивление антенны R известно и мост уравновешен, то $R1/R2 = R3/R$. В идеальном случае сопротивления $R3$ и антенны равны, но это может ограничить использование моста. Поэтому в некоторых случаях берут $R3 = 68 \text{ Ом}$. Такой резистор можно использовать для антенны с импедансом 50 и 70 Ом с небольшой погрешностью. Такие приборы дают относительную, а не реальную мощность.

Преимущество такой системы в том, что при соответствующей калибровке можно точно измерять КСВН. При измерениях мощности прямой волны ВЧ-мощность подается на передатчик $J1$, с помощью потенциометра $R6$ добиваются отклонения стрелки на всю шкалу измерительного прибора $M1$. При измерениях мощности обратной волны прибор будет отсчитывать обратную мощность относительно КСВН. Поэтому прибор снабжен соответствующей шкалой КСВН.

Однако этот прибор нельзя оставлять в схеме во время передачи, так как из-за высокого внутреннего сопротивления он рассеивает значительную ВЧ-мощность. Такие приборы обычно снабжались выключателем, который отключал мост на

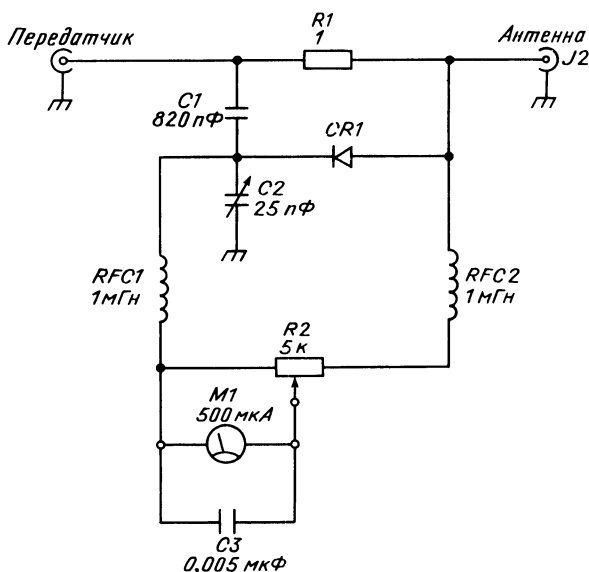


Рис. 2.4. Емкостно-резистивная мостовая схема для измерений ВЧ-мощности.

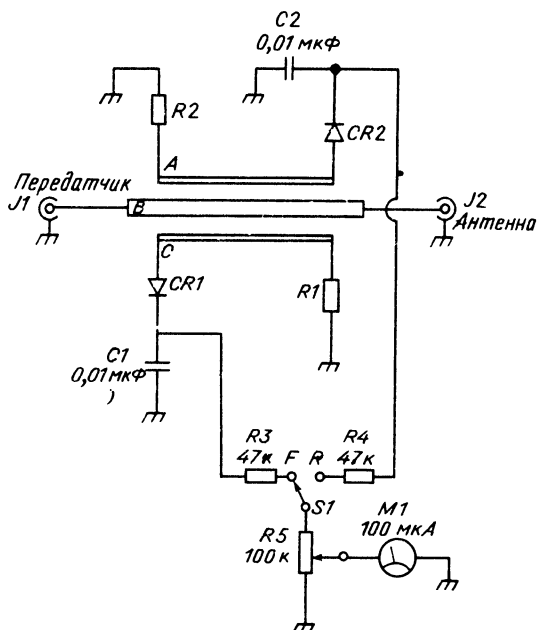


Рис. 2.5. ВЧ-ваттметр и измеритель КСВН.

время передачи. Мост подключался к схеме только для измерений.

Усовершенствованная схема - емкостно-резистивный мост - показана на рис. 2.4. Легко видеть, что этот мост совершеннее обычного моста, так как в нем используется всего один последовательно включенный резистор $R1$ сопротивлением 1 Ом. Этот резистор рассеивает значительно меньшую мощность, чем резистор 51 Ом, использованный в предыдущем примере. Благодаря такому низкому сопротивлению можно не отключать прибор во время передачи. При равновесии моста отношения его плеч должны быть равны. В данном случае нужно подогнать отношение реактивных сопротивлений $C1/C2$ и отношение сопротивлений $R1/R$. Для антенны с импедансом 50 Ом $R1/R = 1/75$. Подстроечный конденсатор малой емкости $C2$ должен быть подстроен так, чтобы $C1/C2$ равнялось 1/50 или 1/75 в зависимости от измеряемой антенны.

Для калибровки прибора можно использовать регулятор чувствительности. Прибор имеет три диапазона: 10, 100 и 1000 Вт. Каждый диапазон снабжен собственным регулятором чувствительности, который включается или выключается в случае необходимости.

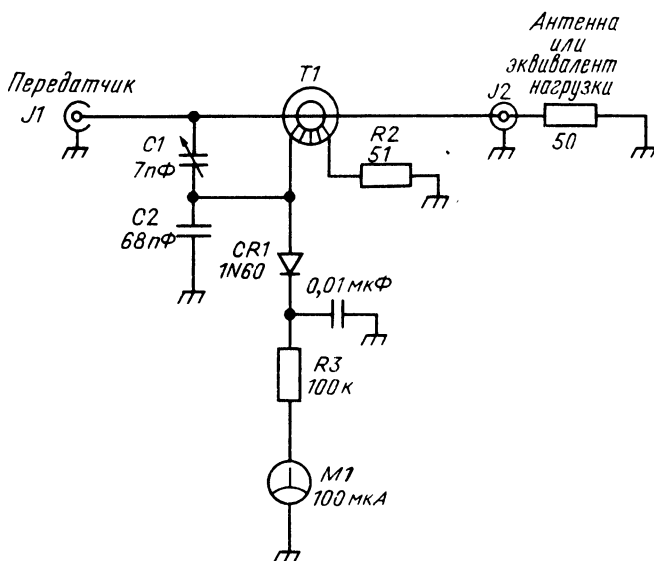


Рис. 2.6. ВЧ-ваттметр и измеритель коэффициента стоячей волны КСВ на ВЧ-измерительном трансформаторе.

Мостовая схема, представленная на рис. 2.5, предназначена для измерений в ВЧ- и УВЧ-диапазонах. Линией передачи здесь служит сегмент В, а роль плеч играют сегменты А и С. Хотя в первых конструкциях использовался датчик на коаксиальном кабеле, в последующих использовались печатные схемы.

В качестве датчика используется направленный ответвитель с детекторами для прямой и обратной волны. Для повышения точности диоды CR1 и CR2 и резисторы R1 и R2 должны подбираться к волновому сопротивлению линии передачи, хотя во многих приборах используется сопротивление 68 Ом.

В схеме на рис. 2.5 использован один измеритель постоянного тока для контроля выходной мощности. Если добавить потенциометр R5 и переключатель S1, то можно измерять КСВН. Во многих современных конструкциях используются два измерительных прибора: один для измерения мощности прямой волны, другой - обратной волны.

Одна из последних конструкций датчиков КСВН - прибор с измерительным трансформатором (рис. 2.6). В нем в качестве измерительного преобразователя используется одновитковый тороидальный трансформатор. Линия передачи, проходящая через отверстие в тороиде, образует первичную обмотку широкополосного ВЧ-трансформатора. Вторичная обмотка, насчитывающая от

10 до 40 витков тонкого эмалированного провода, связана с цепью измерительного моста с выпрямляющим выходом (С1, С2, нагрузка).

На рис. 2.7а, 2.7б и 2.8 показаны приборы с измерительным трансформатором. На рис. 2.7а показан внешний вид прибора фирмы "Heath" (модель НМ-102) для измерений КСВН и ВЧ-мощности. Как видно на его схеме (рис. 2.7б), датчик представляет собой разновидность измерительного трансформатора, где L1 - тороидальный трансформатор. Этот прибор может измерять мощность как прямой, так и обратной волны и может быть прокалиброван для измерений КСВН.

Ваттметр Bird Model 43 Thruline показан на рис. 2.9а. В течение многих лет он был промышленным эталоном для технического обслуживания средств связи. Хотя он несколько дороже, но в то же время более универсален, точен и надежен. Этот прибор может быть подключен к линии передачи антенной системы. Потери на этом приборе столь малы, что его можно не отключать от линии во время ее работы. Эта модель очень популярна у радиотехников, обслуживающих передвижные морские и сухопутные средства связи.

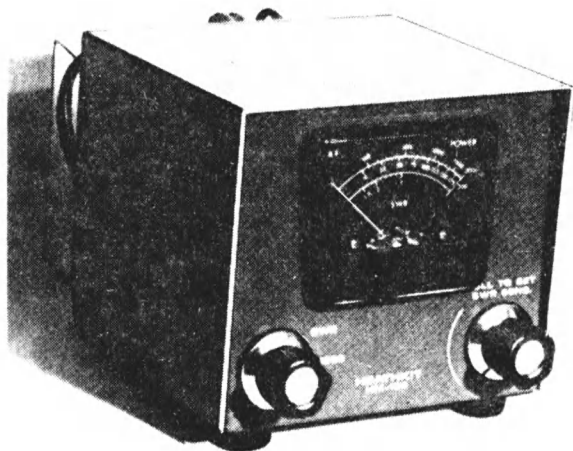


Рис. 2.7а. ВЧ-ваттметр - измеритель КСВН. (С любезного разрешения Heath Company.)

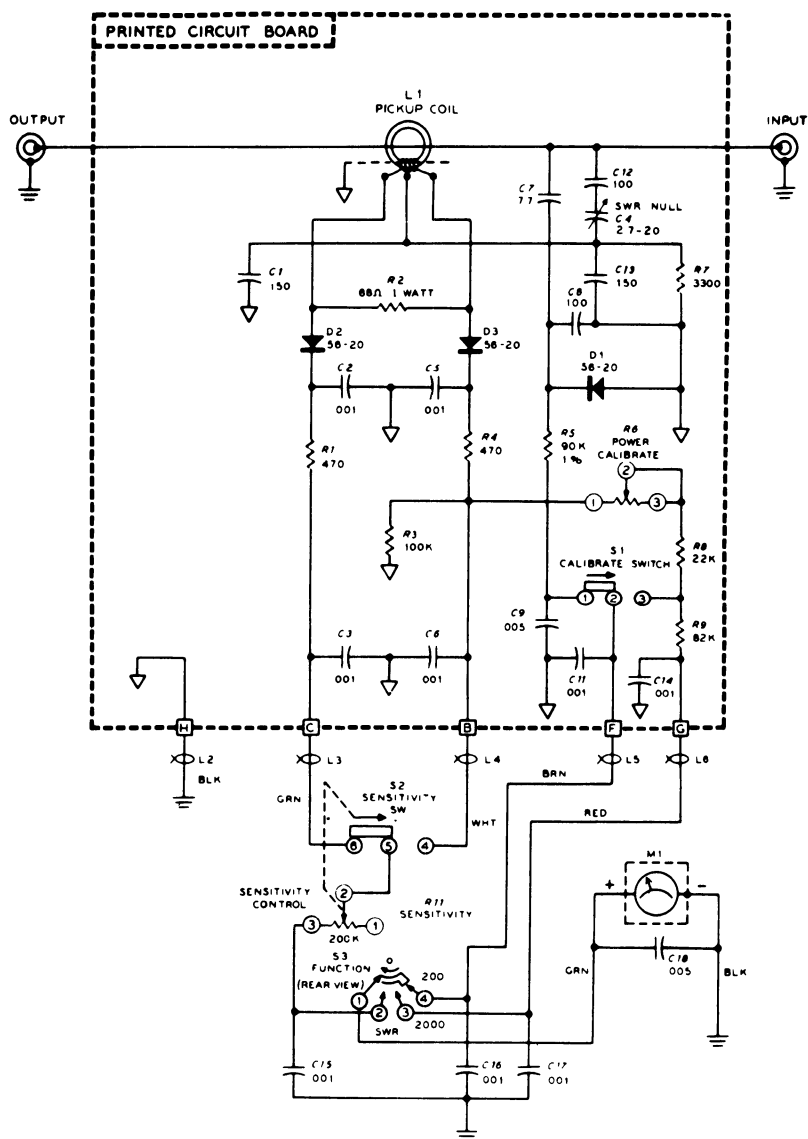


Рис. 2.76. Схема ВЧ-ваттметра. (С любезного разрешения Heath Company.)

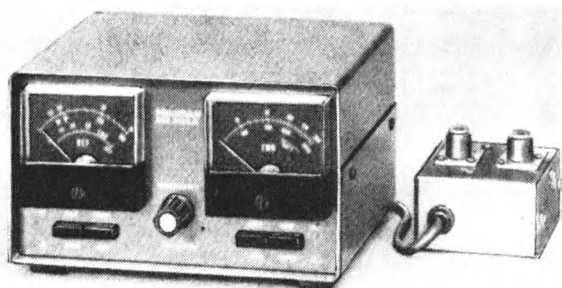


Рис. 2.8. Двойной ВЧ-ваттметр, измеряющий мощность прямой и отраженной волны одновременно. (С любезного разрешения Heath Company.)

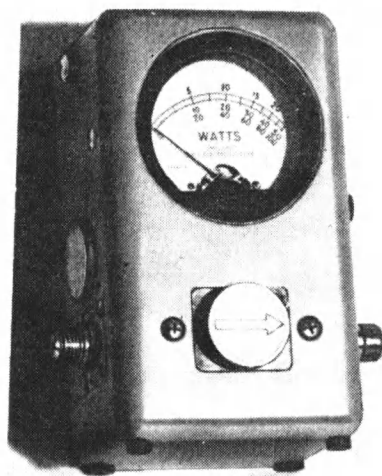


Рис. 2.9а. ВЧ-ваттметр Bird Model 43.

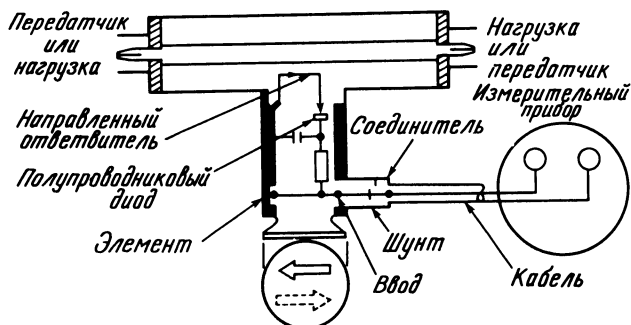


Рис. 2.9б. Внутреннее устройство Bird Model 43. (С любезного разрешения Bird Electronics.)

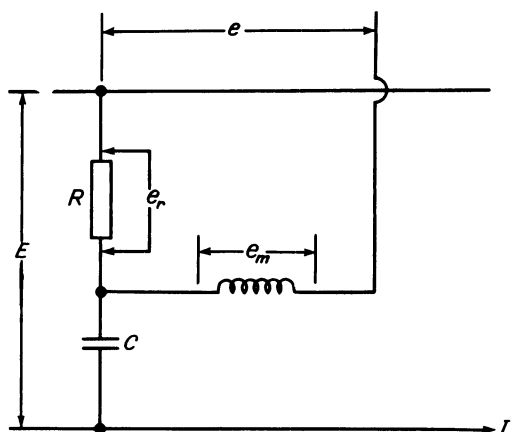


Рис. 2.9в. Эквивалентная схема ВЧ-ваттметра Bird Model 43.

Основным элементом в модели 43 Truline является узел направленный ответвитель - линия передачи (рис. 2.9б). Он подключается последовательно к антенне или эквиваленту нагрузки линии передачи. Съёмный направленный ответвитель можно повернуть на 180 градусов, чтобы измерить уровень мощности прямой и отраженной волны. В каждом съёмном направленном ответвителе есть колебательный контур. Имеется специальная коаксиальная линия с характеристическим импедансом 50 Ом. В основе работы датчика лежит взаимная индукция между колебательным контуром и центральным проводником коаксиального элемента. На рис. 2.9в показана эквивалентная схема. Напряжение на выходе контура e равно сумме двух напряжений e_r и e_m . Напряжение e_r обусловлено действием делителя R и C на напряжение линии передачи E . Если R много меньше X_c , то можно записать выражение для e_r :

$$e_r = RE/X_c = RE (j\omega C).$$

Напряжение e_m , обусловленное взаимной индукцией, равно

$$e_v = I(j\omega M) \pm M.$$

Теперь у нас есть выражения для обоих факторов, вносящих вклад в полное напряжение e :

$$e = j\omega M (E/Z_0 \pm I),$$

где Z_0 - импеданс линии передачи.

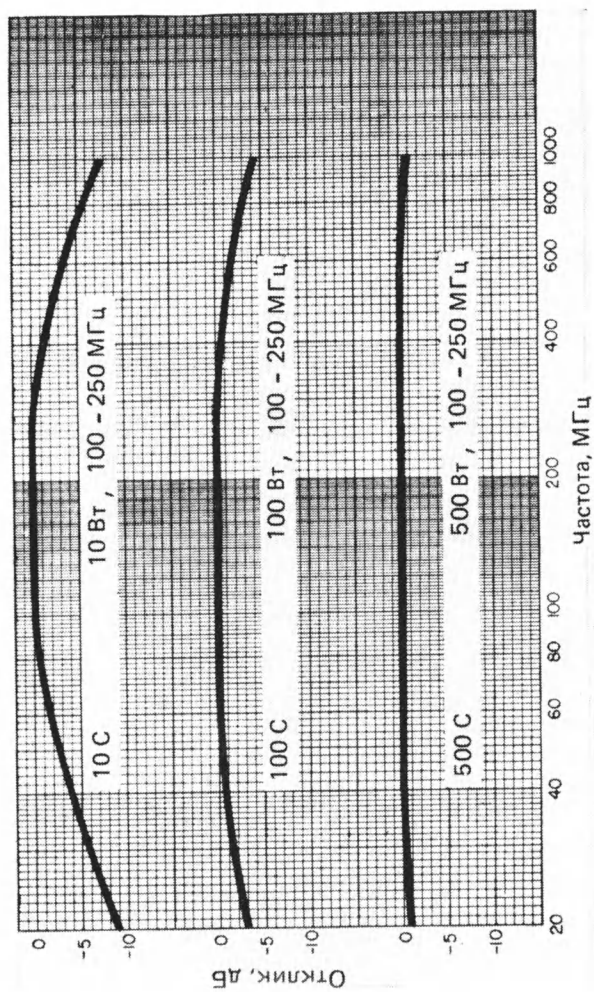


Рис. 2.9г. Частотный отклик типичной модели Bird 43. (С любезного разрешения Birds Electronics.)

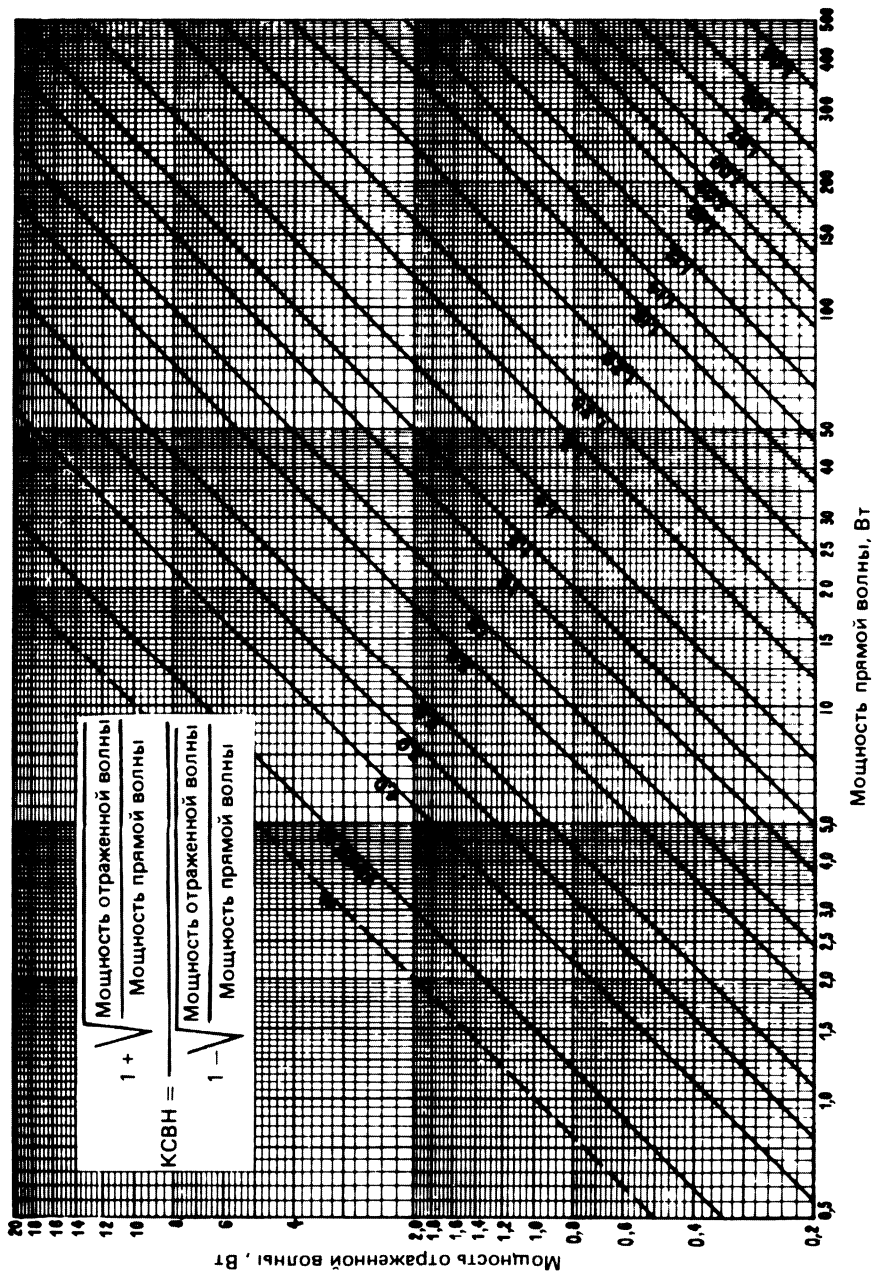


Рис. 2.10. Номограмма для определения КСВН по мощности прямой и отраженной волны. (С любезного разрешения Birds Electronics.)

Учитывая, что в любой точке линии передачи E складывается из суммы напряжений прямой E_t и отраженной E_r волны, а ток в линии равен

$$I = E_t/Z_0 - E_r/Z_0,$$

имеем

$$e = j\omega M 2E_t/Z_0, \quad e = j\omega M 2E_r/Z_0.$$

Напряжение e на выходе ответвителя пропорционально взаимной индукции и частоте (посредством $j\omega M$). Но изготовитель вводит реактивное сопротивление, так что частотная зависимость уменьшается (рис. 2.9г). Поэтому каждый элемент калибруется для определенной частоты и диапазона мощности. За пределами указанного диапазона мощности рабочие характеристики не гарантируются. Выпускаются элементы с различными рабочими характеристиками. Прибор не измеряет КСВН, а только мощность. КСВН можно вычислить по формуле или найти с помощью номограммы на рис. 2.10.

ГЛАВА 3

ВЫБОР И ПРИМЕНЕНИЕ ГЕНЕРАТОРОВ СИГНАЛОВ ДЛЯ РАДИОСВЯЗИ

Генератор сигналов представляет собой прибор, обеспечивающий контролируемый калиброванный сигнал на входе тестируемой электронной цепи или устройства. Существует несколько типов генераторов сигналов стоимостью в пределах от долларов до “килодолларов”. В этой главе мы рассмотрим несколько различных типов генераторов сигналов, а также обсудим некоторые приложения этих приборов.

КЛАССИФИКАЦИЯ ГЕНЕРАТОРОВ СИГНАЛОВ

В продаже имеется большое разнообразие генераторов. Некоторые из них являются приборами общего назначения, в то время как другие сконструированы для специальных видов работ. К последней категории относятся специализированные генераторы сигналов, используемые для текущего ремонта, тестирования и настройки стереофонических ЧМ-радиоприемников и телевизионных приемников, генераторы видеосигналов, предназначенные для ремонта телевизионных систем и кассетных видеомagneтофонов, а также специализированные авиационные электронные генераторы, предназначенные для проверки навигационного и дистанционного измерительного оборудования. Поскольку наша книга посвящена вопросам радиосвязи, мы рассмотрим только наиболее общие типы генераторов сигналов.

Один из способов классификации генераторов сигналов заключается в разбиении на следующие категории: звуковые, функциональные и радиочастотные. Хотя эти категории и перекрываются, они вполне приемлемы для наших целей.

Звуковые генераторы

Звуковой генератор, как следует из названия, выдает сигналы, лежащие в звуковом диапазоне. Для того чтобы генератор можно было отнести к этой категории, генерируемые им сигналы, должны по крайней мере перекрывать звуковой диапазон

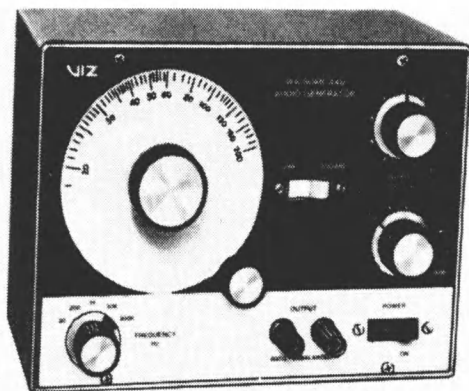


Рис. 3.1а. Генератор сигналов звуковой частоты. (С любезного разрешения Viz Electronics.)

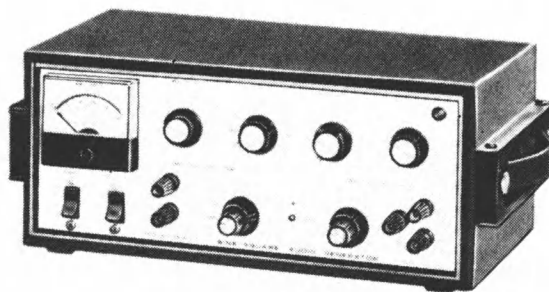


Рис. 3.1б. Генератор сигналов звуковой частоты со ступенчатой перестройкой. (С любезного разрешения Heath Company.)

(от 20 до 20000 Гц). Однако большинство современных генераторов этого типа способны генерировать сигналы и на более высоких частотах (типичным является верхний предел 100 или 200 кГц).

На рис. 3.1 показаны два типичных звуковых генератора. Генератор на рис. 3.1а имеет непрерывную перестройку частоты. Точное значение выходной частоты устанавливается настройным лимбом, в то время как переключатель диапазонов задает диапазон перестройки в целом. Модель, показанная на рис. 3.1б, является ступенчато-перестраиваемой. Выходная частота в таком генераторе задается набором переключателей, контролирующей цепь внутреннего RC-генератора. Контроль умножения ча-

стоты осуществляется переключением конденсаторов в RC-генераторе, а десятичных разрядов (100, 10, 1) - переключением сопротивлений.

Хотя некоторые звуковые генераторы выдают только синусоидальные сигналы, другие наиболее современные генерируют как синусоидальные, так и прямоугольные сигналы. На рис. 3.2 приведены некоторые методы генерации таких сигналов. Используемый в некоторых моделях гетеродинный метод показан на рис. 3.2а. Один из генераторов имеет фиксированную частоту в окрестности 100 кГц, а другой перестраивается в диапазоне от 80 до 100 кГц или от 100 до 120 кГц. Главная ручка настройки генератора управляет перестраиваемым осциллятором. Этот метод является типичным для генераторов звуковой частоты с непрерывной перестройкой, так как создание дешевого широкополосного генератора - трудная задача.

Выходные сигналы генератора с фиксированной частотой и перестраиваемого генератора объединяются в смесителе, что приводит к образованию суммарного и разностного сигналов. Фильтр нижних частот пропускает только разностный сигнал. Если частота фиксированного генератора - 100 кГц, а перестраиваемый генератор работает в диапазоне от 100 до 120 кГц то сигнал на выходе фильтра нижних частот будет лежать в диапазоне от 0 до 20 кГц. На практике, настроечный лимб калибруется от 20 Гц до 20 кГц.

Выходной сигнал синусоидального генератора можно преобразовать в прямоугольный посредством нескольких схем. Метод, основанный на преобразовании с помощью компаратора, возможно, является наиболее распространенным (см. рис. 3.2б). В рассматриваемом компараторе опорная шина заземлена, и, таким образом, выходной сигнал равен нулю только в том слу-

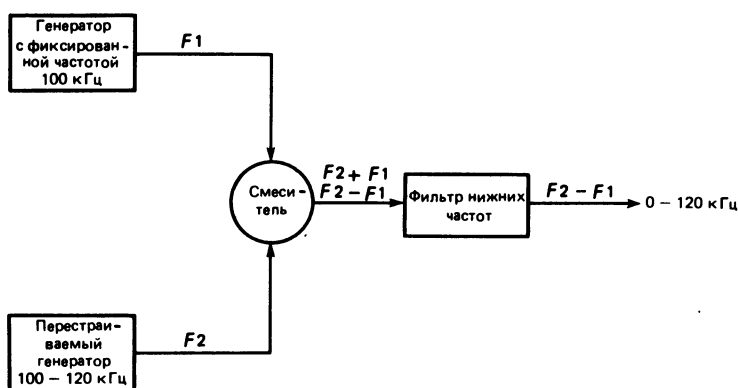


Рис. 3.2а. Гетеродинный метод формирования сигналов звуковой частоты.

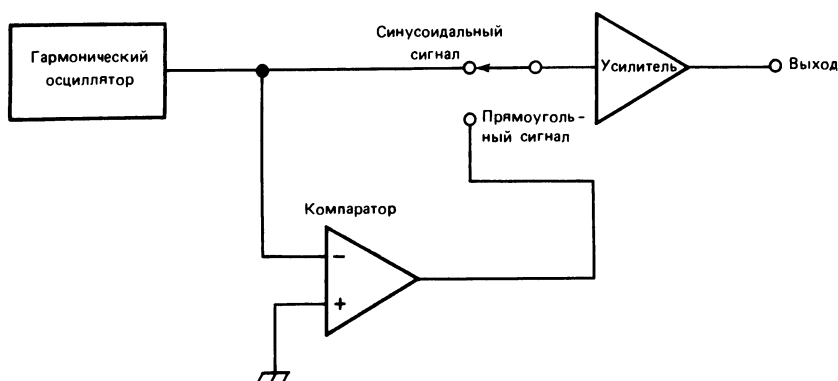


Рис. 3.26. Блок-схема простого генератора синусоидальных и прямоугольных сигналов.

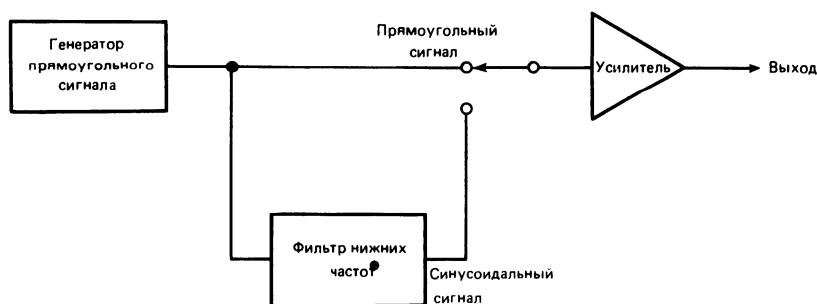


Рис. 3.2в. Преобразование прямоугольной волны в синусоидальную.

чае, когда синусоидальный сигнал проходит через нуль. Когда на вход компаратора поступает положительная полуволна, потенциал на выходе компаратора равен $-V$, в то время как отрицательная полуволна приводит к выходному потенциалу $+V$. Таким образом, при синусоидальных осцилляциях на входе, потенциал на выходе компаратора периодически меняется от $+V$ до $-V$.

В большинстве генераторов со ступенчатой перестройкой (рис. 3.26) в качестве задающего используется генератор прямоугольных сигналов. Схемы этого типа имеют два преимущества. Во-первых, выходной сигнал имеет постоянную амплитуду (в то время как амплитуда на выходе генератора синусоидальных сигналов зависит от частоты). Во-вторых, можно относительно легко сконструировать многооктавный генератор прямоугольных

сигналов на основе RC-компонентов. В случае генератора синусоидальных сигналов требуются значительные ухищрения даже при диапазоне в одну октаву. Для преобразования прямоугольного сигнала в синусоидальный на выходе генератора прямоугольных сигналов ставится фильтр нижних частот с крутым спадом частотной характеристики (рис. 3.2в). Типичный частотный спектр прямоугольной волны состоит из основной спектральной линии и набора гармоник.

Стандартный выходной импеданс звукового генератора является резистивным и составляет 600 Ом. Большинство современных приборов имеет на выходе клеммы с расстоянием между центрами приблизительно 19 мм. Имеются также адаптеры для подключения байонетных разъемов, а также разъемов типа RCA и SO-239.

Генераторы функций

Генераторы функций несколько сложнее поддаются классификации, чем звуковые и РЧ-генераторы, поскольку они работают как в более высоких, так и более низких частотных диапазонах. Ситуация еще более усложняется тем, что некоторые звуковые генераторы работают на таких же низких частотах, как и генераторы функций, а некоторые генераторы функций работают на частотах до 10 или 11 МГц (т. е. на радиочастотах).

Типичный генератор функций показан на рис. 3.3. Эта модель, Heath IG-1271, работает в диапазоне от 1 до 100 кГц и позволяет получать на выходе синусоидальные, прямоугольные и треугольные волновые фронты. Одно из отличий генератора функций от генератора звуковых сигналов заключается в наличии по крайней мере этих трех типов сигналов. Некоторые генераторы функций формируют также импульсные сигналы.

Генераторы функций могут иметь различные значения выходного сопротивления. Некоторые модели имеют по крайней мере три различных значения. Модель, показанная на рис. 3.3, имеет выходное сопротивление 50 Ом, во многих других моделях применяется звуковой стандарт 600 Ом. Ряд моделей имеет три различных выхода: 50, 600 Ом и ТТЛ-совместимый. ТТЛ-выход имеет прямоугольный или импульсный выходной сигнал и совместим с ТТЛ-цифровой логикой (нижний уровень от 0 до 0,8 В, верхний - от 2,4 до 5,2 В).

Радиочастотные генераторы

РЧ-генераторы формируют радиочастотные сигналы, хотя не всегда можно твердо сказать, является ли сигнал РЧ-сигналом.

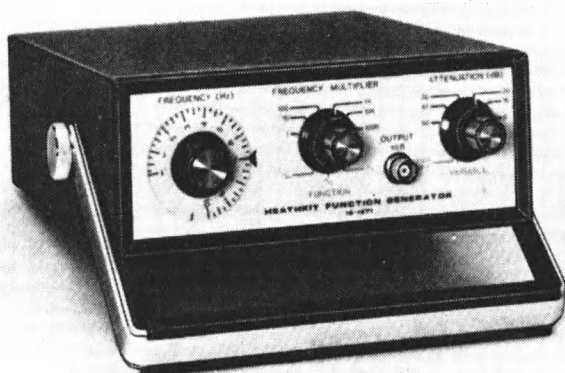


Рис. 3.3. Генератор функций. (С любезного согласия Heath Company.)

Например, некоторые радиостанции ВМС работают в диапазоне от 10 до 20 кГц, который кто-то отнес бы к звуковому. Другие РЧ-генераторы работают в ВЧ, ОВЧ, УВЧ, микроволновом или других диапазонах! Возможно, различие определяется предполагаемым применением: РЧ-приборы предназначены для работы с электромагнитным излучением, а не с акустическими волнами. Большинство людей с нормальным слухом слышат акустический сигнал на частоте 12 кГц, и в то же время РЧ-сигнал на частоте 12 кГц не может быть услышан без демодулятора или какого-либо приемника.



Рис. 3.4. Сервисный генератор РЧ-сигналов. (С любезного разрешения V & K Electronics.)

На рис. 3.4 показан сервисный генератор сигналов, который работает в диапазоне от ОНЧ до ВЧ, включая весь ВЧ-диапазон. Этот генератор сигналов предназначен в основном для поиска неисправностей. Он может быть использован для регулировки непрецизионных схем, но не удовлетворяет полностью требованиям, предъявляемым при регулировке прецизионных приемников.

В этой модели применяется выходной разъем такого же типа, как и в обычных звуковых генераторах, в большинстве

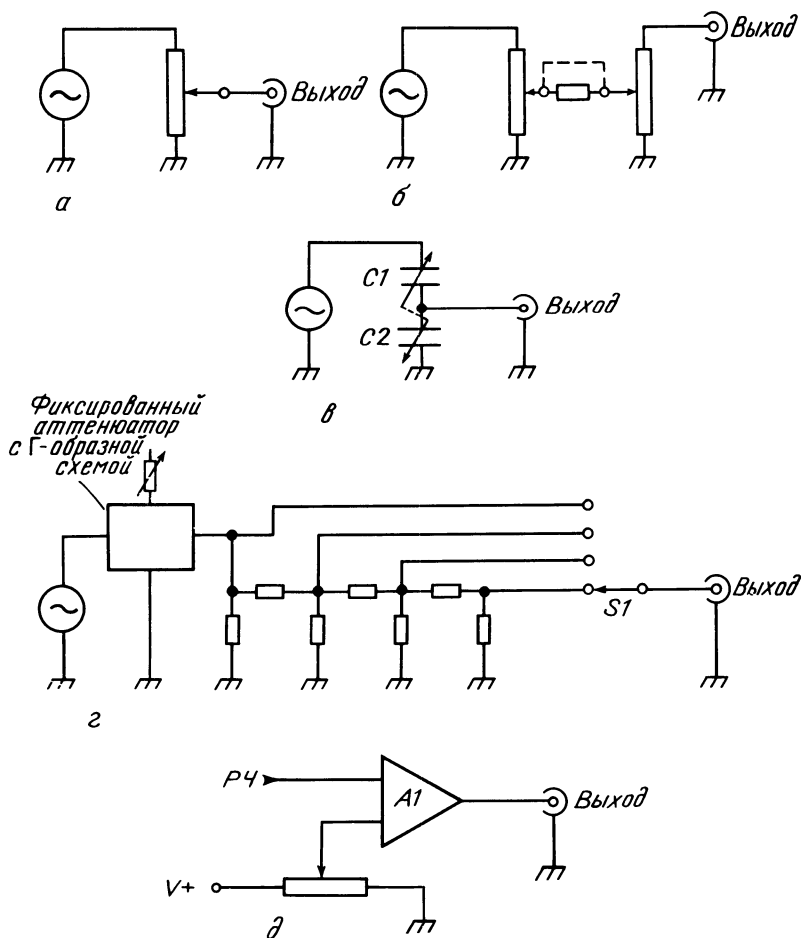


Рис. 3.5. Различные схемы аттенюаторов.

других РЧ-генераторов используются РЧ-разъемы (байонетный, SO-239, типа N и т. п.). В генераторах РЧ-сигналов выходной импеданс, как правило, резистивный и составляет 50 Ом (только в телевизионных системах принят стандарт 75 Ом).

ВЫХОДНЫЕ АТТЕНЮАТОРЫ

Одно из принципиальных различий между дорогими и недорогими генераторами заключается в возможности надежного контроля уровня выходного сигнала. В дешевых приборах надежный контроль невозможен из-за недостаточной экранировки. Поэтому при использовании таких генераторов для наладки прецизионных схем возникает проблема учета РЧ-мощности, минующей экранировку и проходящей через аттенюатор. В этом разделе мы рассмотрим некоторые распространенные схемы аттенюаторов (рис. 3.5).

Наиболее простой и наименее эффективной схемой выходного аттенюатора является простая потенциометрическая система, показанная на рис. 3.5,а. В этом случае потенциометр на 50 или 100 Ом используется как регулятор громкости выходного уровня. Существенной проблемой здесь является изменение выходного импеданса, сопровождающее изменение выходного сигнала. Кроме того, в большинстве таких конструкций происходит значительная утечка мощности через потенциометр.

Метод, базирующийся на применении согласующего аттенюатора, показан на рис. 3.5,б. В этой конструкции два потенциометра имеют общий регулятор, а скользящие контакты связаны посредством третьего сопротивления. В некоторых конструкциях в качестве третьего сопротивления применяется потенциометр, а не фиксированное сопротивление. Выходной импеданс в такой схеме более стабилен, чем в случае, представленном на рис. 3.5,а.

Аттенюатор с дифференциальным переменным конденсатором показан на рис. 3.5,в. Эта схема является базовой для регулируемых выходных аттенюаторов в РЧ-генераторах (хотя конструкция большинства из них немного сложнее). Уровень выходного сигнала определяется отношением реактивных сопротивлений конденсаторов C_1 и C_2 , формирующих делитель переменного радиочастотного напряжения.

Аттенюатор, представленный на рис. 3.5,г, обычно применяется в звуковых генераторах и генераторах функций. Плавная (вернерная) настройка обеспечивается аттенюатором с Г-образной схемой. Ступенчатые аттенюаторы, следующие за аттенюатором с Г-образной схемой, формируют диапазоны уровней сигнала, контролируемые переключателем S_1 .

Электронный аттенюатор показан на рис. 3.5,д. Эта схема

применяется во многих высококачественных приборах. Существует два основных типа электронных аттенюаторов. В схеме на рис. 3.5,д используется широкополосный усилитель с регулируемой усиления. В некоторых случаях для стабилизации выходного импеданса на уровне 50 Ом используется фиксированный согласующий аттенюатор с ослаблением от 1 до 3 дБ. Уровень выходного сигнала определяется постоянным опорным потенциалом, который регулируется потенциометром.

Другая конструкция РЧ-аттенюатора, регулируемого постоянным током, на основе схемы двойной баллансной модуляции имеет иные применения. В таких аттенюаторах через диоды пропускается постоянный ток и управляющий постоянный потенциал играет роль модулирующего сигнала.

Индикаторы уровня выходного сигнала

Существует два метода калибровки уровня сигнала на выходе генератора. Первый заключается в измерении уровня сигнала на входе аттенюатора и последующей калибровке лимба относительно этого уровня (рис. 3.6а). В таких приборах выходной индикатор снабжен калибровочной меткой. Уровень сигнала подстраивается к этой метке верньерным регулятором и затем истинный уровень выходного сигнала считывается с калиброванного аттенюатора. Другой (менее популярный) метод заключается в измерении выходного сигнала с помощью вольтметра переменного напряжения звуковой или радиочастоты (последние пока мало распространены).

Выходной аттенюатор может быть откалиброван в единицах напряжения или мощности. В звуковых генераторах уровни напряжения измеряются в милливольтках, в то время как уровни мощности измеряются в единицах громкости - децибелах (см. гл. 22). В РЧ-генераторах выходные уровни измеряются в микровольтах или единицах "дБм" (децибел относительно уровня 1 мВт). Как в случае звукового, так и РЧ-сигнала точность калибровки аттенюатора зависит от стабильности выходного сопротивления, которое обычно составляет 50 Ом для РЧ-генераторов и 600 Ом для звуковых.

ГЕНЕРАТОРЫ РЧ-СИГНАЛОВ

Для работ в области радиосвязи требуются различные типы РЧ-генераторов. Хотя охватить все схемы, включая специализированные, невозможно, рассмотрим некоторые наиболее распространенные типы (рис. 3.6 - 3.8).

На рис.3.6а показана самая общая схема генератора сигналов. На протяжении многих лет она использовалась в большинстве промышленных РЧ-генераторов. Хотя показанная здесь схема с одним перестраиваемым генератором в первую очередь характерна для более дешевых моделей, она встречается и в высококачественных приборах, особенно предыдущих поколений (например, Measurement Corporation Model 80). Единственный перестраиваемый генератор, как правило, с конденсаторной перестройкой формирует сигнал требуемой частоты. Далее сигнал поступает на выходной аттенюатор, калибруется и покидает генератор.

Сигналы для амплитудной и частотной модуляции в генераторах этого типа подаются непосредственно на задающий генератор. Возможность частотной модуляции обеспечивается реактансной схемой либо варакторным диодом в колебательном LC-контуре. Амплитудная модуляция обычно осуществляется модуляцией напряжения питания. Если амплитудная модуляция

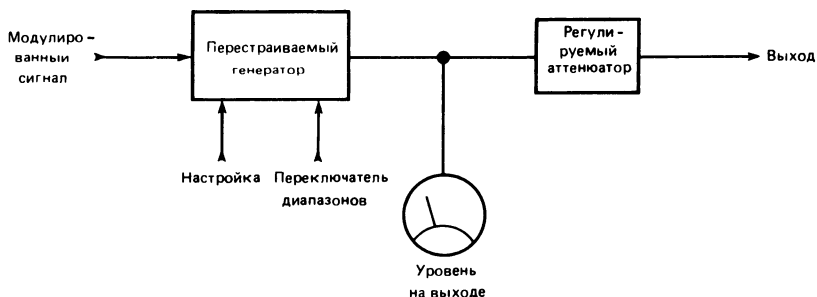


Рис. 3.6а. Простая схема РЧ-генератора.

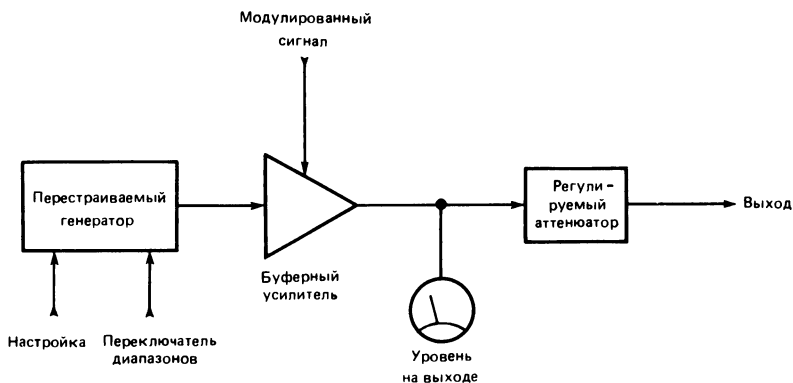


Рис. 3.6б. Схема РЧ-генератора с буферным усилителем.

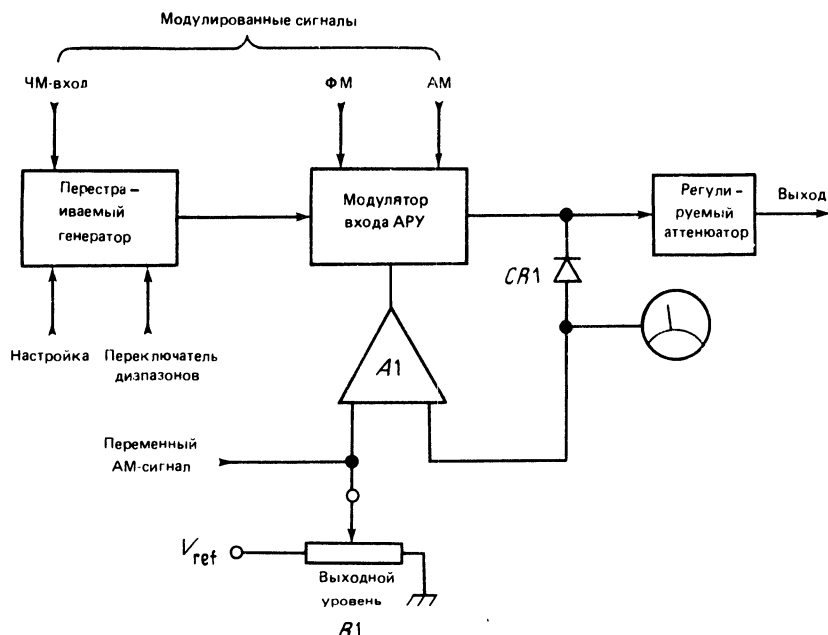


Рис. 3.6в. Схема РЧ-генератора с регулировкой уровня выходного сигнала.

осуществляется непосредственно в задающем осцилляторе, то можно держать пари, что имеется возможность осуществлять частотную модуляцию независимо от того, что написано на панели управления. Возможность получения ЧМ-сигнала объясняется тем, что модулируемый осциллятор имеет тенденцию к изменению частоты при модуляции. Например, принадлежащий автору генератор Measurement Corporation Model 80 дает ЧМ-сигнал на частоте 150 МГц с девиацией от -25 до +25 кГц при коэффициенте амплитудной модуляции 30% (девиация уменьшается при уменьшении коэффициента модуляции).

Лучшая схема амплитудной модуляции показана на рис. 3.6б. Этот генератор также создан на основе перестраиваемого задающего осциллятора, но с буферным усилителем (перестраиваемым или широкополосным в зависимости от конструкции) между задающим осциллятором и выходным аттенуатором. Амплитудная модуляция осуществляется в усилителе, что устраняет проблему паразитной частотной модуляции, присущей схеме на рис. 3.6б.

Несколько более сложный генератор с перестраиваемым задающим осциллятором представлен на рис. 3.6в. В этом случае, амплитудная и фазовая модуляции осуществляются с помощью

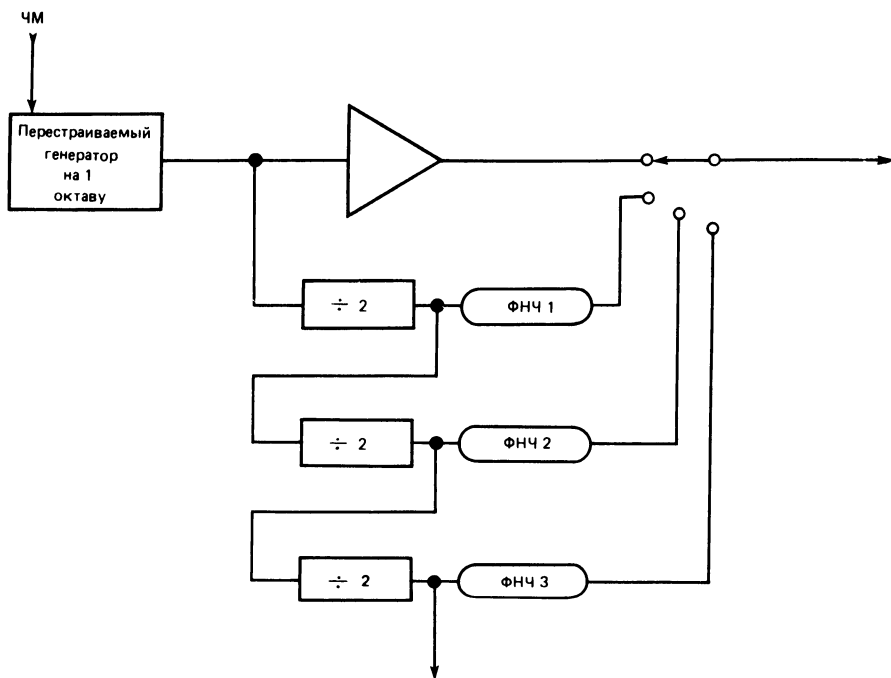


Рис.3.7. Генератор субгармоник.

модуляционного блока, в то время как частотная модуляция происходит непосредственно в колебательном контуре задающего осциллятора. Особенностью схемы является регулировка усиления выходного сигнала. Модулятор имеет вход автоматической регулировки усиления (APY), и этот вход используется для контроля уровня выходного сигнала. Усилитель А1 используется для сравнения амплитуды продетектированного диодом CR1 выходного сигнала с уровнем постоянного потенциала, задаваемого схемой контроля выходного уровня (R1-потенциометр). Если уровень выходного сигнала меняется, то усиление модулятора подстраивается так, чтобы вернуть его к уровню, задаваемому потенциометром R1. Другой метод амплитудной модуляции заключается в модуляции сигнала на входе APY.

Генератор, представленный на рис. 3.7, формирует сигналы на высоких частотах, обычно в нижней части ОВЧ-диапазона. Задающий генератор при этом должен перекрывать диапазон по крайней мере, в одну октаву. Набор двоичных счетчиков и связанных с ними фильтров нижних частот формирует сигналы нижнего диапазона из сигналов верхнего диапазона. Для про-

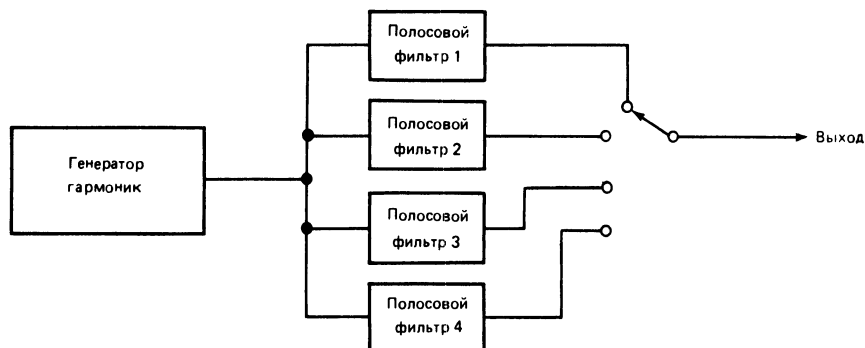


Рис. 3.8а. Гармонический синтезатор частот.

стоты здесь показана только задающая часть схемы, остальное аналогично схеме на рис. 3.6в.

Три типа синтезаторов частот показаны на рис. 3.8. Эти упрощенные схемы демонстрируют гармонический (рис. 3.8а) и прямой (рис. 3.8б) методы синтеза. При гармоническом синтезе сигнал от генератора с широким спектром гармоник подается на систему полосовых фильтров. Эти фильтры выделяют требуемые гармоники. В некоторых случаях используется только одна гармоника, в других для синтеза требуемого сигнала смешиваются наборы гармоник.

В схеме прямого синтеза для настройки генератора, управляемого напряжением (ГУН), на заданную частоту используется система фазовой автоподстройки частоты (ФАПЧ). Сигнал ГУН или полученный от него делением частоты сравнивается с опорным (1 МГц в рассматриваемом случае) в фазовом детекторе. Сигнал, отфильтрованный после фазового детектора, является сигналом рассогласования по постоянному току. Он может быть усилен усилителем постоянного тока и подан на ГУН для корректировки частоты выходного сигнала. В большинстве широкополосных генераторов между ГУН и фазовым детектором имеется делитель частоты, понижающий ее до частоты опорного сигнала.

Гетеродинный синтезатор частот показан на рис. 3.8в. Схемы этого типа были основой первых коммерческих, радиовещательных, персональных и любительских радиопередатчиков с синтезом частот. Здесь выходные сигналы ряда кварцевых генераторов гетеродинируются для формирования сигналов с суммарными и разностными частотами, из которых оператор делает выбор.

Большинство современных синтезаторов частот построены на комбинации двух или трех вышеприведенных методов, прежде

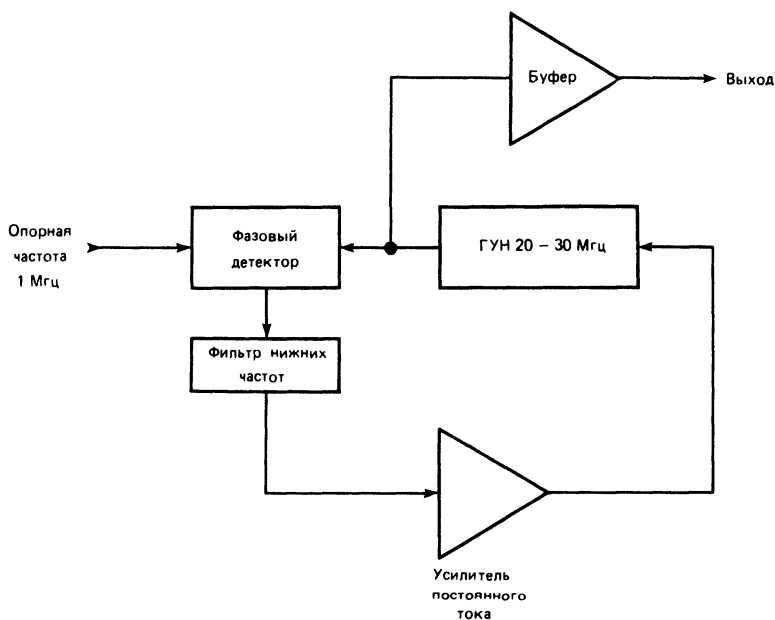


Рис. 3.86. Синтезатор частоты с ФАПЧ.

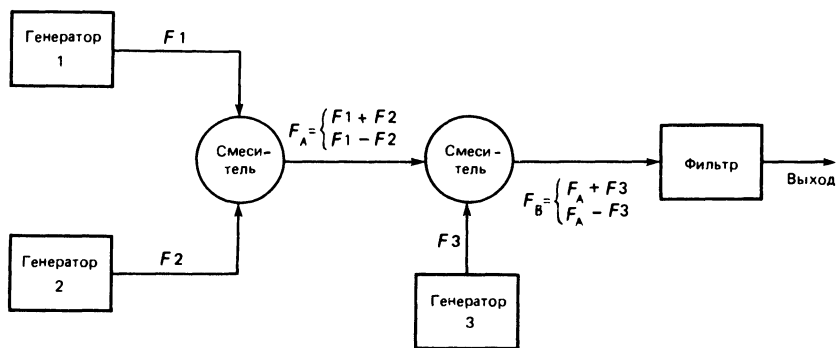


Рис. 3.8в. Гетеродинный синтезатор частот.

всего представленных на рис. 3.86 и 3.8в. При тщательной экранировке, надежной фильтрации сигнала и хорошей конструкции синтезатора частот, его выходной сигнал может не отличаться от выходного сигнала одночастотного генератора.

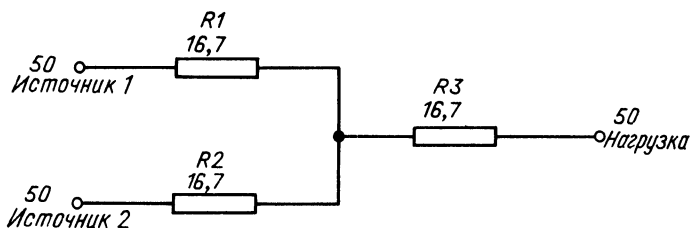


Рис. 3.9а. Двухканальная 50-омная схема сопряжения/разветвления.

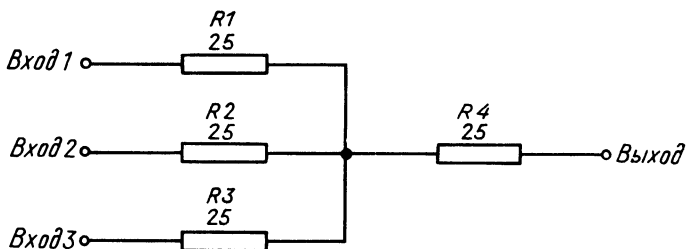


Рис. 3.9б. Трехканальная 50-омная схема сопряжения/разветвления.

ПРИМЕНЕНИЕ ГЕНЕРАТОРОВ СИГНАЛОВ

В этом разделе мы рассмотрим несколько практических вопросов, касающихся применения генераторов. Более конкретная дополнительная информация дана в главе, посвященной оборудованию для поиска неисправностей.

Объединение выходных сигналов от разных приборов

В ходе многих измерений возникает необходимость объединения двух или более приборов для формирования суммарного сигнала. Например, при настройке радиоприемника ЧМ-сигналов с помощью генератора качающейся частоты может возникнуть необходимость объединения вспомогательного и основного радиосигналов. На рис. 3.9а показана схема сопряжения выходов двух генераторов с выходными сопротивлениями 50 Ом в один общий выход с тем же сопротивлением. На рис. 3.9б показана схема сопряжения трех 50-омных генераторов.

ПОЧЕМУ НАПРЯЖЕНИЕ НЕ СООТВЕТСТВУЕТ УСТАНОВЛЕННОМУ ?

Расхождение между ожидаемым согласно показаниям регуляторов значением выходного напряжения и реальными показаниями

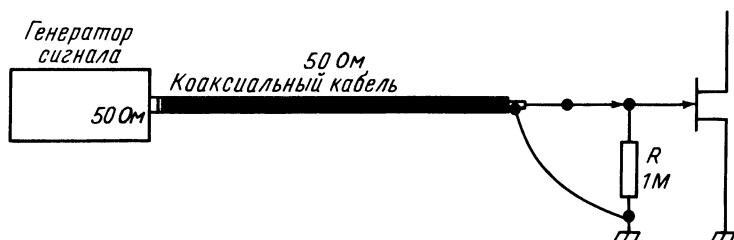


Рис. 3.10. Коаксиальный кабель, связанный с рассогласованной нагрузкой.

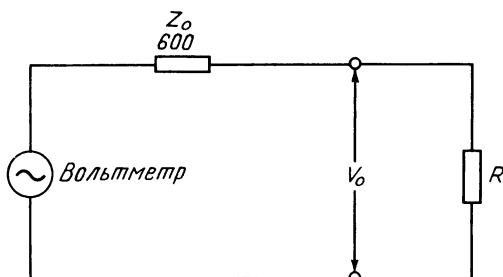


Рис. 3.11. Схема для расчета выходного сигнала при рассогласованной нагрузке.

приборов может объясняться несколькими причинами. Рассмотрим две из них (рис. 3.10 и 3.11).

Первая причина - возможно образование стоячей волны в выходном кабеле вследствие рассогласованной нагрузки. Коаксиальный кабель на выходе РЧ-генератора представляет собой передающую линию, что особенно важно на высоких частотах, где его длина становится сравнимой с длиной электромагнитной волны. Такой случай представлен на рис. 3.10. Здесь представлен 50-омный генератор с 50-омной линией на выходе, нагруженной на высокоомное сопротивление. В результате, как и в любой рассогласованной линии, возникает стоячая волна. Коэффициент стоячей волны по напряжению (КСВН), вводимый для линии, показывает, что напряжение, измеряемое в любой точке линии, является алгебраической суммой бегущей вперед и отраженной волн и, как правило, не соответствует показаниям аттенюатора на выходе генератора. Хорошим решением этой проблемы может быть использование аттенюатора с ослаблением 1 - 3 дБ между кабелем и нагрузкой.

Второй причиной может являться рассогласованная нагрузка непосредственно на выходе генератора. Например, одной школой

для радиофизических экспериментов был приобретен новый генератор функций с верхней частотой 11 МГц. Этот генератор имел выходной импеданс 600 Ом, а не 50 Ом, как требовалось в руководстве для лабораторных работ. Реальное напряжение на выходе генератора, в этом случае, можно вычислить исходя из обычного соотношения для напряжения:

$$V_0 = VR / (R + 600),$$

где V_0 - реальное выходное напряжение, V - установленное выходное напряжение, R - нагрузочное сопротивление, 600 - импеданс генератора. Таким образом, для 600-омного генератора с сопротивлением нагрузки 50 Ом выходное напряжение составило всего 50/650 от установленного.

ГЛАВА 4

ОСЦИЛЛОГРАФ

Спросите у классных техников-профессионалов, обслуживающих средства связи, какой прибор для поиска неисправностей они выбрали бы, если бы им разрешили взять только один. Тогда вы узнаете, как высоко они ценят электронно-лучевой осциллограф, или просто осциллограф. Поскольку осциллограф очень важен для работы, а рамки этой книги неизбежно ограничены, первое, что я хочу сделать, - посоветовать читателю изучить книгу, специально посвященную осциллографам.

Осциллограф - это прибор, в котором для индикации формы сигналов применяется электронно-лучевая трубка (ЭЛТ). ЭЛТ устроена так, что электронный луч, формируемый "электронной пушкой" (или излучающим катодом), ударяется о покрытый люминофором экран, оставляя в месте соударения светящуюся точку. В принципе луч может отклоняться электростатическим или электромагнитным способами, но для технического обслуживания применяется только осциллографы с электростатическим отклонением. В телевизорах используется магнитная отклоняющая система, в которой магнитное поле формируется катушкой индуктивности. Но ограниченный частотный диапазон и нелинейность магнитного отклонения не позволяют применять их в осциллографах.

В электростатической отклоняющей системе имеются две пары отклоняющих пластин - горизонтальные (или пластины вертикального отклонения) и вертикальные (или пластины горизонтального отклонения). Если к вертикальным пластинам приложено пилообразное напряжение, то луч будет перемещаться по экрану слева направо, осуществляя временную развертку. Если же подать сигнал на горизонтальные пластины, то луч нарисует на экране ЭЛТ форму этого сигнала.

В некоторых приборах переменные напряжения подаются как на вертикальные, так и на горизонтальные отклоняющие пластины, и на экране появляется векторная картина, позволяющая оценить соотношение между ними. Такие диаграммы называются фигурами Лиссажу и часто применяются при поиске неисправностей в аппаратуре связи. В студиях цветного телевиде-

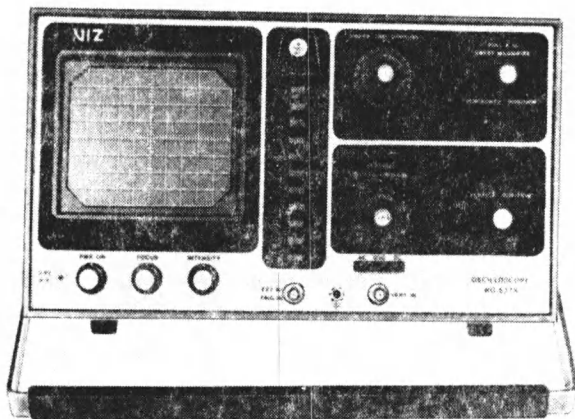


Рис. 4.1 Осциллограф с синхронизируемой разверткой. (С любезного разрешения Viz Electronics.)

ния фигуры Лиссажу используются для контроля цветового сигнала.

На рис. 4.1 показан недорогой одноканальный осциллограф для технического обслуживания. Как и у всех современных осциллографов, у него есть система синхронизированного запуска развертки. Это значит, что луч не начнет двигаться по экрану ЭЛТ до тех пор, пока сигнал не поступит в усилитель. Управляя уровнем запуска, можно исследовать различные участки сигнала. Обратите внимание, что на экран ЭЛТ, расположенной в левой части прибора, нанесена масштабная сетка с делениями. Деления (обычно 1 дел = 1 см) нужны для измерения напряжений и интервалов времени, которые мы обсудим ниже.

В старых моделях осциллографов отсутствует синхронизация запуска развертки. У них отклонение луча по горизонтали производится асинхронно с входным сигналом. Переключатели горизонтальной развертки прокалиброваны непосредственно в значениях частоты, т. е. сколько раз в секунду луч пробежит по экрану слева направо. Использование этих приборов ограничено, потому что у большинства из них усилитель вертикального отклонения имеет узкую полосу пропускания и не позволяет исследовать сигналы, интересующие связистов.

Ширина полосы пропускания усилителя вертикального отклонения имеет очень большое значение при выборе осциллографа. Одно время широкополосные приборы можно было найти только в лабораториях проверки измерительных приборов. Например, в середине 60-х годов надо было заплатить 4000 долл. за двухка-

нальный осциллограф с полосой 35 МГц (причем 4000 “старых” долларов). Сегодня такой осциллограф можно купить за 1000 “новых” долл., и даже модели с полосой 100 МГц стоят всего 2000 долл. Общее правило, верное практически всегда, - выбирайте осциллограф с наибольшей шириной полосы пропускания усилителя вертикального отклонения из тех, которые вам по карману. Трудно ошибиться, имея запас по полосе пропускания, но недостаточная полоса может погубить работу.

В последующих разделах мы рассмотрим типовые органы управления современного осциллографа и дадим некоторые пояснения по их работе. Помните, что не все осциллографы имеют полный набор описываемых регуляторов, особенно относящихся к специализированной системе запуска выбранной модели. Кроме того, на некоторых моделях осциллографов одни и те же органы управления могут называться по-разному, но действовать совершенно аналогично. Разделим все органы управления на следующие группы: управляющие, вертикального отклонения, горизонтального отклонения и системы запуска.

ОРГАНЫ УПРАВЛЕНИЯ ОСЦИЛЛОГРАФА

Группа органов управления (некоторые из них могут находиться на задней панели осциллографа) представлена на рис. 4.2 и включает в себя выключатель питания (ON/OFF), регуляторы яркости, фокусировки, астигматизма, подсветки шкалы, видеоискателя и внутреннего калибратора сигнала. Эти регуляторы работают следующим образом.

ВЫКЛЮЧАТЕЛЬ ПИТАНИЯ включает и выключает прибор; обычно он стоит в цепи переменного сетевого напряжения (или подключает батареи в переносных приборах). В некоторых осциллографах выключатель питания совмещен с другим регулятором (например, интенсивности) подобно тому, как в радиоприемниках выключатель питания входит в состав регулятора громкости. В других осциллографах, особенно последних моделей, выключатель питания конструктивно обособлен. Реализация этого выключателя может быть различна: клавишный или поворотный в старых моделях и нажимная кнопка в новых.

ЯРКОСТЬ. Этот регулятор управляет яркостью свечения ЭЛТ. Возьмите за правило работать с таким уровнем яркости, при котором можно не напрягаясь видеть весь сигнал на экране. Если на экране ЭЛТ долгое время высвечивается один и тот же сигнал (или просто линия горизонтальной развертки в отсутствие сигнала), снизьте уровень яркости, чтобы предохранить люминофорное покрытие ЭЛТ от выгорания.

ФОКУСИРОВКА. Этот регулятор влияет на размер светящегося пятна на экране ЭЛТ. Часто взаимосвязан с ручкой устранения астигматизма.

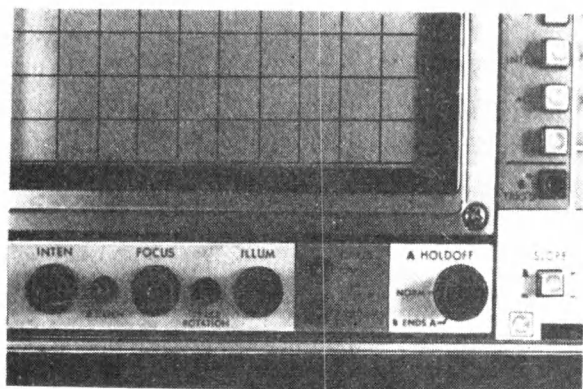


Рис. 4.2 Основные ручки регулировок осциллографа.

УСТРАНЕНИЕ АСТИГМАТИЗМА. Этим регулятором изменяется форма светящегося пятна на экране ЭЛТ. Обычно он связан с регулировкой фокуса. Хороший способ регулировки - получение на экране горизонтальной линии постоянной толщины (в отсутствие сигнала в канале вертикального отклонения). У большинства осциллографов регулятор астигматизма выведен "под шлиц" на передней или задней панели прибора, в то время как фокусировка осуществляется ручкой на передней панели.

ПОДСВЕТКА ШКАЛЫ. Регулятор подсветки управляет лампой, освещающей масштабную сетку, нанесенную на экран ЭЛТ (рис. 4.1). В крайнем положении (минимуме) подсветка отсутствует. Подсветка требует тщательной регулировки при фотографировании экрана ЭЛТ, так как сильный свет может засветить пленку.

ЛИНЕЙНОСТЬ. Этот выведенный "под шлиц" регулятор позволяет скомпенсировать действие внутренних паразитных магнитных полей на электронный луч. Установка регулятора такова, чтобы горизонтальная развертка была максимально линейна.

ПОИСК ЛУЧА. Этот регулятор размыкает входы усилителей горизонтального и вертикального отклонения, при этом луч собирается в яркую точку примерно в середине экрана. Это помогает оператору определить положение луча, который иногда может отклоняться за пределы экрана.

КАЛИБРАТОР формирует стандартный сигнал для калибровки усилителя вертикального отклонения. Обычно это сигнал частотой 400 или 1000 Гц и размахом 1 или 2 В. У прибора, приведенного на рис. 4.2, сигнал калибратора прямоугольный, частотой 1000 Гц с двумя выходными уровнями 200 мВ и 2 В.

ТРАКТ ВЕРТИКАЛЬНОГО ОТКЛОНЕНИЯ

Регуляторы вертикального отклонения управляют положением луча, усилителем и входной цепью усилителя вертикального отклонения. К этому тракту относятся входной разъем, селектор входа, регулятор положения, ступенчатый аттенюатор, плавно перестраиваемый аттенюатор, клемма "земля", усиление в 5 раз, переключатель полярности канала 2 и переключатель режимов работы усилителя вертикального отклонения. На рис. 4.3а показан селектор внутреннего запуска (INT TRIG), который входит в группу регуляторов запуска (предназначен для выбора канала, по уровню сигнала в котором производится запуск).

ВХОДНОЙ РАЗЪЕМ. Входной разъем - это точка, через которую сигнал из "внешнего мира" поступает на вход усилителя вертикального отклонения осциллографа. Показанный на рис. 4.3а входной разъем представляет собой коаксиальный корпусной соединитель байонетного типа. Это стандартный тип разъемов в современных осциллографах. В старых приборах применялись гнезда СВЧ коаксиальных разъемов SO-239, или пары клемм с межцентровым расстоянием 19,0 мм.

СЕЛЕКТОР ВХОДА. Этот переключатель обозначен AC GND DC и служит для соединения должным образом входного разъема со входом усилителя вертикального отклонения. Установка

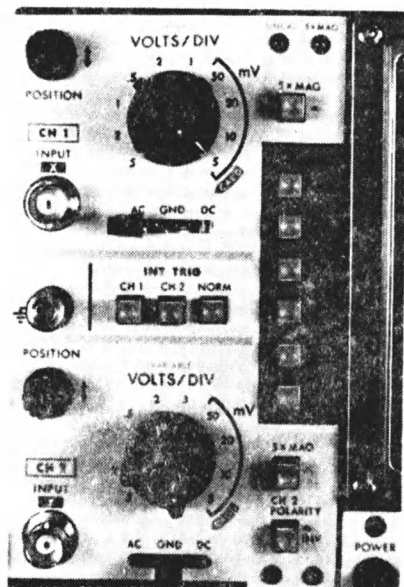


Рис. 4.3а. Регуляторы канала вертикального отклонения.

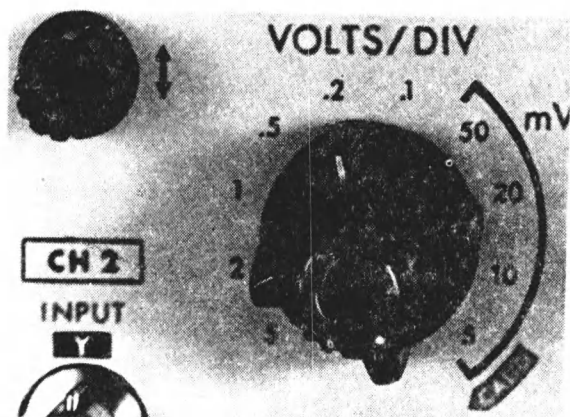


Рис. 4.36. Ступенчатый аттенюатор.

DC означает, что постоянный ток поступает на вход усилителя вертикального отклонения; AC - означает, что последовательно с центральной жилой входного разъема включен блокировочный конденсатор (пропускаются только переменные сигналы, а постоянная составляющая блокируется), в положении GND вход усилителя вертикального отклонения подключен к земле, а входная цепь разомкнута (GND ни в коем случае не заземляет входной разъем, иначе это привело бы к закорачиванию цепи сигнала).

ПОЛОЖЕНИЕ. Этот регулятор служит для перемещения электронного луча вверх и вниз по экрану ЭЛТ. В двухлучевых осциллографах (рис. 4.3а) имеются два регулятора положения луча, чтобы предотвратить наложение осциллограммы и искажение результатов. Кроме того, этот регулятор может использоваться для точного совмещения линии развертки с линиями масштабной сетки для измерения амплитуды сигнала. Практически регулировка положения осуществляется так: переключатель устанавливается в положение GND и затем вращением ручки POSITION линия развертки совмещается с самой нижней или центральной линией масштабной сетки, относительно которой измеряется напряжение (нулевой уровень).

СТУПЕНЧАТЫЙ АТТЕНЮАТОР. Чувствительность усилителя вертикального отклонения зависит от его коэффициента усиления и определяется как напряжение, которое требуется для заданного отклонения электронного луча и измеряется в вольтах на деление (или в вольт/см). Ступенчатый аттенюатор (см. рис. 4.36) представляет собой резистивно-емкостный делитель напряжения, позволяющий наблюдать на экране ЭЛТ сигналы, прямая подача которых на вход отклонила бы луч за пределы

экрана. Каждое положение аттенюатора прокалибровано в вольтах или милливольтах на деление. Реальный размах напряжения входного сигнала можно определить, зная, сколько делений занимает изображение сигнала на экране ЭЛТ и умножив их число на значение коэффициента чувствительности в вольтах на деление. Например, предположим, что синусоидальный сигнал имеет размах 5,6 деления, а ступенчатый переключатель аттенюатора стоит в положении 0,2 В/дел. Размах напряжения в этом случае составляет $(5,6 \text{ дел}) \times (0,2 \text{ В/дел}) = 1,12 \text{ В}$ (или 1120 мВ).

ПЛАВНО ПЕРЕСТРАИВАЕМЫЙ АТТЕНЮАТОР. Этот регулятор установлен на одной оси со ступенчатым аттенюатором и служит для плавной подстройки значения коэффициента чувствительности (а следовательно, и размера осциллограммы по вертикали). Ступенчатый аттенюатор гарантирует указанное на его шкале значение чувствительности только тогда, когда ручка плавной регулировки находится в положении (CAL'D или CAL), которое специально обозначено в большинстве осциллографов. Когда этот регулятор не находится в положении CAL'D, на передней панели прибора загорается красная лампочка UNCAL, указывающая оператору, что показания ступенчатого аттенюатора неверны.

ЗЕМЛЯ ("ОБЩИЙ ПРОВОД"). Клемма заземления соединена с корпусной землей входной цепи усилителя вертикального отклонения. Она может быть использована при организации цепи заземления в виде звезды для устранения (или предупреждения) ошибок из-за неверно построенных контуров заземления.

МНОЖИТЕЛЬ НА 5. Переключатель умножения на 5 увеличивает чувствительность усилителя вертикального отклонения в пять раз, причем значения В/дел и мВ/дел на ступенчатом аттенюаторе нужно умножить на 5. Например, когда переключатель стоит в положении 50 мВ/дел и нажата кнопка 5xMAG, то светится предупреждающая оператора лампочка 5xMAG и значение чувствительности следует умножить на 5. Этот регулятор особенно полезен при работе со слабыми сигналами, уровни которых обычно ниже порога штатных значений, и переключатель эффективно дополняет ряд возможных коэффициентов чувствительности.

ПОЛЯРНОСТЬ КАНАЛА 2. Когда кнопка переключателя полярности нажата, полярность сигнала, поступающего на усилитель вертикального отклонения канала 2, инвертируется. Когда кнопка отпущена, полярность сигнала в канале 2 на экране нормальная.

РЕЖИМЫ РАБОТЫ УСИЛИТЕЛЯ ВЕРТИКАЛЬНОГО ОТКЛОНЕНИЯ. Эти переключатели образуют подгруппу, включающую в себя : CH1, ALT, CHOP, ADD , X-Y, CH2.

CH1, CH2 выбирают одноканальный режим работы. Когда нажата кнопка CH1, осциллограф работает как простой одноканальный прибор и высвечивает на экране только сигнал, поступающий в первый канал. Когда нажата кнопка CH2, поступает сигнал из канала 2.

ALT, CHOP. Это двухканальные режимы работы. В ЭЛТ всего один луч, и он должен переключаться между двумя каналами. В режиме ALT развертка сигнала в канале 2 не начинается до тех пор, пока не закончится в канале 1. Другими словами, осциллограф поочередно индицирует два сигнала. В режиме CHOP электронный луч быстро переключается из канала 1 в канал 2 и обратно. Частота входного сигнала должна быть много меньше частоты переключения луча из канала в канал.

ADD. Сигналы объединяются в один, причем результирующая амплитуда равна алгебраической сумме амплитуд сигналов в каналах 1 и 2 ($CH1 + CH2$). Если нажата кнопка инвертирования полярности в канале 2, то входы становятся квазидифференциальными и результирующий сигнал равен ($CH1 - CH2$).

X-Y. В этом режиме отключается внутренний генератор развертки по горизонтали и осциллограф работает как векторный дисплей. Канал 1 становится отклоняющим по горизонтали (X), канал 2 - по вертикали (Y). В этом режиме осциллограф применяется для измерения уровня модуляции, отображения фигур Лиссажу в цветном телевидении т. д.

ТРАКТ ГОРИЗОНТАЛЬНОГО ОТКЛОНЕНИЯ

Группа регуляторов горизонтального отклонения (рис. 4.4а) управляет параметрами развертки по горизонтали и включает в себя: регулятор временной развертки, регулятор плавной настройки генератора развертки, регулятор положения по горизонтали, увеличение в 10 раз переключатель выбора режимов развертки.

ВРЕМЕННАЯ РАЗВЕРТКА. Это основной орган управления горизонтальной разверткой, позволяющий установить требуемую скорость движения луча слева направо по экрану ЭЛТ. Он проградуирован в секундах на деление, миллисекундах на деление и микросекундах на деление. Период сигнала может быть определен как число делений, укладывающихся в одном цикле сигнала. Например, если один период синусоидального сигнала занимает 6,2 деления горизонтальной шкалы, а переключатель находится в положении 2 мс/дел, то период сигнала равен $(6,2 \text{ дел}) \times (2 \text{ мс/дел}) = 12,4 \text{ мс}$. Поскольку частота сигнала обратно пропорциональна периоду, можно рассчитать частоту

$$F = 1/T = 1/0,0124 \text{ с} = 80,65 \text{ Гц}.$$

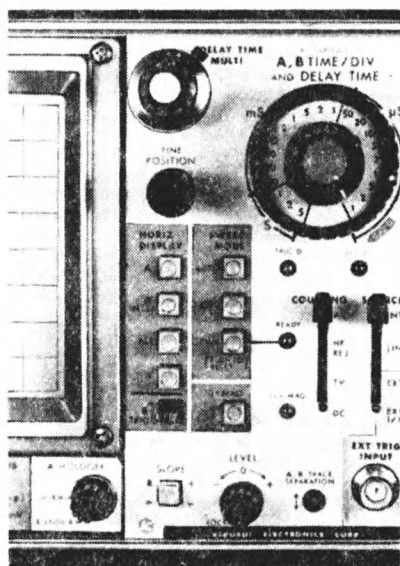


Рис. 4.4а. Регуляторы горизонтальной развертки и запуска развертки.

ПЛАВНАЯ НАСТРОЙКА ГЕНЕРАТОРА РАЗВЕРТКИ. Этот регулятор позволяет получать промежуточные значения длительности развертки по отношению к положениям ступенчатого переключателя. Отсчет ступенчатого переключателя точен, когда регулятор плавной настройки находится в положении CAL'D. Регулятор плавной настройки совмещен со ступенчатым регулятором и расположен концентрически с ним на одной оси.

ПОЛОЖЕНИЕ ПО ГОРИЗОНТАЛИ. Регулировка горизонтального положения (или FINE POSITION) управляет перемещением луча горизонтально по экрану ЭЛТ. Как и регулятор положения по вертикали, эта ручка служит для совмещения точки отсчета с масштабной сеткой для повышения точности измерений.

РАСШИРИТЕЛЬ РАЗВЕРТКИ. Переключение в режим "множитель на 10" увеличивает скорость развертки в 10 раз. Например, если ступенчатый регулятор развертки находится в положении 10 мс/дел, то при включении расширителя скорость развертки будет равной 1 мс/дел.

РЕЖИМ РАЗВЕРТКИ. Переключатель режима развертки имеет следующие положения: автоматический (AUTO), нормальный (NORM) и с однократным запуском (SINGL). В автоматическом режиме развертка периодически запускается даже в отсутствие входного сигнала. Режим (NORM) требует для запуска

наличия сигнала, и если сигнала нет, то экран ЭЛТ не светится. В режиме с однократным запуском луч пробегает по экрану только один раз. Когда на вход осциллографа подается периодический сигнал, включение режима AUTO зафиксировывает постоянную скорость развертки. Если же установлен режим NORM, то кнопка SINGL возвратит схему в исходное состояние и развертка запустится только при достижении сигналом установленного уровня.

РЕГУЛЯТОРЫ ЗАПУСКА

Осциллографы с управляемым синхронизированным запуском развертки применяются теперь значительно шире, чем асинхронные. Развертка в них не запускается до тех пор, пока сигнал в канале усилителя вертикального отклонения не включит генератор развертки. В некоторых моделях осциллографов схема запуска развертки дополнена регулятором времени задержки развертки, т. е. развертка начнется по истечении установленного интервала времени после включения схемы запуска. Органы управления запуском развертки показаны на рис. 4.4а (они расположены параллельно регуляторам горизонтального отклонения). К этой группе относятся регулятор уровня срабатывания (LEVEL), переключатели полярности запуска, типа запуска и сопряжения, вход внешнего запуска и селектор режима запуска развертки. Заметим, что некоторые приборы (в том числе и показанный на рис. 4.4а) имеют регулятор плавного изменения времени задержки запуска развертки. Обратите внимание, что переключатель режимов развертки, рассмотренный в тракте го-

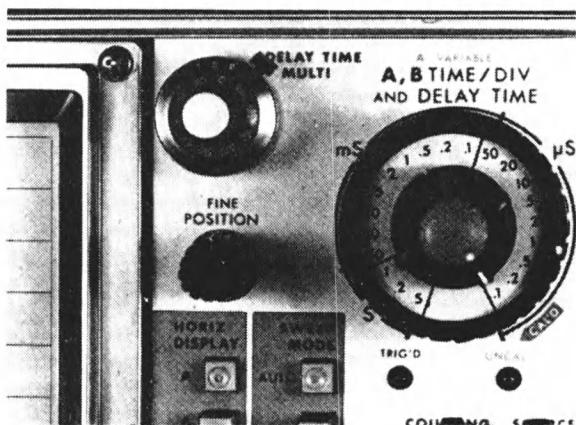


Рис. 4.4б. Управление генератором развертки.

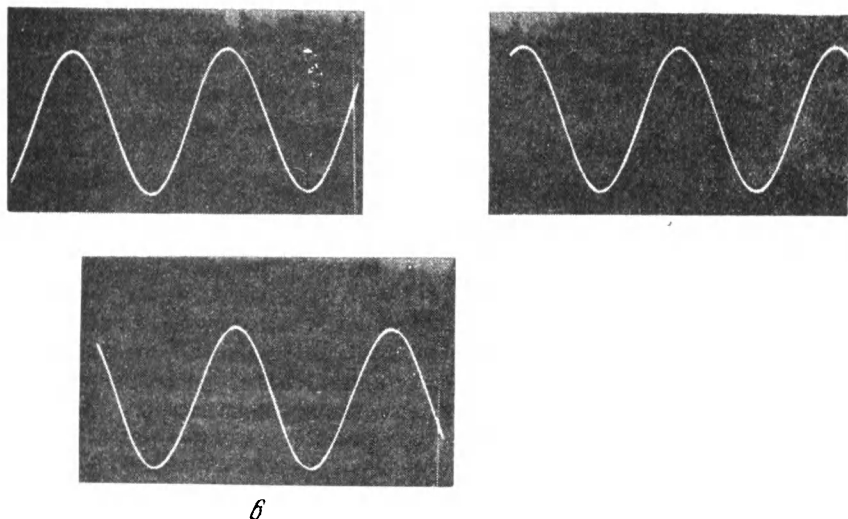


Рис. 4.5. Влияние положения регулятора "уровень запуска" на вид отображаемого на экране ЭЛТ синусоидального сигнала.

ризонгального отклонения, входит в состав схемы запуска, так же как и переключатель CH1-CH2-NORM, показанный вместе с регуляторами вертикального отклонения (рис. 4.3а).

УРОВЕНЬ ЗАПУСКАЮЩЕГО ИМПУЛЬСА. Регулятор уровня запускающего импульса определяет минимальную амплитуду входного сигнала усилителя вертикального отклонения, необходимую для запуска генератора развертки. Рис. 4.5,а и б иллюстрируют действие этого регулятора. Обе осциллограммы были получены при подаче на вход одного и того же осциллографа одного и того же сигнала. Единственное различие заключается в установке уровня запуска (LEVEL) (рис. 4.4а). Диапазон уровня запускающего импульса - от отрицательных до положительных значений, включая 0.

ПЕРЕКЛЮЧАТЕЛЬ ПОЛЯРНОСТИ ЗАПУСКА. Этот переключатель устанавливает, какая часть волны входного сигнала осуществляет запуск - положительная или отрицательная. На рис. 4.5,а и б переключатель полярности запуска (SLOPE) установлен в положение "+", поэтому запуск осуществляется положительной полуволной входного синусоидального сигнала. На рис. 4.5,в тот же самый входной сигнал, что и на рис. 4.5,б, причем регулятор LEVEL стоит в том же положении), но ручка SLOPE в положении "-". Заметьте, что запуск генератора развертки осуществляется по отрицательному перепаду входной волны.

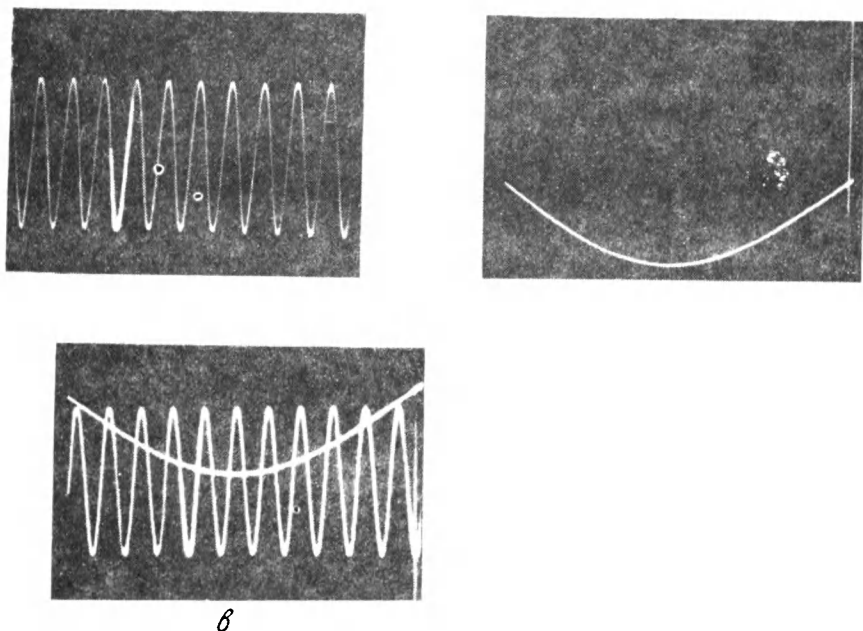


Рис. 4.6. Действие переключателя "горизонтальное отображение" (INTENSITY).

РЕЖИМ СИНХРОНИЗАЦИИ. Переключатель режима синхронизации служит для выбора соответствующего источнику запускаящего сигнала входа схемы запуска развертки. Он имеет следующие положения: внутренний (INT), сеть (LINE), внешний (EXT), внешний/10 (EXT/10). В положении INT тип запуска развертки определяется положением переключателя CH1-CH2-NORM. Например, если переключатель вида синхронизации в положении INT, а переключатель режимов работы в положении CH1, то развертка запускается по сигналу канала 1. Положение LINE определяет запуск развертки от сети переменного тока, что бывает полезно в некоторых случаях. Режим EXT означает, что запускающий импульс, поступает на вход внешнего запуска (EXT TRIG INPUT). Режим EXT/10 аналогичен режиму "внешний" с включением ослабляющего в 10 раз аттенюатора.

РЕЖИМ ЗАПУСКА. Позволяет обеспечить сопряжение схемы запуска с запускающим импульсом и имеет положения: AC (переменный ток), HF REJ (подавление ВЧ), TV (телевизионный сигнал) и DC (постоянный ток). Режимы AC и DC понятны без комментариев и обозначены рядом с переключателем. В режиме HF REJ (подавление ВЧ) перед схемой запуска включен

ФНЧ, подавляющий высокочастотные составляющие сигнала. Некоторые осциллографы имеют также режим LF REJ (подавление НЧ), аналогичный предыдущему, но вместо ФНЧ используется ФВЧ. Режим TV (телевизионного сигнала) позволяет синхронизировать развертку луча с кадровой и строчной развертками, используемыми в телевидении. Иногда встречаются отдельные режимы кадровой и строчной синхронизации.

ВХОД ВНЕШНЕГО ЗАПУСКА. Этот вход обеспечивает цепь запуска от внешнего сигнала при специальных режимах синхронизации и запуска. У некоторых осциллографов этот вход выполняет функцию запускающего строб-импульса (TRIG GATE). При этом на нем формируется короткий импульс, синхронизирующий внешние устройства со схемой развертки.

ВРЕМЯ ЗАДЕРЖКИ. Регулятор времени задержки позволяет вносить небольшую задержку между моментом срабатывания схемы запуска, определяемым регулятором уровня запуска LEVEL и полярности запуска SLOPE и реальным началом развертки. Благодаря этому можно рассматривать небольшие участки сигнала, запуская генератор развертки входным сигналом.

ГОРИЗОНТАЛЬНОЕ ОТОБРАЖЕНИЕ (HORIZ DISPLAY). Этот блок переключателей расширяет функциональные возможности осциллографа. Это полезное устройство есть не во всех осциллографах. На рис. 4.6,а-в показано применение одного из режимов работы данной схемы. Когда нажата кнопка А, осциллограф работает обычным образом. В режиме А INTEN наблюдается осциллограмма рис. 4.6,а. Обратите внимание на яркий участок сигнала. Положение этого выделенного участка управляется регулятором временной задержки, а его длина - регулятором времени задержки, совмещенным с переключателем разверток. Такой режим используется для детального изучения малых участков осциллограмм сигналов. Когда включен режим В, на экране высвечивается только выделенный участок (рис. 4.6,б). На рис. 4.6,в показана осциллограмма, соответствующая совмещенному режиму ALT. Тогда на экране одновременно отображаются и весь сигнал, и выделенный участок. Выведенный "под шлиц" регулятор разделения каналов А и В (A-B Separation) позволяет разнести или наложить эти осциллограммы.

ГЛАВА 5

НЕКОТОРЫЕ МЫСЛИ ОБ ОРГАНИЗАЦИИ РАБОТЫ МАСТЕРСКОЙ

Для эффективной работы по обслуживанию и ремонту аппаратуры радиосвязи требуется хорошо оборудованное рабочее место. В этой главе будут рассмотрены примеры организации работы мастерской в недавнем прошлом, а также принципы организации, способствующие эффективной работе. Хотя основные замечания предназначены для тех читателей, которые занимаются или собираются заняться ремонтом аппаратуры радиосвязи, она принесет пользу и тем, кто обслуживает другую электронную аппаратуру.

Мастерские текущего ремонта иногда очень неэффективны, из-за того что энергии расходуется много по сравнению с конечным результатом. Чем объяснить, что две расположенные по-соседству мастерские с квалифицированным персоналом работают совершенно по-разному? К примеру, мастерская А приносит своему владельцу (или владельцам) прибыль и имеет постоянных клиентов. В то же время мастерская Б едва сводит концы с концами, и редко какой клиент обращается туда вновь, разочарованный результатами предыдущего обращения. Мастерская А постоянно продлевает действие договоров, а мастерская Б - лишь изредка. Если посмотреть в корень, то часто оказывается, что мастерской А свойственна хорошая организация работы, а в мастерской Б все как будто делается для того, чтобы понизить ее эффективность, замучить техников до смерти и довести владельца до язвенной болезни. Хорошая схема организации работ, сокращающая усилия, а значит, и время на выполнение каждого вида работы, значительно повысит доходы по двум причинам. Одна из причин состоит в том, что работа становится легче физически. Когда требуется меньше усилий, когда легко локализовать неисправные узлы, тогда на выполнение каждой операции требуется меньше времени. А чем меньше времени затрачивается на каждую операцию, тем больший объем работы можно выполнить за неделю и тем быстрее клиенты получают из ремонта свою аппаратуру. Другая причина -

моральный стимул для персонала мастерской. Эффективная работа уменьшает напряжение и нагрузки на каждого работающего и в результате каждый работает более продуктивно. Определенный психологический настрой создают и условия работы - чистое, теплое, хорошо освещенное помещение. Некоторые отрасли в прошлом, а кое-кто и по сей день не сделали никаких выводов из 1920-х годов и считают удобства слишком дорогостоящими. Другие же открыли, что жестокая эксплуатация делает рабочих несчастными, а несчастные рабочие не могут эффективно работать. В результате некоторые фирмы тратят теперь значительные суммы на оснащение удобных рабочих мест.

В этой главе будут рассмотрены некоторые факторы, которые необходимо учитывать при организации рабочего места. Часть из них посвящена планировке рабочего пространства, а другая - обсуждению различных деталей, делающих работу более продуктивной.

СОКРАТИТЬ НАПРАСНЫЕ УСИЛИЯ

Основная цель при оборудовании рабочего места - увеличить прибыль и свести к минимуму напрасные усилия. Основной путь к достижению этой цели - так разместить оборудование, чтобы число шагов, требуемое на выполнение той или иной операции, было минимальным. Если вы думаете, что это - крохоборство, то возьмите шагомер и измерьте пройденный вами на работе путь за день. Когда вы увидите, как быстро набегают километры, и запомните, что расхаживающие техники не занимаются ремонтом аппаратуры, тогда, возможно, у вас появятся стимулы пересмотреть схему организации работ и уделить ей больше внимания.

Ни в одной книге вы не найдете точных рецептов, что лучше всего подходит вашей мастерской - уж слишком много здесь переменных. Но вам нужно лишь несколько советов, несколько журналов для регистрации заказов в качестве образца и собственная смекалка, чтобы найти новый подход к своим проблемам. И действительно, все, что может сделать консультант, - это прийти и дать некоторые рекомендации, которые представляют собой немного более, чем "прикладной здравый смысл".

Любая схема организации работ должна удовлетворять различным, порой взаимоисключающим интересам, поэтому она требует тщательного анализа с точки зрения вашего бизнеса, установившегося порядка, объема работ и прибыльности того или иного дела (т. е. торговли, обслуживания, установки, дизайна и т. д.). Следует взвесить несколько факторов.

1. Производственное помещение стоит дорого. Помещение стоимостью 300 долл. в месяц - большая редкость. Цены на

помещение в крупных городах восточного побережья подскочили от 10 долл. за квадратный фут в год до 25 долл. за квадратный фут в год. Скромное помещение площадью 1200 квадратных футов может обойтись от 12 000 до 30 000 долл. в год. Очевидно, пустующая площадь - это непростительная роскошь.

2. Рабочие руки тоже дороги. Если ваш персонал тратит время попусту из-за плохой организации работы, то это повысит и ваши накладные расходы.

3. Время - деньги. Это старый афоризм, но он верен и теперь, даже, может быть, больше, чем раньше. Время - главное, из чего предприятие должно делать деньги. Если у вас в штате два техника по ремонту аппаратуры и они работают по 40 часов в неделю, то у вас всего лишь 80 человеко-часов для того чтобы производить прибыль. Независимо от того, какая у вас система оплаты - по договору или почасовая, очевидно, чем больше аппаратуры отремонтировано, тем больше доход. В следующем разделе описано, как организация работы иногда снижает эффективность труда (т. е. работу, выполненную в единицу времени) обслуживающего персонала.

ОРГАНИЗАЦИЯ РАБОТЫ С КЛИЕНТАМИ

Остановимся на организации обслуживания. Должен ли техник сам принимать клиентов? Должен ли техник отвечать на телефонные звонки? Должен ли он сам назначать цену работы или этим должен заниматься управляющий, диспетчер или приемщик? Влияет ли то или иное решение на организацию работы? Да, разумеется! Хотя такое обслуживание не всегда оправданно, но оно неизбежно. Чтобы сократить расходы на обслуживание, нужно планировать организацию работы так, чтобы для ее выполнения требовалось как можно меньше шагов (помните о шагомере!).

В небольших мастерских технику приходится самому принимать клиентов. В этом нет ничего хорошего, и как только появится возможность, нужно нанять приемщика или администратора (в зависимости от рода деятельности). Техники - квалифицированный персонал и их место в цеху или в лаборатории, где они могут принести фирме наибольший доход. Приемщиками могут быть менее квалифицированные люди и даже студенты технических колледжей в состоянии справиться с этими обязанностями.

Давайте подсчитаем, во что обходится использование техника в качестве приемщика, и посмотрим, есть ли способы снизить эти расходы в мастерских, использующих такую схему организации работы. Пусть почасовая оплата техника составляет 14 долл. Из-за накладных и других расходов эта оплата возрастает

до 30 - 40 долл. в час. Примем для удобства расчетов 30 долл. и будем помнить, что 30 долл. в час - это 0,5 долл. в минуту.

Пусть в мастерской техники сами принимают клиентов; независимо от того, как проста эта работа, дипломированному, высококвалифицированному специалисту приходится ее выполнять. Ситуация осложняется тем, что аппаратура для технического обслуживания находится "за кулисами" мастерской и требуется в среднем 26 секунд, чтобы выйти оттуда к клиенту, и еще 26 секунд, чтобы вернуться на рабочее место. Иными словами, хождение туда - сюда занимает $52/60 = 0,867$ мин и стоит 0,43 долл. К тому же с каждым клиентом приходится непосредственно заниматься 10 мин, т.е. в общей сложности на каждого клиента приходится 11 мин рабочего времени техника, или 5,5 долл. Если за час приходит три клиента, то прием клиентов обходится в 16,5 долл. в час, или 132 долл. в день. Соответственно, за неделю, месяц, год это составляет 660, 2640 и 132000 долл. Сколько заработала ваша мастерская в прошлом году?

Конечно, приведенные выше расчеты условны, но они демонстрируют, как плохая организация работ сказывается на прибыли. Этот же расчет справедлив, если мастер отвечает на телефонные звонки. Использование техников для ответов клиентам по телефону также обходится в 0,5 долл. в минуту.

ПРОСТОИ ОБОХОДЯТСЯ ДОРОЖЕ

Итак, мы установили, что, отрывая техника от работы, вы теряете 0,5 долл. в минуту, но этот расчет сделан исходя из времени обслуживания. Существуют еще скрытые потери, связанные с тем, что техник отвлекается от работы. Их трудно оценить и распознать, но обходятся они дороже, чем при простом суммировании потерянного времени, - это нарушение хода мысли. Обслуживание сложного электронного оборудования радиосвязи - это умственный труд. Технику приходится обдумывать каждый случай. Если его отвлечь, он скорее всего забудет, на чем остановился, и ему придется повторить все шаги сначала. Разумеется, техник может принимать клиентов и отвечать на телефонные звонки при условии дополнительной оплаты.

Если в обязанности техника входит прием клиентов и ответ на телефонные звонки, то рабочее помещение должно быть расположено близко к прилавку, а телефонный аппарат должен находиться на расстоянии не более вытянутой руки и чтобы книга регистрации заказов была под рукой (ведь большинство звонящих интересуются состоянием их заказа).

Теперь рассмотрим оценки работы и выписки счета, когда

заказ уже выполнен. Ключевые вопросы: как часто техник должен оставлять рабочее место и как далеко ему надо идти, чтобы выписать счет. Во многих мастерских эту операцию выполняют хозяин или приемщик. Квитанция вручается оценщику или кладется на конторку диспетчера, которая обычно находится в помещении для клиентов. Если техник после каждой выполненной работы должен идти к конторке, он тоже теряет время. Выход здесь в том, чтобы квитанции были на рабочем месте, или, если квитанция выписывается в нескольких экземплярах, дать один экземпляр технику (практика, заимствованная из автосервиса). Тогда квитанции лежат на рабочем месте, пока не будет выполнено достаточно работ для того, чтобы выход к конторке был оправдан. Важность этой проблемы экспоненциально возрастает в мастерских, выполняющих мелкий ремонт (например, гарантийный или по договору), или когда время ремонта незначительно. В одной мастерской техники сдают квитанции каждые 2 - 4 часа. На каждом рабочем месте имеется корзинка для входящих бумаг с отделениями: закончено, заказы, оценка и выписка счета. Когда последнее отделение станет пустым или будет еще какая-либо причина подойти к конторке, он захватит квитанции. И опять смысл этой операции в уменьшении числа шагов.

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛОЩАДИ

Иногда трудно распределить площадь мастерской. Конечно, если вы занимаетесь только техническим обслуживанием или только торговлей, задача упрощается. Но в мастерских, занимающихся и тем и другим, распределение площади и оборудования сильно усложняется. Важно знать относительную прибыльность каждого вида деятельности. Если в бухгалтерии отдельно не учитываются доходы и расходы каждого вида деятельности, то правильное решение невозможно. Если такой учет ведется, то достаточно внимательно просмотреть книги бухгалтерского учета, чтобы сделать вывод, чему отдать предпочтение.

Конечно, нужно предусмотреть место для нового оборудования и для склада радиодеталей. Если поблизости от вас есть агентство по срочной доставке радиодеталей, тогда деньги, затраченные на покупку радиодеталей, будут возмещены снижением затрат на аренду помещения. Нужно рассмотреть два фактора при оценке желательности использования помещения под склад. Первый - цена квадратного метра площади (арендная плата плюс накладные расходы) и второй, которому часто не придают значения, - потеря прибыли, если эта площадь будет занята работающими техниками или использована как дополнительное торговое помещение.

Небольшие предприятия должны обратить особое внимание на рациональное использование помещений. Некоторые крупные торговые и обслуживающие фирмы используют более дорогостоящее помещение под торговые залы, а более дешевое помещение - под мастерскую.

ЭФФЕКТИВНОЕ ДЕЛОПРОИЗВОДСТВО

Эффективность работы мастерской повышается при правильном делопроизводстве. Ведение документации может способствовать хорошей организации работы, а может, напротив, сыграть разрушительную роль, поэтому мы приведем несколько мыслей о ведении документации. Принтеры (объемом до 5000 знаков) стоят не очень дорого, особенно если приобретены в комплекте.

В наше время, когда все компьютеризируется, разумно установить персональный компьютер с базой данных, в которую заносятся и отслеживаются счета. Компьютер может заменить регистрационный журнал, ведущийся в преуспевающих мастерских. В квитанции и базе данных должно указываться, где находятся запчасти, и другая необходимая информация.

КОНТРОЛЬНО-ИСПЫТАТЕЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

При идеальной организации любой прибор, который может потребоваться мастеру, всегда должен быть под рукой. Но в реальной жизни приходится столкнуться с тем, что некоторые приборы очень дороги и используются довольно редко, так что накладно, чтобы каждый техник имел полный комплект оборудования. Но передвижное оборудование не всегда способствует экономии времени. Решение этой проблемы состоит в использовании портативных приборов в комплексе. Пример такого прибора - Tektronix TM-500 - показан на рис. 5.1а и 5.1б.

Мастерам, выезжающим по вызову, можно использовать компактные наборы инструментов. Но эти наборы должны быть тщательно подобраны для ремонта определенной аппаратуры. Разумеется, редко бывает, чтобы имеющийся в продаже набор удовлетворял все потребности техников в их практической деятельности (обычно он содержит много ненужного, а некоторые нужные наименования вообще отсутствуют). Если мастерская и магазин находятся в одном помещении, то каждого техника можно снабдить набором несколько чаще используемого инструмента в футляре из искусственной кожи на молнии. Такие наборы гораздо легче, их можно переносить (просто под мышкой,

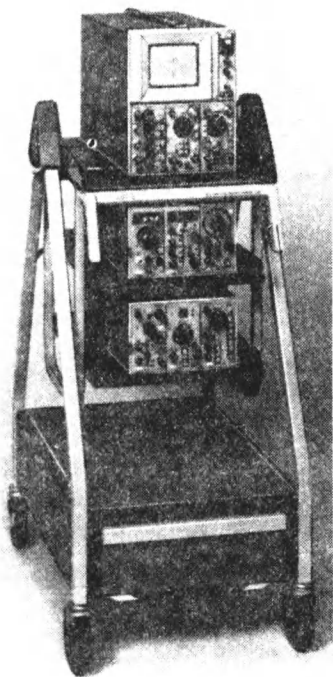


Рис. 5.1а. Комплект контрольно-испытательной аппаратуры для хорошо оборудованной мастерской. (С любезного разрешения Tektronix, Inc.)

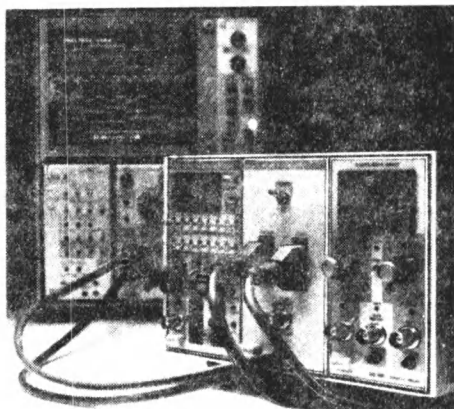


Рис. 5.1б. Стенд с контрольно-испытательной аппаратурой.

а не перевозить в багажной тележке) и с этим инструментом можно выполнить 90 % работы. Реже используемые инструменты в случае необходимости можно брать из мастерской.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Рентабельность ремонтной мастерской напрямую связана с эффективностью ее работы. Оптимизация различных факторов в организации мастерской повысит ее эффективность, снизит себестоимость операций, что в свою очередь повысит доходы и снизит затраты на непроизводительные операции.

ГЛАВА 6

ПРАВИЛА ТЕХНИКИ БЕЗОПАСНОСТИ

Тем, кто работает в области радиосвязи или в области коммерческой дуплексной радиосвязи, приходится сталкиваться с источниками достаточно высокого напряжения и тока, способными вызвать травму и даже привести к фатальному исходу. В этой главе мы опишем подстерегающую опасность и дадим некоторые советы, как избежать электротравмы.

ПЕРВАЯ ПОМОЩЬ ПРИ ЭЛЕКТРОТРАВМЕ

Причиной смерти при поражении электрическим током является так называемая *ventricular fibrillation* (вентрикулярная фибрилляция). Это аритмия сердца, при которой оно не бьется, а трепещет. Поэтому сердце не способно поддерживать нормальное кровоснабжение организма, если только вовремя не подоспест реанимация.

Прежде чем приступать к оказанию помощи пораженному током, необходимо удостовериться, что пострадавший уже не находится под током или ток отключен, иначе, если вы прикоснетесь к пострадавшему, чтобы оказать ему помощь, сами будете поражены током.

Как только пострадавший освобожден от действия тока, начинайте делать ему искусственное дыхание и вызовите скорую помощь. Скорая помощь не сможет вывести пострадавшего из состояния вентрикулярной фибрилляции. Ее функция - поддерживать его жизнь, пока им не сможет заняться снабженный специальным оборудованием медперсонал. В их распоряжении имеется специальный электрический прибор - дефибриллятор, который восстанавливает нормальный ритм биений сердца. Они также дадут пострадавшему препараты и назначат внутривенные вливания, чтобы восстановить здоровье больного.

Ни одно из этих действий не под силу необученному человеку. Даже искусственное дыхание трудно делать без специальной подготовки. Тот, кто имеет дело с электрическим или электронным оборудованием, обязательно должен этому нау-

читься. Кроме того, подростки и взрослые члены семьи также должны уметь делать искусственное дыхание. В конце концов, кому предстоит спасать вас, если несчастный случай произойдет дома? Общество красного креста, местная больница могут направить вас на курсы первой медицинской помощи. Невозможно научиться делать искусственное дыхание, если просто смотреть медицинские передачи по телевизору, поэтому обратитесь к опытному инструктору.

КАКОЙ ТОК СМЕРТЕЛЕН?

Несколько лет назад автор работал в электронной лаборатории. Однажды он случайно услышал, как один студент-медик утверждал, что напряжение переменного тока 110 В от комнатной розетки не опасно, потому что, как ему говорили в медицинском училище, убивает не напряжение, а ток. Собеседник спросил его: "А ты когда-нибудь слышал о законе Ома?" Согласно закону Ома, ток равен отношению напряжения и сопротивления. Кроме того, этот студент-медик, очевидно, не знал статистических данных, согласно которым электрическая розетка - наиболее частый источник поражения током в США. Кроме того, согласно медицинским исследованиям, переменный ток частотой 50 - 60 Гц, чаще всего используемый в энергосетях почти во всем мире, наиболее опасен. Большие и меньшие частоты переменного тока менее опасны (но отнюдь не безопасны!).

Согласно медицинским экспертам, изучавшим электротравму, фатальным фактором является плотность тока, прошедшего через синусовый узел сердца. Любой электрический ток через человеческое тело, создающий достаточно высокий уровень тока через этот отдел сердца, может вызвать смертельную вентрикулярную фибрилляцию. В общем тяжесть поражения в зависимости от тока такова:

- 1 - 5 мА - неприятное ощущение,
- 10 мА - болевой эффект,
- 100 мА - сильная мышечная судорога,
- 100 - 300 мА - смерть.

Помните, что эти цифры - лишь приближенные и ими нельзя руководствоваться для оценки риска. При определенных условиях смертельный исход может наступить и при значительно меньших уровнях тока. Например, если вы вспотели или стоите в соленой воде, то риск сильно возрастает. Так, при медицинских процедурах может оказаться смертельным ток от 20 до 150 мкА, так как он вводится непосредственно в тело, представляющее собой жидкую "подсоленную" среду (если сопротивление

кожи равно 1000 - 20 000 Ом, то сопротивление внутренних тканей всего лишь 50 Ом).

ОПАСЕН ЛИ СИЛЬНЫЙ ТОК?

Недавно автор присутствовал на совещании, посвященном конструированию мощного передвижного передатчика. По техническим условиям требовался изоляционный материал для выводов источника питания низкого напряжения 28 В и высокого постоянного тока 50 А. Один из присутствовавших инженеров насмешливо сказал, что это все равно что требовать изолировать автомобильный аккумулятор, считая, что постоянный ток не может причинить вреда. Здесь содержится две ошибки.

Хотя сочетание постоянных низкого напряжения и высокого тока редко вызывают электротравму, оно может быть опасным для человека с низким сопротивлением кожи (например сильно вспотевшего) или имеющего открытую рану. Хотя к смертельному исходу это не приведет, один техник получил серьезную электротравму от источника питания компьютера +5 В, 30 А постоянного тока. Из-за длительного воздействия он испытал сильную боль и повредил руку.

Кроме того, сильный ток чрезвычайно опасен, если человек носит драгоценности. Например, в устройстве дуплексной радиосвязи используется 12-вольтовая батарея элементов питания. Техник, работавший на силовой стойке, уронил гаечный ключ на батарею и он замкнул плюс и минус через браслет часов. Сильный ток раскалил браслет до красна, и техник получил сильные ожоги второй и третьей степени.

НЕ ДУМАЙТЕ, ЧТО ИСТОЧНИКИ ПИТАНИЯ НИЗКОГО НАПЯЖЕНИЯ И СИЛЬНОГО ТОКА БЕЗОПАСНЫ!

МЕХАНИЗМЫ ПОРАЖЕНИЯ ТОКОМ

Чтобы понять, как происходит поражение током, рассмотрим сценарии, которые могут привести к фатальному исходу. Такой сценарий показан на рис. 6.1. Человек стоит на земле в обуви из проводящего материала и касается вывода источника питания. Для этого совершенно не обязательно быть на улице. Такой сценарий может осуществляться в гараже или мастерской, пол в которых является хорошим проводником, так же как влажная кожа и некоторые виды обуви.

На рис. 6.2 показан сценарий, которому особенно подвержены занятые в электронике. Рассмотрим заземленный пробник (здесь он подключен к осциллографу). Если схватиться за этот пробник, то можно заземлиться через кожу осциллографа и

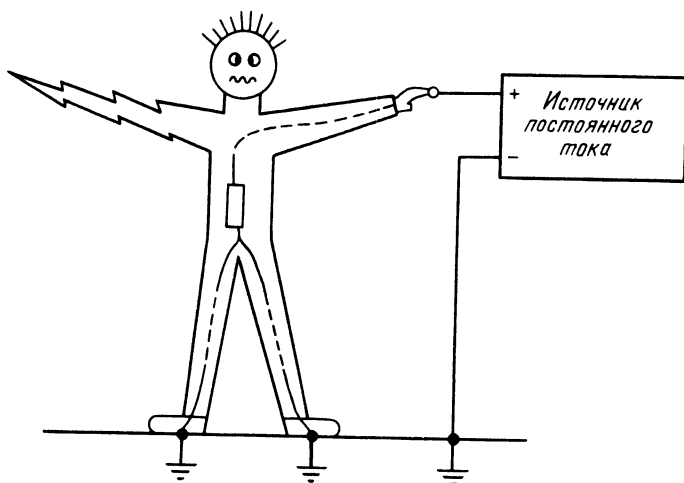


Рис. 6.1. Механизм поражения током. Сценарий I.



Рис. 6.2. Механизм поражения током. Сценарий II.

сетевой шнур. Если коснуться вывода источника питания то поражение током может быть смертельным.

Еще один сценарий показан на рис. 6.3. Здесь изображено бытовое электронное радиооборудование, питающееся от постоянного и переменного тока, например дешевые радио- или телевизионный приемники. Обратите внимание, что “земля” пробника осциллографа связана с “землей” приемника, которая в свою очередь служит линией переменного тока. Ваше счастье, если вилка ориентирована правильно и розетка подключена правильно. Если неправильно вставить вилку в розетку, то произойдет сильное короткое замыкание и сильное поражение током.

Еще один сценарий связан с установкой антенны. Никогда не устанавливайте антенну вблизи линий электропередачи. Каждый год мы узнаем о погибших от поражения током, потому что антенна, с которой они работали, упала на линию

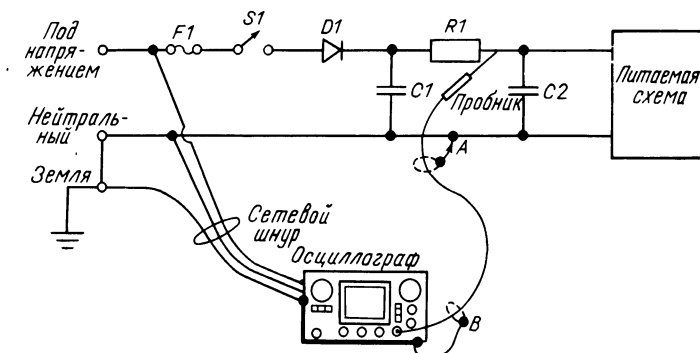


Рис. 6.3. Механизм поражения током. Сценарий III.

электропередачи; они пытались поднять антенну над ЛЭП; лестница, которой они пользовались, упала на высоковольтный провод. Как глупо! Такая тактика может убить и вас.

НЕКОТОРЫЕ МЕРЫ ПРЕДОСТОРОЖНОСТИ

На рис. 6.4 показана принятая в США система передачи электроэнергии. Энергокомпании распределяют энергию по высоковольтным линиям. На небольшом расстоянии от вашего дома или мастерской напряжение понижается до 220 В с помощью трансформатора. Центральный отвод вторичной обмотки трансформатора заземлен. В этом то и лежит корень проблемы. От двух концов вторичной обмотки напряжение 220 В по паре проводов под напряжением 110 В поступает в дом и в штепсельной розетке, где провода соединяются, снова имеем напряжение 220 В. Если же соединить заземленный провод с одним проводом, находящимся под напряжением, то, в розетке будет напряжение всего 110 В.

Проблема состоит в том, что опорным напряжением в вашей мастерской или в доме служит заземленный провод. Решение состоит в том, чтобы создать локальную электрическую сеть на рабочем стенде, для которого “земля” не была бы опорным напряжением. На рис. 6.5 показано энергопитание рабочего стенда. Трансформатор Т1 - развязывающий. Он подает напряжение 110 В от стандартной линии 220 В. Понижающий трансформатор 2:1 подает напряжение 110 В от линии 220 В.

Второй трансформатор на рис 6.5 - автотрансформатор. Он позволяет повышать и понижать напряжение на испытываемом оборудовании. Лучше всего подключить выход автотрансформа-

тора к определенной розетке и контролировать розетку с помощью вольтметра переменного тока. На рис. 6.6 показан маленький развязывающий трансформатор, используемый для технического обслуживания телеаппаратуры. Он снабжен встроенным вольтметром переменного тока. В любом случае заземление шины питания подключено к розетке, но нейтральный провод вообще не заземлен.

Те, кто работает на радиопередатчике (или другом устройстве, генерирующем радиочастотное излучение) или вблизи таких генераторов могут поместить фильтр подавления помех в цепях питания в точке X на рис. 6.5. Такой фильтр представляет собой LC-звено, которое подавляет высокие частоты, но не оказывает влияния на частоту 60 Гц.

Варистор используется для того, чтобы ограничить амплитуду

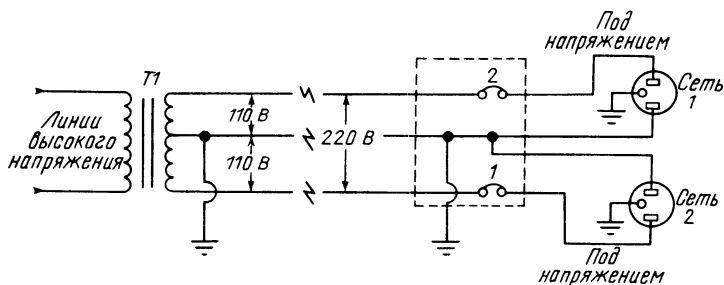


Рис. 6.4. Сеть энергоснабжения.

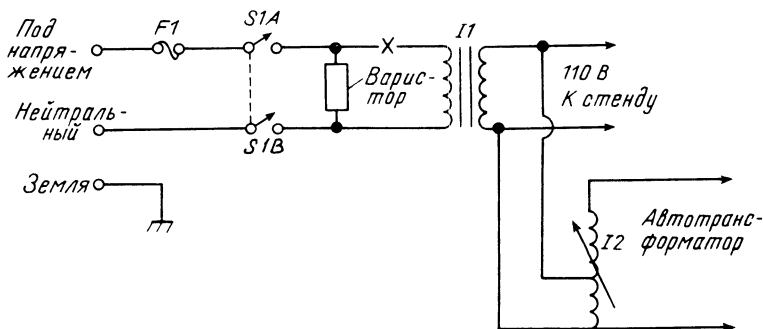


Рис. 6.5. Изоляция рабочего стола от сети переменного тока.



Рис. 6.6. Контрольно-измерительное устройство для сети переменного тока.

нестационарных процессов (длительностью около 100 мкс) в сети высокого напряжения, которые могут повредить оборудование или исказить результаты измерений на стенде.

Для защиты оборудования стенда и трансформатора используется автоматический выключатель или плавкий предохранитель. Он всегда включается в линию под напряжением или в обе линии. Плавкие предохранители и автоматические выключатели никогда не помещаются в одну только нейтральную линию. Выключатель, показанный на рис. 6.5, прерывает обе линии. Автор предпочитает этот способ, так как теоретически линия под напряжением и нейтральная линия могут случайно обратиться. Тогда вы разомкнете нейтральный провод, а провод под напряжением будет угрожать вам подобно шипящей кобре.

НЕКОТОРЫЕ ОБЩИЕ СОВЕТЫ ПО ТЕХНИКЕ БЕЗОПАСНОСТИ

Есть только один способ гарантировать безопасность при работе с сетью высокого напряжения - отключить ее. Возьмите за правило никогда не работать на оборудовании, вилка которого включена в сетевую розетку. Не полагайтесь на выключатели, плавкие предохранители, автоматические выключатели или других людей. Если кто-нибудь дал бы вам пистолет, утверждая, что он не заряжен, вы бы первым делом сами убедились в этом. Точно так же поступайте и с электрическим оборудовани-

ем, которое способно убить вас так же, как и заряженный пистолет.

Часто советуют при работе с приборами, находящимися под высоким напряжением, держать руку в кармане брюк. Эта рекомендация исходит из представления, будто цепь “левая рука - правая или левая нога” особенно опасна. Даже если физиологии и правы, работать, держа руку в кармане, очень неудобно и риск возрастает. Лучше работать двумя руками, оборудовав рабочее место так, чтобы оно было безопасным.

Что значит “безопасное рабочее место”? Система энергоснабжения должна быть изолирована, как описано выше. Пол должен быть изолирован. Для этого можно постелить ковер, линолеум, резиновый коврик или сделать деревянный настил. Пол должен быть всегда хорошо изолированным и сухим.

Работая с цепями постоянного тока, помните, что конденсаторы накапливают энергию. Все конденсаторы сглаживающих фильтров должны быть разряжены вручную после отключения энергии. Конденсатор должен разряжаться многократно. Даже если выводы конденсатора замкнуть накоротко, не удастся сразу же нейтрализовать весь заряд, даже после того как заряд в основном удален, некоторая его часть сохраняется в диэлектрике.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Поражение электричеством может быть фатальным и оно всегда болезненно. Даже если исход не смертельный, травма может быть серьезной. Но правильное оборудование рабочего места и соблюдение техники безопасности значительно уменьшат вероятность того, что в инструкциях по технике безопасности называется несчастным случаем.

ГЛАВА 7

ПОИСК И УСТРАНЕНИЕ НЕИСПРАВНОСТЕЙ

Искусство поиска и устранения неисправностей в оборудовании легко постигается и при наличии практики становится почти второй натурой. Хотя начинающим это искусство кажется непостижимым, оно основано на легко запоминающейся последовательности шагов. Во многих случаях для устранения неисправности необходимо педантично, шаг за шагом выполнить ряд процедур. Характер процедуры в основном определяется устройством ремонтируемого оборудования. В качестве иллюстрации рассмотрим общую схему супергетеродинного приемника и используем ее для изучения общих принципов поиска и устранения неисправностей.

СУПЕРГЕТЕРОДИННЫЕ ПРИЕМНИКИ

На рис. 7.1 показана общая блок-схема супергетеродинного приемника. В приемниках такого типа рабочая частота преобразуется в фиксированную промежуточную частоту (ПЧ). Объясняется это тем, что усиление и полосовая фильтрация проще реализуются на фиксированной частоте, чем в некоторой полосе частот. На ранних этапах развития радиотехники достичь высокого усиления и узкой полосы пропускания было гораздо проще на низких частотах, чем на высоких. Поэтому в ранних моделях радиоприемников использовались промежуточные частоты в диапазоне от 40 кГц до 2 МГц. Однако вот уже около двух десятилетий наблюдается тенденция в сторону более высоких промежуточных частот. Например, в связанных ЧМ-приемниках в течение нескольких лет использовалась частота 10,7 МГц, а в усилителях приемников сигналов с одной боковой полосой (ОБП) использовалась промежуточная частота 9 МГц. В настоящее время имеются приемники ВЧ-диапазона (от 3 до 30 МГц) с первой промежуточной частотой, превышающей наивысшую принимаемую. Рассмотрим схему на рис. 7.1, чтобы выяснить

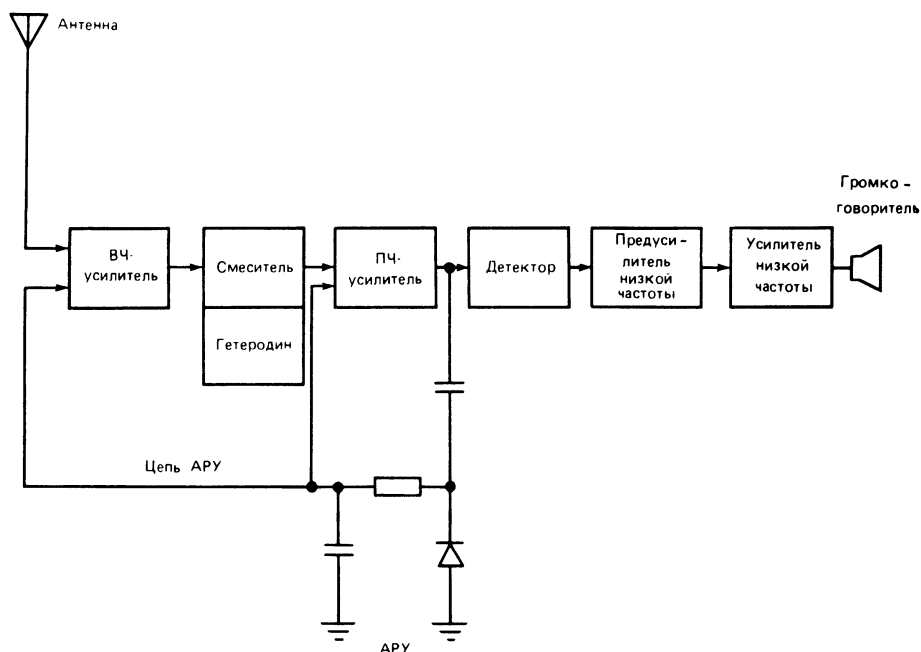


Рис. 7.1. Блок-схема супергетеродинного приемника.

назначение каждого каскада и затем перейти к методам поиска и устранения неисправностей.

Усилитель высокой частоты (УВЧ) имеет три основные функции. Первая - усиление слабого радиосигнала, на который настроена антенная цепь. Даже многие специалисты бывают удивлены, узнав, что усиление не является главной задачей УВЧ. Главной задачей этого каскада является подавление нежелательных сигналов, особенно сигналов, лежащих в зеркальной полосе частот по отношению к требуемому. Второе назначение УВЧ - полная нейтрализация обратной связи в приемнике. Следующий за УВЧ каскад (смеситель - гетеродин) может генерировать сигнал, который в свою очередь может излучаться антенной цепью. С помощью УВЧ решается проблема развязки сигнала и антенной цепи. Таким образом, УВЧ имеет три основные функции:

- 1) подавление нежелательных смежных сигналов,
- 2) подавление сигналов в зеркальной полосе частот,
- 3) нейтрализация обратной связи.

Смеситель и гетеродин преобразуют ВЧ- сигнал в сигнал промежуточной частоты. Эти каскады иногда объединяют в

один, называемый преобразователем частоты. Сигнал промежуточной частоты на выходе смесителя или преобразователя частоты является либо суммарным, либо разностным по отношению к частотам ВЧ-сигнала и сигнала гетеродина.

Усилитель промежуточной частоты (УПЧ) имеет высокий коэффициент усиления и является частотно-избирательным. Он обеспечивает усиление и избирательность всего приемника. Например, если полное усиление приемника равно 100 дБ, то вклад УПЧ составляет около 80 дБ. Аналогично, вследствие того, что частотно-избирательные фильтры легче сконструировать в расчете на одну фиксированную частоту, избирательность в приемнике сигналов определяется УПЧ.

Детектирующий каскад отделяет модулирующий сигнал от несущей. Именно детектирующим каскадом приемники отличаются друг от друга, так как его устройство зависит от типа модуляции в принимаемом сигнале. На выходе детектора получается сигнал звуковой частоты, который подается на предусилитель низкой частоты.

Предусилитель низкой частоты увеличивает звуковой сигнал до уровня, требуемого на входе усилителя низкой частоты. Предусилитель формирует также полосу пропускания звуковых частот. В связанных приемниках полоса модуляции может лежать в пределах всего лишь от 300 до 3000 Гц и, таким образом, использование полосы от 30 до 20 000 Гц, как в высококачественной звуковой аппаратуре, будет только увеличивать уровень шума при приеме сигналов.

Усилитель низкой частоты повышает уровень мощности сигнала до уровня, требуемого на входе громкоговорителя. Хотя выходная акустическая мощность высококачественного приемника может составлять от 15 до 250 Вт, действующее значение звуковой акустической мощности на выходе типичного связанного приемника составляет всего несколько сотен милливатт.

МЕТОДЫ ПОИСКА И УСТРАНЕНИЯ НЕИСПРАВНОСТЕЙ

Имеется два основных последовательных метода поиска и устранения неисправностей в приемнике: сопровождение сигнала и подача сигнала. Оба метода заключаются в отслеживании прохождения сигнала через последовательные каскады и определение, где оно нарушается.

Метод подачи сигнала показан на рис. 7.2. В этом случае выходным индикатором является громкоговоритель или осциллограф, вольтметр переменного тока или самописец, подключенные в качестве эквивалента нагрузки вместо громкоговорителя. Источником сигнала является генератор, работающий в ПЧ- и ВЧ-диапазонах. В большинстве случаев в генераторе должна

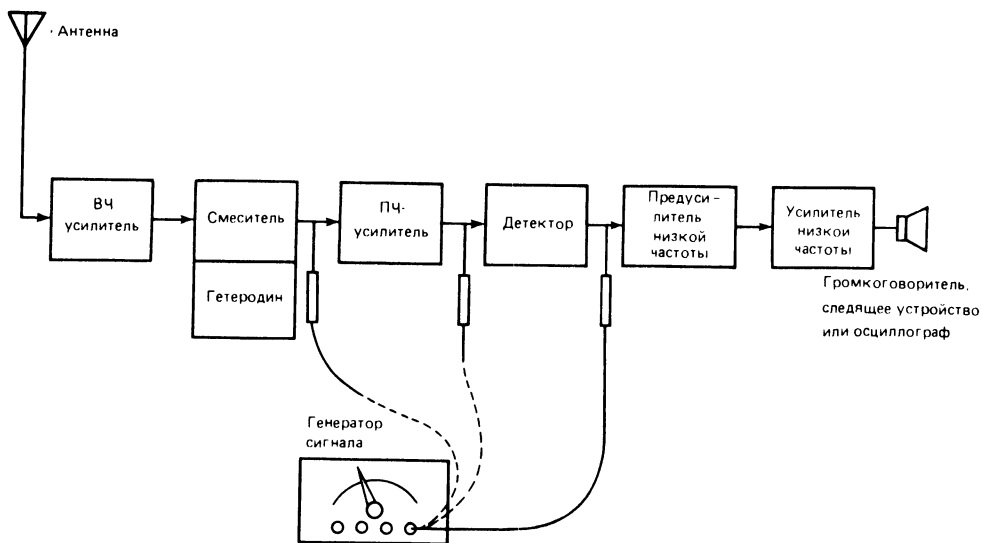


Рис. 7.2. Поиск неисправностей методом подачи сигнала.

быть также предусмотрена возможность модуляции в соответствии с типом принимаемого сигнала (АМ, ЧМ, ОБП, ФМ и другие).

В методе подачи сигнала мы начинаем с выходных каскадов и последовательно подаем сигнал на вход каждого каскада. Если испытываемый и все последующие каскады исправны, то сигнал будет регистрироваться выходным индикатором. Затем выход генератора подключается к следующему каскаду, расположенному ближе к входу приемника, и процедура повторяется. После испытания усилителей низкой частоты, вероятно, потребуется настроить генератор на частоту радиоприемника. Когда генератор будет подключен к неисправному каскаду, подача сигнала не будет влиять на показания выходного индикатора, либо выходной индикатор даст значительно более низкий отклик, чем ранее.

Тестирование смесителя и гетеродина (преобразователя частоты) иногда дает неоднозначный результат. Эта часть схемы в любом случае состоит из двух элементов: смесителя и гетеродина, даже если они объединены в единый каскад преобразования частоты. Если смеситель исправен, а гетеродин нет, то ПЧ-сигнал пройдет через смеситель. Тестирование выполняйте следующим образом:

1. Подайте ВЧ-сигнал на вход смесителя. Если сигнал на выходном индикаторе отсутствует, то

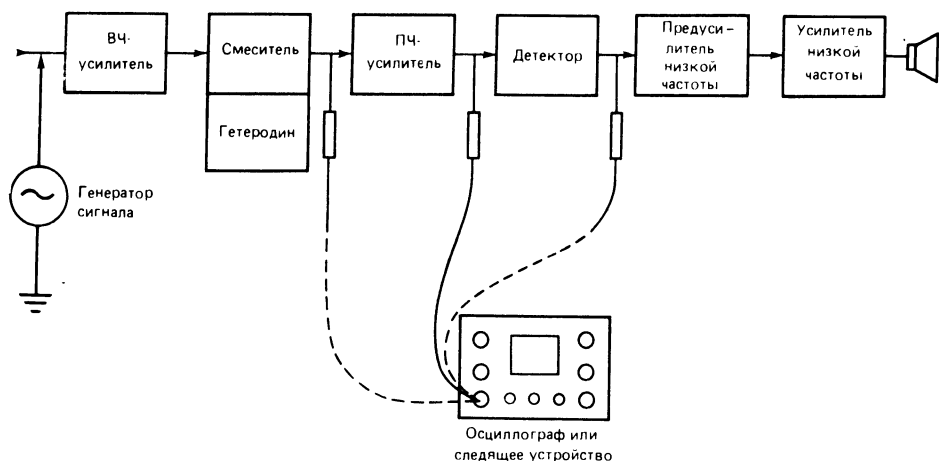


Рис. 7.3. Поиск неисправностей методом сопровождения сигнала.

2. Подайте ПЧ-сигнал на вход смесителя. Если при этом появится сигнал на выходном индикаторе, то возможна неисправность гетеродина, в противном случае неисправен смеситель.

3. При подозрении на неисправность гетеродина подайте сигнал с генератора на гетеродинный вход смесителя. Сигнал должен быть немодулированным с частотой, равной либо сумме, либо разности ВЧ и ПЧ в зависимости от конструкции приемника.

Метод сопровождения сигнала представлен на рис. 7.3. Этот метод отличается от предыдущего тем, что использует фиксированный источник входного сигнала (или передатчик с антенной, если возможно). Затем регистрирующий прибор подключается последовательно к каждому каскаду до тех пор, пока не обнаружится участок схемы, где сигнал отсутствует или значительно ослаблен. Используя процедуру, противоположную методу подачи сигнала, легко обнаружить поврежденный каскад. Следует тем не менее сделать одно предостережение. Приборы, регистрирующие сигнал, обычно представляют собой усилитель низкой частоты с выносной детекторной головкой для детектирования ВЧ-сигнала. Слишком высокое усиление может приводить к ошибочным результатам, если несмотря на очень низкий уровень сигнал все же присутствует.

Когда неисправный каскад найден, для обнаружения конкретной причины неисправности применяются другие методы. Например, методы, использующие постоянный ток, позволяют обнаружить неисправный транзистор. Эти методы являются предметом рассмотрения оставшейся части главы и следующей гла-

вы. Здесь будут описаны некоторые распространенные типы неисправностей, методы их распознавания и “маленькие хитрости”, в особенности для ФМ/ОБП приемников.

1. Высокий уровень акустического шума при установке регулятора на максимальное усиление свидетельствует о высоком уровне усиления, так что неисправность, вероятно, локализована в одном из первых каскадов.

2. Прием лишь нескольких станций в нормально заполненном диапазоне может свидетельствовать о понижении чувствительности. Если фон слаб, обратите внимание на УПЧ (особенно первые каскады). Наличие сигналов, соответствующих показаниям настроенного лимба, снимает подозрения с гетеродина и смесителя.

3. Большое количество сигналов, но с низким уровнем громкости указывает на неисправность оконечных каскадов, детектора или низкочастотных каскадов. Если регулятор уровня громкости меняет уровень шума штатно, то скорее всего каскады низкой частоты в порядке.

4. Настройте приемник в пределах рабочего диапазона, наблюдая одновременно за индикатором приема. Если индикатор периодически указывает на наличие приема, а выходной сигнал отсутствует, то исправный каскад находится между точкой подключения индикатора в УПЧ и выходом приемника.

5. Неизменные или почти неизменные показания индикатора приема могут свидетельствовать о возбуждении УПЧ либо предыдущего каскада.

ПОИСК И УСТРАНЕНИЕ НЕИСПРАВНОСТЕЙ В СХЕМАХ НА ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ЭЛЕМЕНТАХ

Предыдущий раздел был посвящен методам отыскания неисправностей в типовом радиоприемнике. Методами подачи и сопровождения сигнала можно выделить неисправную часть схемы, а затем найти неисправный элемент. В этом разделе будут рассмотрены методы поиска неисправных элементов в схемах на полупроводниковых элементах. В этих методах используются вольтметры постоянного тока. Они не лишены недостатков, но хорошо подходят во многих практических случаях, особенно в комбинации с другими методами.

Рассмотрим схемы на рис. 7.4, где показаны *npn*- и *pnp*-транзисторы. В большинстве усилительных схем напряжение между базой и эмиттером составляет от 0,2 до 0,3 В для обычных германиевых транзисторов (использовавшихся в ранних моделях оборудования) и от 0,6 до 0,7 В для кремниевых транзисторов. Кроме того,

1) в *рпр*-транзисторах база находится под большим по модулю отрицательным потенциалом, чем эмиттер,

2) в *прп*-транзисторах база находится под большим положительным потенциалом, чем эмиттер.

Коллектор находится под большим положительным потенциалом, чем эмиттер и база в *прп*-транзисторах, и большим по модулю отрицательным потенциалом в *рпр*-транзисторах. На рис. 7.5 представлена трехкаскадная цепь в схеме радиоприемника. Каждый каскад состоит из *рпр*-транзистора с питанием от источника постоянного тока. Потенциал коллекторов близок к потенциалу заземления, а потенциал эмиттеров и баз ближе к потенциалу плюсовой шины +10,5 В. Если измерить потенциал коллектора относительно земли, то он будет иметь небольшое положительное значение.

Вольтметр А измеряет потенциал интересующей нас точки (эмиттер на рис. 7.4) относительно земли. Если измеряемое напряжение примерно соответствует номинальному для каждого узла, то можно надеяться, что в схеме нет серьезных коротких замыканий, но тем не менее нельзя быть уверенным, что схема работает штатно.

Вольтметр В подсоединяется своим положительным электродом к шине питания, а другим - к эмиттеру соответствующего каскада. Эту шину всегда можно найти с помощью инструкции к прибору, но иногда это приходится делать самостоятельно. Найдите электролитический конденсатор, развязывающий шину питания (C1 на рис. 7.5). Этот фильтрующий конденсатор укажет на положение шины (если только вы случайно не спутаете его с конденсатором C2) и обычно имеет достаточно припоя на контакте для подсоединения электрода от вольтметра.

Ток, протекающий через каскад, определяется падением напряжения на соответствующем эмиттерном сопротивлении. Если падение напряжения не указано в инструкции, то вычислите его как разность между указанным на схеме потен-

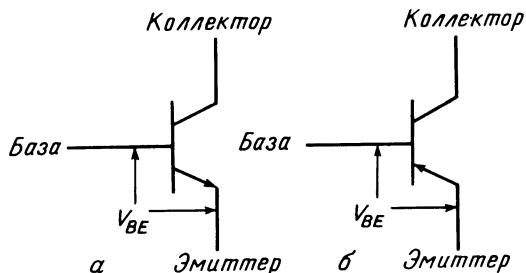


Рис. 7.4. Биполярные *прп*- и *рпр*-транзисторы.

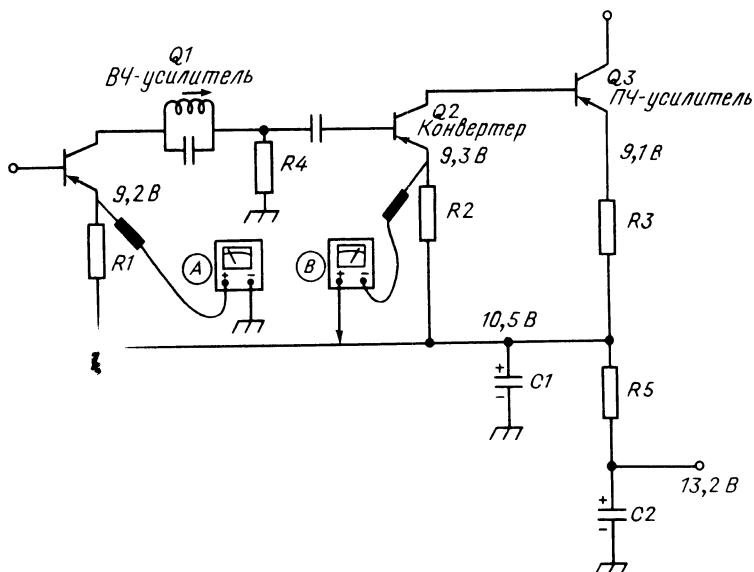


Рис. 7.5. Поиск неисправностей в транзисторной схеме рпр-типа.

циалом эмиттера и напряжением на шине питания. Например, в УПЧ на рис. 7.5 потенциал эмиттера составляет +9,1 В, а потенциал шины питания 10,5 В. Значит, при нормальном токе эмиттера падение напряжения на сопротивлении должно составить $10,5 \text{ В} - 9,1 \text{ В} = 1,4 \text{ В}$. Любое серьезное отклонение от этого значения указывает на неисправность. Например, пробой транзистора привел бы к увеличению напряжения на эмиттерном сопротивлении до 10 В, а утечка в транзисторе также привела бы к увеличению напряжения выше 1,4 В, хотя и не столь значительному. Точно так же обрыв эмиттера (или другой режим осечки каскада) уменьшит напряжение на эмиттерном сопротивлении до нуля или около того.

Можно выявить неисправный каскад, проверяя последовательно напряжения на каждом эмиттере. Чаще всего неисправность каскада проявляется в отклонении от номинальных потенциалов эмиттера.

Приемники с *ppr*-транзисторами ремонтируются так же. На рис. 7.6 представлена схема радиоприемника на основе *ppr*-транзисторов с постоянным питанием, положительным относительно земли. Потенциал коллекторов при этом близок к потенциалу шины питания, а напряжения на эмиттерах и базах гораздо ниже. Значения, приведенные на рис. 7.6, яв-

ляются типичными, но их не следует считать универсальными (возможны изменения в зависимости от конкретной схемы, поэтому руководствуйтесь инструкцией к выбранному оборудованию).

Как и в случае *pnp*-транзисторов, потенциалы тока эмиттера в *pnp*-транзисторах определяют состояние каскада. Однако в схемах этого типа опорным является потенциал земли, а не шины питания. Тем не менее общий принцип сохраняется. Можно последовательно проверить потенциалы эмиттеров и выявить неисправный каскад. К счастью, при этом требуется меньше вычислений. Легко видеть, что падение напряжения на эмиттерном сопротивлении, определяющее ток эмиттера, равно напряжению на эмиттере.

Оба рассмотренных метода предполагают, что используется постоянное питание, положительное относительно земли. Такое питание применяется во всех современных американских легковых и грузовых автомобилях и, таким образом, типично для портативных конструкций. В большинстве стационарных конструкций, как правило, используется такое же положительное относительно земли напряжение, но не всегда. В некоторых случаях применяется отрицательный относительно земли питающий потенциал либо два питающих потенциала (положительный и отрицательный относительно земли). Общий принцип в этих случаях сохраняется, меняется лишь значение опорного потенциала.

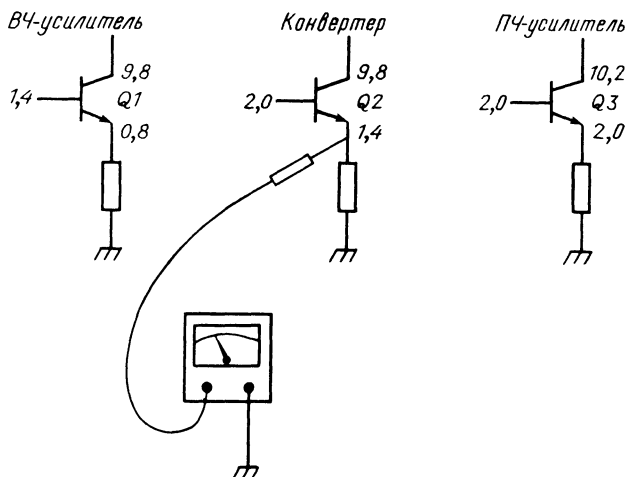


Рис. 7.6. Поиск неисправностей в схеме на *pnp*-транзисторе.

Перестраиваемые генераторы в приемниках либо передатчиках работают в несколько иных режимах. Режим работы транзисторов по постоянному току в таких генераторах, как правило, изменяется при перестройке частоты. Обычно напряжение растет на низкой частоте и падает на высокой (при плавной настройке в пределах рабочего диапазона). Резкие броски напряжения при такой настройке могут свидетельствовать о внезапном прекращении генерации (либо о паразитной генерации при соответствующем положении настроенного лимба).

Кварцевые генераторы работают аналогично. При переключении с одного кристалла на другой напряжение также может измениться. Удаление кристалла обычно приводит к значительному изменению напряжения. Не делайте этого, предварительно не подумав. В ряде случаев, особенно если следующий каскад представляет собой ламповый усилитель мощности с сопротивлением смещения в сеточной цепи, это может вызвать выход оборудования из строя.

НЕОПРЕДЕЛЕННЫЙ СЛУЧАЙ

Есть три способа выявления неисправных каскадов радиоприемника. В первых разделах главы описаны методы подачи и сопровождения сигналов, а в последнем - применение вольтметра постоянного тока. Но при этом есть по крайней мере один неопределенный случай.

Рассмотрим рис. 7.7. Это упрощенная схема каскада низкой частоты, где детализирован лишь предусилитель. Предусилитель низкой частоты и выходной усилитель мощности могут быть объединены либо с помощью конденсатора (как показано здесь), либо напрямую, либо выполнены в виде ИС. Неисправность проявляется в слабом приеме. Радиостанции слышны, но очень тихо. Этот симптом обычно указывает на неисправность УПЧ, детекторного или низкочастотного каскада. В нашем случае неисправен каскад низкой частоты.

Во многих случаях потенциалы транзистора Q1 по постоянному току находятся в норме и прохождение сигнала также выглядит штатным, независимо от того, какой метод поиска используется. Неисправность этого типа можно определить напрямую только с помощью специального оборудования, когда чувствительности и импедансы генератора сигналов и регистрирующего прибора согласованы с параметрами ремонтируемого приемника (к такому оборудованию относятся некоторые "радиоаналитические" приборы, используемые в мастерских по ремонту бытовой электроники).

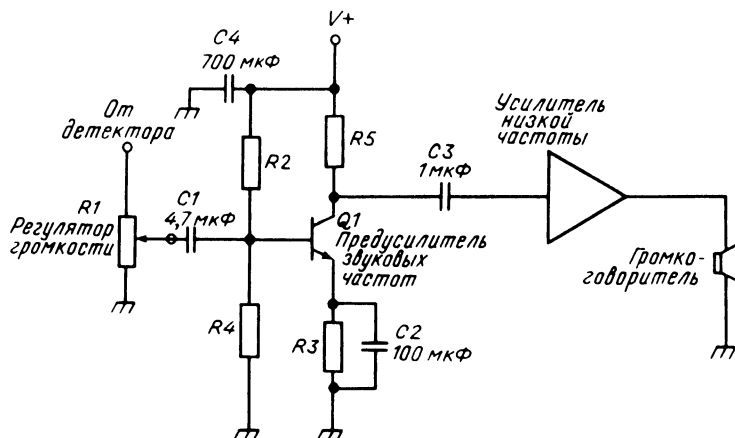


Рис. 7.7. Усилитель низкой частоты.

Если вы столкнулись с такой неопределенной ситуацией, проверьте конденсатор C2. Он предназначен для заземления эмиттера по переменному току при одновременном сохранении напряжения смещения по постоянному току. При неисправном конденсаторе усиление каскада заметно упадет, но это не повлияет на режимы по постоянному току. Выключите приемник и припаяйте конденсатор к контактам C2 (точная емкость не критична, для проверки подходит любая емкость в пределах 200% от номинальной). Включите приемник. Если выходная акустическая мощность возросла, замените конденсатор C2.

ТЕСТЕР ДЛЯ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ КОМПОНЕНТОВ

Аналоговый или цифровой универсальный измерительный прибор можно использовать как тестер для диодов и транзисторов. Если прибор позволяет измерять сопротивление, то можно измерить обратное сопротивление диода и судить о наличии утечки. Можно также определить катод и анод в немаркированном диоде.

Покупка неликвидных транзисторов - популярный способ снабжения ремонтных мастерских запчастями по низким ценам. К сожалению, многие из этих транзисторов и диодов бесполезны. Плохое качество некоторых из них проявляется сразу - они выходят из строя, как только установлены в схему. Другие не имеют маркировки и неизвестно, к какому типу относятся. После проведения измерений можно уверенно сказать, какие из них будут работать, а каким - место на свалке.

УСТРОЙСТВО ОММЕТРА

Чтобы разобраться в методах тестирования, рассмотрим предварительно соответствующее оборудование. Как работают аналоговые и цифровые омметры? В аналоговых омметрах элемент питания или другой источник постоянного тока соединен последо-

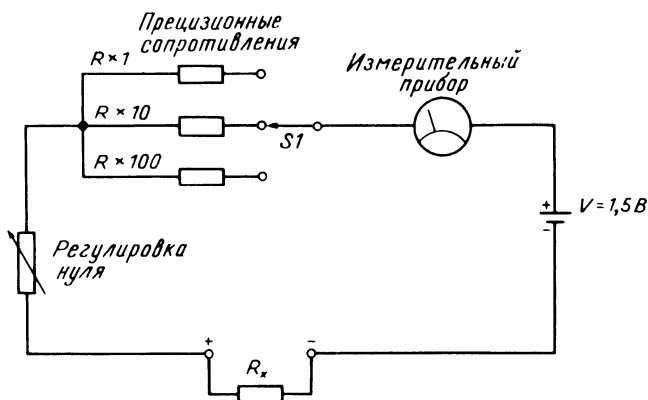


Рис. 7.8а. Типичная схема омметра.

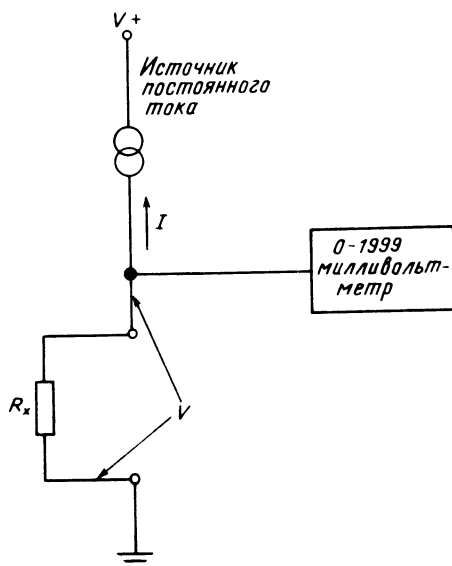


Рис. 7.8б. Схема современного омметра.

вательно с измерительным прибором и некоторым калиброванным сопротивлением (рис. 7.8а). Электрический ток идет по цепи через измерительный прибор от одного полюса источника питания к другому. Если подключить последовательно в цепь дополнительное сопротивление, отклонение стрелки измерительного прибора будет меньше, чем при закороченных щупах. Именно поэтому высококачественные измерительные приборы снабжены прецизионными сопротивлениями - они ограничивают отклонение стрелки прибора (и ток) таким образом, что стрелка всегда останавливается в определенном месте шкалы. При закороченных щупах это место будет, очевидно, соответствовать отметке 0 Ом.

При подключении к входу измерительного прибора внешнего резистора (в режиме измерения сопротивлений) ток в цепи стрелочного индикатора падает и отклонение стрелки будет меньше.

В цифровых универсальных измерительных приборах используется другой принцип измерения сопротивления. В этом случае, как видно на рис. 7.8б, применяется источник постоянного тока для поддержания строго определенного постоянного тока через неизвестное сопротивление. Основная часть схемы обычно представляет собой милливольтметр с диапазоном измерения от 0 до 1999 мВ. Зная постоянный ток, протекающий через резистор, можно определить сопротивление, измерив падение напряжения на нем. Например, постоянный ток 1 мА создает падение напряжения 1 мВ/Ом. Как правило, постоянный ток зависит от диапазона измерения, но в принципе примерно одинаков.

ТЕСТИРОВАНИЕ ДИОДОВ

Диоды являются простейшими полупроводниковыми приборами, поэтому начнем с них. Кроме того, метод тестирования транзисторов использует тот факт, что переходы база - эмиттер и база - коллектор в транзисторе образуют диоды. Диод пропускает ток только в одном направлении. Это уникальное свойство лежит в основе метода тестирования. Возможны четыре состояния диода: обрыв, пробой, состояние с утечкой и нормальное. Перед началом измерений следует приготовить бумагу и ручку для записи показаний.

Пусть испытывается выпрямительный диод. Переключите омметр на шкалу $R \times 1$ (рис. 7.9а) и подсоедините щупы к контактам диода. Запишите показания, затем поменяйте зонды местами (рис. 7.9б) и снова запишите показание. После этого можно заняться интерпретацией результатов.

Будем считать для простоты, что первый проверяемый диод

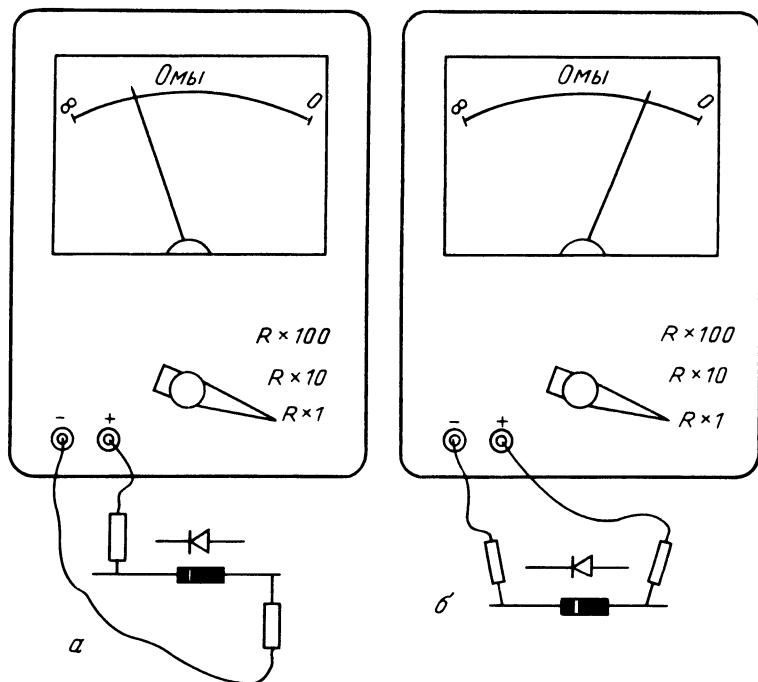


Рис. 7.9. Тестирование полупроводникового диода с помощью омметра. Сопротивления при прямом (а) и обратном (б) смещениях существенно различаются.

оказался исправным. Как мы это узнали? Если диод в порядке, то одно из значений сопротивления значительно превышает другое. Абсолютные значения сопротивлений не столь важны, как их отношение. Сравните отношение 5:1 и выше, нормальное для выпрямительных диодов устаревших типов, и 10:1 для современных выпрямительных, а также слаботочных диодов. Например, если нижнее значение сопротивления составляет 500 Ом (типичное значение), то верхнее значение должно быть 5000 Ом и более для хорошего диода. Диоды последних моделей могут иметь очень высокое и даже практически бесконечное отношение сопротивлений.

Слаботочные диоды проверяются так же, как выпрямительные, только омметр следует переключить со шкалы $R \times 1$ на шкалу $R \times 100$. Нижняя шкала $R \times 1$ характеризуется более высоким током во внешней цепи, что может привести к повреждению слаботочных диодов.

Пробитый диод всегда имеет нулевое сопротивление, независимо от полярности щупов (рис. 7.10). Если же первый и

второй отсчеты почти одинаковы, но отличны от нуля, то диод имеет утечку и практически бесполезен.

Пробитый диод и диод с обрывом проверяются аналогично. Диод с обрывом имеет очень высокое (иногда бесконечное) сопротивление (рис. 7.11). В аналоговом измерительном приборе стрелка не сдвинется с отметки “бесконечность”, а на цифровом дисплее высветится 1999. Пробитый диод имеет либо нулевое, либо очень низкое сопротивление в обоих направлениях (например, меньше 100 Ом). Заметим, что пробитый диод не всегда имеет одинаковые сопротивления в обоих направлениях. Иногда сопротивления могут составлять 50 и 80 Ом, что соответствует очень высокой утечке, и поэтому с точки зрения практических применений такой диод следует считать пробитым.

Омметр можно также использовать для определения катода и анода в немаркированном диоде. Для этого надо знать полярность щупов омметра. Это можно сделать, измерив напряжение на щупах с помощью вольтметра постоянного тока и заметив знак отсчета. Можно использовать и другой метод. Надо взять исправный диод с маркированными катодом и анодом (катод обычно маркируется полоской краски, закруглением и т.д.) и

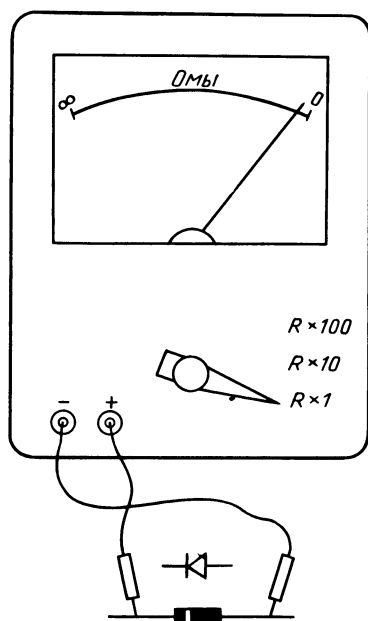


Рис. 7.10. Сопротивление пробитого диода близко к нулю при обеих полярностях.

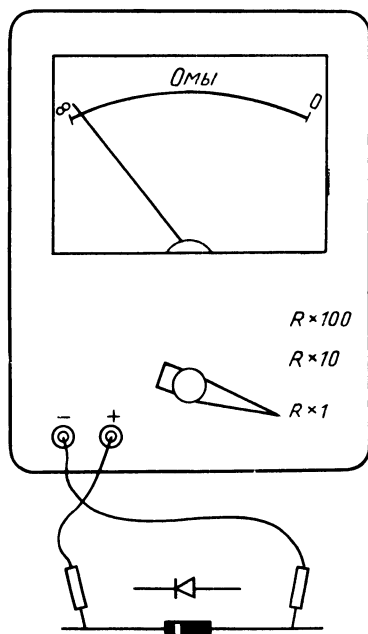


Рис. 7.11. При обрыве сопротивление диода очень велико независимо от полярности.

подсоединить его к омметру так, чтобы сопротивление было минимальным. В этом положении положительный зонд омметра соединен с анодом и его можно пометить. Щуп с красным проводом обычно соответствует плюсу.

Если положительный электрод вольтметра известен, то можно произвести маркировку катода и анода в любом диоде. Подсоедините диод к зондам омметра, чтобы сопротивление было минимально. Тогда положительный электрод соединен с анодом (другой электрод, разумеется, с катодом).

ТЕСТИРОВАНИЕ ТРАНЗИСТОРОВ

Транзисторы обычно делятся на категории в соответствии с характерными режимами работы. Если посмотреть в каталог, то обнаружится, что многие транзисторы с последовательными номерами имеют сходные характеристики. Одинаковые по рабочим характеристикам *npn*- и *pnp*-транзисторы с противоположными полярностями называются комплементарными парами.

Начнем со слаботочных *pnp*-транзисторов. Метод проверки транзисторов с помощью различных измерительных приборов не

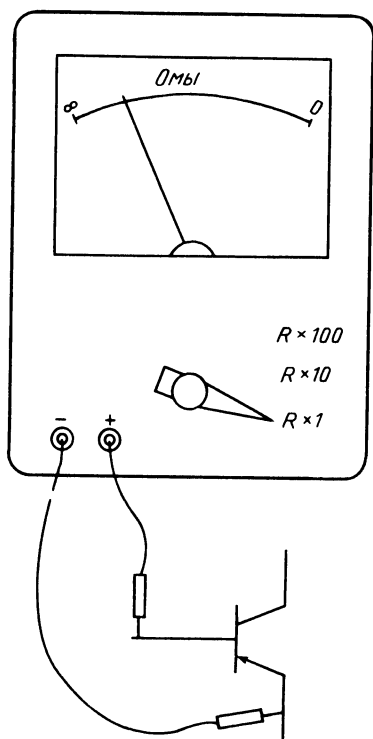


Рис. 7.12а. Обратное смещение перехода база - эмиттер в *npn*-транзисторе.

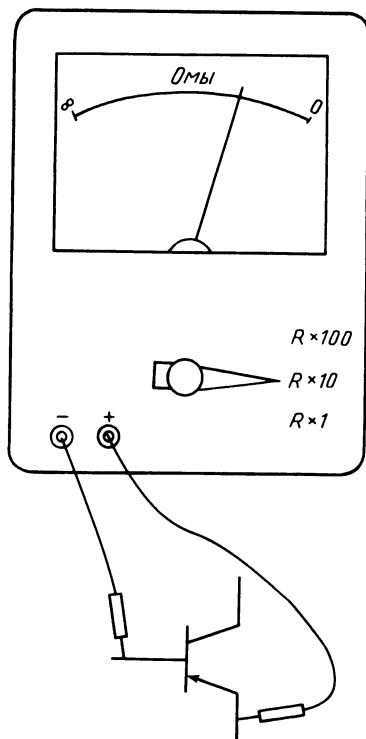


Рис. 7.12б. Прямое смещение перехода база - эмиттер в *npn*-транзисторе.

отличается от случая проверки диодов. Измерения для слабых транзисторов следует проводить по шкале омметра $R \times 100$, а для мощных - по шкале $R \times 1$. Соедините отрицательный щуп омметра с базой транзистора. Поочередно касаясь коллектора и эмиттера положительным щупом, определите сопротивление каждого перехода. Затем выполните эти измерения для противоположной полярности, соединив положительный щуп с базой (рис. 7.12а - 7.12г).

Какое отношение имеют эти измерения к тестированию транзистора? Одним выстрелом убиты два зайца. Во-первых, можно выявить утечку, пробой или обрыв в транзисторе. Это проявится в отклонении результатов измерений от характерных для диода. Во-вторых, проверена или определена полярность транзистора, т. е. его тип.

Пусть переход база - эмиттер разорван. Тогда омметр пока-

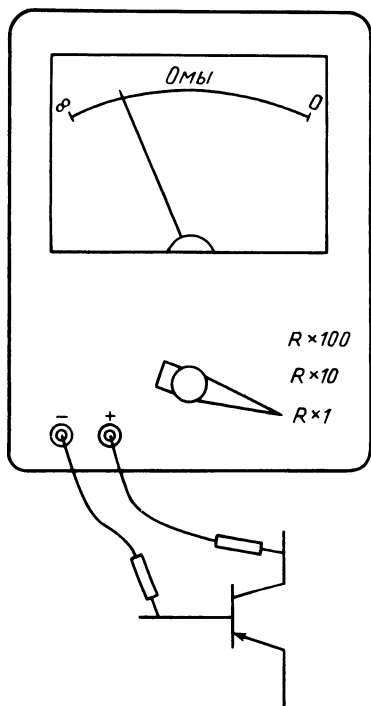


Рис. 7.12в. Обратное смещение перехода база - коллектор в *npn*-транзисторе.

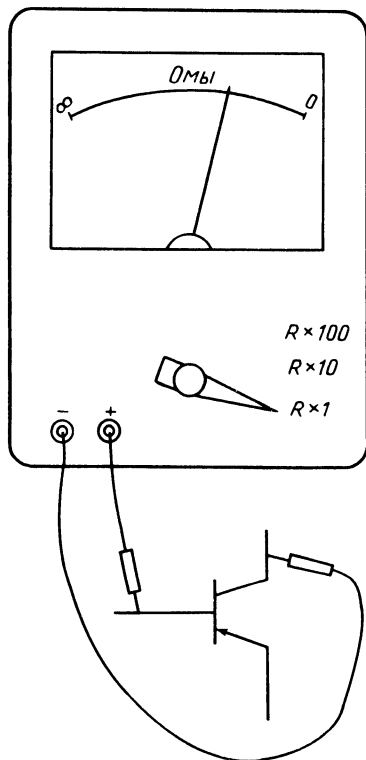


Рис. 7.12г. Прямое смещение перехода база - коллектор в *npn*-транзисторе.

жет очень высокое сопротивление независимо от того, какой электрод подсоединен к базе. Если переход база - эмиттер пробит, то сопротивление в обоих случаях будет очень низким. Информация об утечке содержится в результатах измерений. О ней можно судить по отклонению сопротивления перехода база - эмиттер от нормального, характерного для данного типа транзистора.

Определение типа транзистора сводится просто к определению минимального сопротивления перехода база - эмиттер (рис. 7.12). Для *npn*-транзисторов минимальное сопротивление достигается, когда положительный электрод соединен с эмиттером, а отрицательный - с базой. Для *pnp*-транзисторов картина обратная, т. е. минимальное показание омметра достигается при подсоединении положительного электрода к базе, а отрицательного - к эмиттеру.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЫВОДОВ

Можно использовать омметр, даже если тип проверяемого транзистора неизвестен. Процедура несколько сложнее - следует более внимательно снимать показания прибора. Сначала укрепите транзистор на куске бумаги или картона, чтобы можно было делать записи. Пометьте выводы транзистора X, Y, Z.

Теперь выберите произвольно какой-либо вывод, например X, и коснитесь его положительным щупом омметра. Отрицательным щупом коснитесь другого вывода, скажем Y. Снимите показания вольтметра и запишите на бумаге между выводами. Поменяйте щупы местами и снова снимите отсчеты и запишите их.

Подведите щупы омметра к другой паре выводов (например Y, Z). Повторите измерения и запишите их. В итоге получается набор сопротивлений между выводами транзистора.

Один набор сопротивлений практически совпадает. Он соответствует коллектору и эмиттеру. Пометьте один из них буквой Э, а другой - К (конкретная маркировка пока не важна). Так как эмиттер и коллектор определены, значит, третий вывод принадлежит базе. Напишите около него букву Б.

Предположим, что данный транзистор типа *npn*. Если сопротивление база - эмиттер было ниже, а сопротивление база - коллектор выше, когда положительный электрод соединен с базой, то это *npn*-транзистор. Именно поэтому эмиттер и коллектор были помечены произвольно. Этот процесс требует навыка. Поэтому имеет смысл попрактиковаться с известными транзисторами. Для *pnp*-транзистора картина будет обратная. В любом случае надо сначала определить эмиттер и коллектор, а затем измерить сопротивления переходов база - эмиттер и база - коллектор.

Мы проделали значительную работу по сортировке исправных, неисправных и немаркированных транзисторов. Было ли это оправдано? Наш метод позволяет отделить зерна от плевел, когда приобретается партия транзисторов. Он также может быть использован при поиске неисправностей и ремонте.

ПРОВЕРКА НА УСИЛЕНИЕ

Транзистор, в котором потенциал базы не влияет на ток перехода база - коллектор, не имеет практической ценности. Все рассмотренные методы тестирования выявляют серьезные неисправности - обрыв эмиттера, пробой перехода коллектор - эмиттер и т. п., но не дают информации об усилительных свойствах транзистора. На рис. 7.13 показан метод, используемый ра-

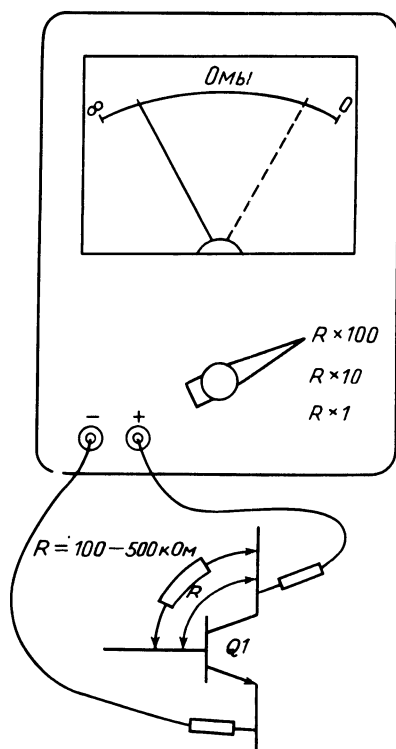


Рис. 7.13. Проверка биполярного транзистора на "псевдоусиление".

диодными приборами для определения качества транзистора. Подсоедините щупы омметра к коллектору и эмиттеру так, чтобы полярность соответствовала используемой в схеме. Для *npn*-транзисторов отрицательный щуп соедините с эмиттером, а положительный - с коллектором (рис. 7.13). При исправном транзисторе показания прибора будут очень высоки, практически бесконечны. Далее замкните базу на коллектор. Если транзистор исправен, то сопротивление коллектор - эмиттер упадет. Некоторые предпочитают использовать сопротивление 100 или 500 кОм вместо короткого замыкания (R на рис. 7.13).

ПРОВЕРКА НА УТЕЧКУ

Утечка в транзисторе - это нежелательный ток от коллектора к эмиттеру и обратно. Проверка на утечку сводится к двукратному измерению сопротивления коллектор эмиттер при различных полярностях (рис. 7.14). Утечка определяется большим из

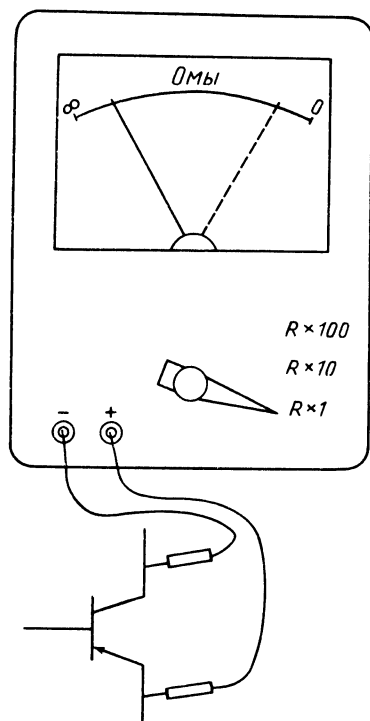


Рис. 7.14. Проверка на утечку. Из измерений при обеих полярностях выберите максимальный отсчет.

двух значений (одно сопротивление обычно мало вследствие свойств перехода). В германиевых транзисторах утечка ниже, чем в кремниевых. Кремниевые транзисторы имеют практически бесконечное сопротивление во всех трех диапазонах омметра. Германиевые транзисторы могут быть пригодны при утечке 100 кОм.

ПРИМЕНЕНИЕ ЦИФРОВЫХ УНИВЕРСАЛЬНЫХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ

Цифровые универсальные измерительные приборы в основном (но не полностью) вытеснили приборы прежних конструкций. Выше мы обсудили метод измерения сопротивления с помощью цифрового прибора. К сожалению, этот метод не подходит для проверки полупроводниковых радиоэлементов, так как напряжение на щупах недостаточно для прямого смещения *p-n*-перехода.

Хотя это позволяет измерять сопротивления непосредственно в схеме, без удаления полупроводниковых деталей, но препятствует проверке полупроводниковых деталей. Тем не менее в последних моделях цифровых универсальных измерительных приборов такая возможность существует благодаря специальному режиму, позволяющему смещать диодный переход в прямом направлении. Соответствующая шкала в режиме измерения сопротивлений помечена словами "Высокое напряжение" или символом диода.

МЕРЫ ПРЕДОСТОРОЖНОСТИ

Диоды и небольшие транзисторы могут быть повреждены током омметра. Поэтому начинайте всегда со шкалы $R \times 100$, а затем переходите на $R \times 10$, $R \times 1$ только в том случае, если это необходимо для заметного отклонения стрелки. Оба отсчета производите на одной шкале. Обычно ток в омметре зависит от диапазона измерений, так что измерения на разных шкалах соответствуют разным смещениям и сравнивать их - все равно что сравнивать яблоки с апельсинами. При работе с приборами старых конструкций, в частности изготовленных до 1965 г., убедитесь, что в омметре стоит батарея на 1,5 В, а не 22,5 В, которая может вывести из строя большинство полупроводниковых элементов.

ГЛАВА 8

ПОИСК И УСТРАНЕНИЕ ПЕРЕМЕЖАЮЩИХСЯ НЕИСПРАВНОСТЕЙ

Проблемы, связанные с неисправностью оборудования, никогда не были легкими, особенно потому что системы радиосвязи и радиовещания вследствие этих проблем иногда больше простаивают, чем работают. Среди них особенно неприятные проблемы связаны с перемежающимися неисправностями. Эти неисправности доставляют наибольшие хлопоты. Они почти никогда не проявляются в тот момент, когда вы готовы начать поиск неисправности. С большой вероятностью неисправный прибор будет работать вполне нормально, когда вы подойдете к нему с тестером, полные решимости его отремонтировать. Но стоит отвернуться - и неисправность тут как тут.

Хотя поиск неисправностей часто относится к сфере “чародейства и волшебства”, некоторые приемы могут повысить вероятность успеха. Один из них заключается в изучении наиболее вероятных узлов и повреждений, ведущих к перемежающейся неисправности. Одно из первых мест в списке займут переключатели и реле. Эти механические узлы особенно подвержены износу и поломкам. Здесь можно столкнуться с загрязнением электрических контактов, слабыми пружинами и другими дефектами. Во многих случаях применение резинового ластика или специального чистящего состава (например, Blue Stuff) может творить чудеса. В остальных случаях поможет только замена неисправного узла.

Другой класс ненадежных устройств представляют потенциометры. Это резисторы переменного сопротивления, в которых скользящий электрод, соединенный с направляющей осью, перемещается вдоль проволоочного или угольного сопротивления. Загрязнение сопротивления или скользящего контакта приводит к нарушению нормальной работы устройства. Если грязь не привела к необратимым повреждениям сопротивления (это иногда случается, особенно с угольными сопротивлениями), применение чистящей жидкости решит проблему. Будьте осторожны, когда через скользящий контакт протекает постоянный ток. В некото-

рых моделях радиоприемников разработчики в целях экономии убирают разделительный конденсатор между регулятором громкости и звуковым предусилителем. Таким образом, резистор, контролирующий громкость, становится частью цепи смещения транзистора в предусилителе. Постоянный ток, протекающий через регулятор, создает серьезную проблему для выполнения гарантийных обязательств - такие регуляторы громкости выходят из строя через несколько месяцев!

Перебегающие неисправности часто встречаются также в печатных платах. Наиболее распространенная локализация - места пайки и дефекты монтажной платы (иногда скрытые). Эти дефекты часто возникают на участках с повышенной температурой: около мощных транзисторов, выпрямителей, вакуумных ламп, мощных сопротивлений (2 Вт и выше) и т.д. Монтажные платы будут рассмотрены ниже.

В оборудовании на вакуумных лампах источником перебегающих неисправностей могут быть контакты в ламповых панелях. Это может быть следствием неполадок в контактных зажимах (рис. 8.1). Такие неисправности, как правило, поддаются ремонту. Если загрязнились контакты, удалите лампу, аккуратно прочистите штырьки обыкновенным ластиком, промойте их жидкостью для чистки контактов и после этого поставьте лампу на место. Далее, выньте лампу и снова вставьте 4 - 5 раз, чтобы очистить панель. Подождите около получаса, пока просохнут контакты, и включите прибор для проверки результатов. Если неисправность не устранена, подправьте контактные зажимы с помощью маленькой отвертки или какого-либо заостренного инструмента.

Иногда перебегающие неисправности связаны с отдельными радиодеталями и распознать их очень трудно. К тому же они не всегда могут проявляться в момент тестирования. Особого внимания требуют транзисторы в пластиковых корпусах,

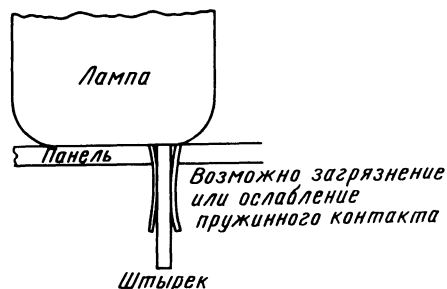


Рис. 8.1. Ламповая панель - источник перебегающих неисправностей.

трубчатые (немайларовые) конденсаторы и сопротивления. Эти радиодетали создают множество проблем.

ПОИСК ПРИЧИН ПЕРЕМЕЖАЮЩЕЙСЯ НЕИСПРАВНОСТИ

Для решения этой проблемы не существует универсального метода, так как различные виды оборудования требуют различных подходов. Мы же ограничим рассматриваемую область и направим усилия на поиск неисправностей в высокочастотном морском ОБП-приемопередатчике с неполадками в режиме приема радиосигналов.

Сначала следует рассмотреть проблему в целом. Уясните для себя характер неисправности прибора, определите, какие функции нарушены и в каком режиме - приемном или передающем. Этот этап очень важен для быстрого успеха. Затем можно сосредоточиться на конкретных узлах. Например, если неполадки проявляются в режиме ОБП, а не АМ, при приеме, а не передаче, то можно предположить, что общие каскады, используемые в этих режимах, исправны. Анализ работы приемопередатчика поможет выявить неисправные каскады (проведите анализ блок-схемы).

МЕХАНИЧЕСКИЕ ПОВРЕЖДЕНИЯ

Некоторые повреждения возникают вследствие вибраций, толчков или ударов. В некоторых случаях это связано с некачественными переключателями и потенциометрами. Легкое постукивание непроводящим предметом, покачивание прибора или визуальный осмотр часто помогают выявить причину неисправности.

Механические повреждения часто связаны с плохими контактами в печатных платах или некачественными радиодеталями, размещенными на них. И опять легкое постукивание по плате и (или) отдельным деталям нередко помогает обнаружить причину неисправности. К сожалению, постукивание не всегда помогает, бывает и так, что воздействие в любом месте платы приводит к нарушению нормальной работы. В этом случае есть два полезных и простых приема: визуальный осмотр и полная перепайка.

Пример типичного источника перемежающейся неисправности показан на рис. 8.2. Здесь представлен перестраиваемый ПЧ-трансформатор из радиоприемника. Трансформатор (рис. 8.2,а) состоит из одного или нескольких перестраиваемых LC-контуров. Катушки соединяются с контактными штырьками в основании (рис. 8.2,б) с помощью тонких проводов. Эти провода часто обрываются, что приводит к нарушению контакта и переме-

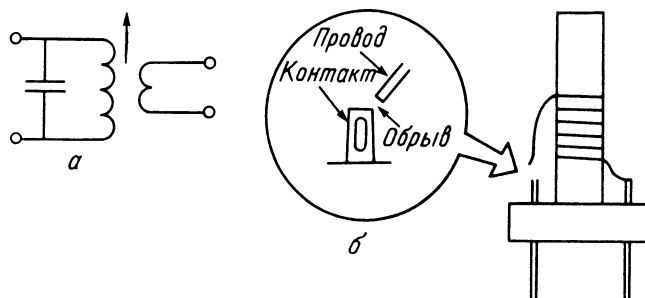


Рис. 8.2. Нарушение контакта в ПЧ/ВЧ-катушке.

жающейся неисправности. Иногда обнаруживается, что они вообще не были припаяны при сборке на заводе. Иногда ремонт можно осуществить с помощью увеличительного стекла и паяльника.

Визуальный осмотр включает осмотр каждого контакта на печатной плате. С этой целью удобно использовать увеличительное стекло примерно с 10-кратным увеличением при подходящем освещении. Осмотр следует проводить двумя способами: сначала свет должен падать со стороны расположения контактов, а затем - с обратной стороны через плату (рис. 8.3). Во втором случае обнаруживаются трещины внутри платы, которые могут привести к повреждению контактов или проводящих дорожек. Если даже контакты и проводящие дорожки исправны, они должны быть укреплены. Метод визуального контроля требует определенного навыка: необходимо тренировать глаз, т. е. различать дефект там, где неопытный человек его не увидит.

Некоторые техники используют при осмотре печатных плат

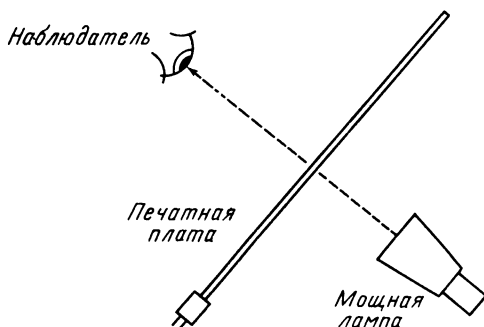


Рис. 8.3. Визуальный поиск дефектов печатной платы.

лак для ногтей и кисточку или карандаш. Каждое подозрительное место помечается и может быть проверено позднее. Этот способ, заимствованный в ремонтных мастерских, особенно полезен, если используется увеличительное стекло, нарушающее пространственное восприятие.

Полная перепайка используется прежде всего тогда, когда а) место повреждения известно, б) печатная плата мала или в) нет другого выхода. В свое время продавалась модель портативного приемника для радиосвязи, в котором доступ к печатной плате высокочастотного каскада был затруднен, а эта плата имела высокий уровень перемежающейся неисправности из-за плохих контактов. В этом случае визуальный контроль не был эффективен. Более опытные техники вытаскивали плату, перепайвали все контакты и лудили каждую проводящую дорожку. Такой способ редко давал отрицательные результаты.

Здесь хотелось бы ответить на возможные замечания “максималистов”. Я признаю, что подход, при котором точно определяют место повреждения и после этого проводят ремонт, выглядит более элегантно. К сожалению, это требует значительных затрат времени, а иногда вообще невозможно. Пока “максималист” пытается “вычислить” неисправный контакт, мудрый (и деловой) техник уже заканчивает ремонт и переходит к следующему заказу. Этот подход является более выгодным, а для пользователя или владельца радиостанции гарантирует скорейшее возвращение в эфир.

ТЕПЛОВЫЕ ПОВРЕЖДЕНИЯ

Другой причиной перемежающейся неисправности может быть чувствительность к перепаду температур, к воздействию как жары, так и холода. Основную проблему при этом представляет приемник, отказывающийся нормально работать как в жару, так и в холод. Зимой передвижное оборудование может охлаждаться до окружающей ночной температуры, скажем 10° ниже нуля. С другой стороны, летом оно может нагреться до температуры, существенно превышающей окружающую. В 1963 г., когда ведущие компании, производящие автомобильную электронику, занялись проблемой надежности, они обратились к своим служащим с просьбой не запирать автомобили, чтобы инженеры могли замерять температуру в кабине автомобиля. При температуре на солнце 30° температура воздуха в кабине над передним сиденьем за 4 часа поднималась до 60° , а за приборной доской - до 80° .

Перепады температур, воздействующие на подвижное оборудование, приводят к специфическим нарушениям в работе. Например, прибор может не работать, когда водитель сел в авто-

мобиль, но заработает через 10 мин, когда обогреватель или кондиционер повысит температуру в кабине.

Стационарное оборудование не подвергается перепадам внешней температуры, но и в нем могут возникнуть неисправности, связанные с изменениями температурного режима. В таких случаях прибор может не работать, пока не прогреется до определенной температуры, или, напротив, прекрасно работать, а потом прекратить. Даже в тех случаях, когда неисправность не связана непосредственно с термическим воздействием, изменение температуры усугубляет ситуацию и облегчает поиск неисправностей.

Сначала обсудим, как можно нагреть прибор. Используйте нагрев всего устройства только для того, чтобы выяснить, обусловлена ли неисправность изменением температуры. Для этого подойдет мощная лампа накаливания, лампа "горное солнце" или фен для волос. Если в приборе имеется большое количество мощных узлов или вакуумных ламп, можно нагреть прибор, накрыв его полотенцем или покрывалом. Этот метод особенно полезен, если неисправности проявляются только при закрытом корпусе. Термическая неисправность будет сохраняться в течение нескольких минут после снятия полотенца, что позволит приступить к ремонту. Нагрев всего устройства дает необходимое время для установления неисправности, однако не позволяет выделить неисправный узел, чувствительный к температуре. С этой целью следует использовать локальный нагрев.

Имеется несколько способов локального нагрева. Например, миниатюрная "тензорная" лампа позволит нагреть небольшой участок печатной платы. Хорошо локализовать подвод тепла и даже нагреть отдельный элемент позволяет паяльник. Однако будьте осторожны - горячее жало паяльника может повредить некоторые радиодетали (прежде всего полиэтиленовые конденсаторы). Другой метод нагрева отдельных элементов представлен на рис 8.4. Источником тепла здесь является лампа накаливания на 6 или 12 В. Для подвода тепла от лампы к отдельным компонентам, таким, как транзисторы или ИС, используется цилиндрическая муфта ("спагетти") из изолирующего материала. Источник тепла помещается на открытом конце муфты, концентрируя поток тепла в направлении испытываемого элемента. "Сказка сказывается и дело делается" за 30 секунд или около того.

Некачественные детали выявляются легко. Происходит внезапное изменение режима работы или увеличение уровня шума - обычно это хорошо заметно.

Другая температурная аномалия - прибор не работает на холоде. Здесь понятие "холод" может означать как арктический мороз, так и комнатную температуру (или лежать где-то посе-

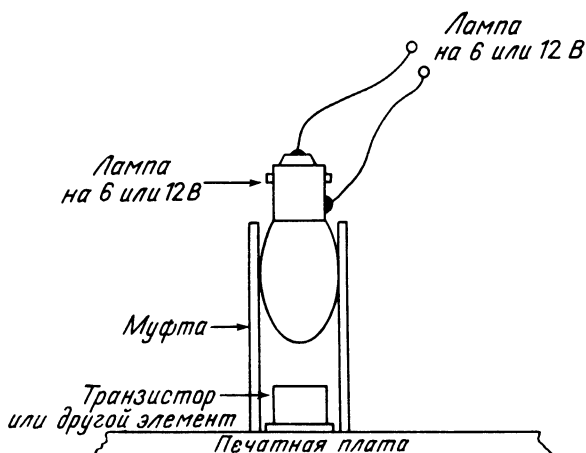


Рис. 8.4. Старая уловка для локального нагрева.

редине), в зависимости от ситуации. Локальное охлаждение труднее осуществить, чем нагрев. Небольшие устройства, скажем портативный приемопередатчик, можно поместить в холодильник. В большинстве случаев 30 - 60 минут в холодильнике дадут 5 - 10 минут на поиск неисправности.

Для проверки отдельных элементов необходимо локальное охлаждение. Здесь можно применить фреоновую аэрозольную "заморозку" (рис. 8.5). Существует несколько типов таких аэрозолей. Торговые фирмы, которые имеют дело с ремонтными телерадиомастерскими, обычно располагают ими в ассортименте. Не следует охлаждать слишком большую площадь схемы. Аэрозоли дороги, и кроме того, охлаждение большой площади не позволит локализовать неисправную деталь. Охлаждайте только отдельные "подозреваемые" компоненты или группы таких компонентов. Убедиться в неисправности можно с помощью последующего нагрева паяльником или устройством, показанным на рис. 8.4.

Если неисправность регулярно появляется и исчезает при повторении циклов нагревания и охлаждения, значит, поиск завершен. При отсутствии повторяемости тем не менее можно попытаться выявить неисправную деталь на основе анализа полученной информации.

Последний из рассматриваемых методов аналогичен полной перепайке, только в этом случае он сводится к полной замене деталей. Способ не назовешь изящным и он не позволяет в полной мере проявить техническую смекалку. В конце-концов заменить десяток деталей может каждый. Однако напомним,

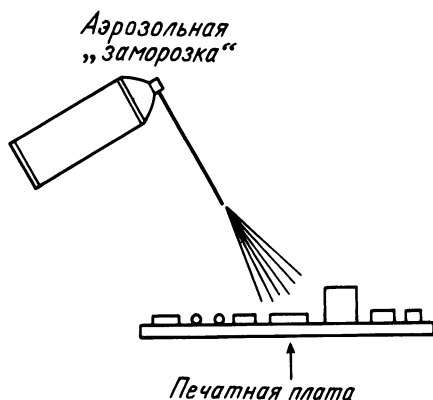


Рис. 8.5. Аэрозольная “заморозка” для выявления температурно-чувствительных дефектов.

что задача состоит не в демонстрации технических талантов, а в скорейшем возвращении радиостанции в эфир с наименьшими расходами. Следующий пример из моей практики, хотя и не связанный с радиооборудованием, проиллюстрирует эту точку зрения.

Когда-то я работал в лаборатории ремонта медицинского оборудования в госпитале. Основными требованиями были дешевизна и быстрота ремонта. В контрольном приборе одной из известных марок использовались последние достижения полупроводниковой схемотехники. Предусилитель и регулятор питания постоянного тока в электрокардиографе содержали с десяток мало мощных транзисторов в пластмассовых корпусах (2N3393, 2N3906, 2N3904). Обычно эти транзисторы были соединены по шесть-восемь штук в схемы с многочисленными обратными связями и прямыми связями в сигнальном тракте. Эти транзисторы продаются в больших упаковках по цене 25 долл. за 100 штук при наивысшем коммерческом уровне качества (JANTX), использовавшемся в ремонтируемом оборудовании. Я заменил все восемь транзисторов за 15 минут (это стоило всего 2 долл.). В течение 30 минут прибор был отремонтирован. У вас ситуация сходная. Единственное различие возникает, если покупаются транзисторы меньшими партиями по более высокой цене. Тем не менее в тех случаях, когда поиск неисправностей затруднителен, метод полной замены радиодеталей вполне приемлем для техников, занимающихся ремонтом коммерческого, бытового или радиовещательного оборудования и имеющих те же проблемы, что и техник в госпитале.

БОРЬБА С ТЕЛЕВИЗИОННЫМИ И РАДИОВЕЩАТЕЛЬНЫМИ ПОМЕХАМИ

Телевизионные помехи являются проклятием для пользователей систем радиовещания и радиосвязи. Проблема телевизионных помех возникает в том случае, когда сигнал радиопередатчика мешает нормальной работе телевизионного приемника. Каждый, кто пользуется радиоаппаратурой, может столкнуться с этой проблемой, за исключением, быть может, изыскателей на северной оконечности Аляски, да миссионеров в джунглях Амазонки.

Телевизионные помехи лучше всего классифицировать в соответствии с причинами, их вызывающими. Все электронные приборы должны выполнять две функции: 1) давать отклик на определенный сигнал и 2) отсекаать посторонние сигналы.

Все бытовые приборы более или менее удовлетворяют первому условию, однако со вторым дело обстоит хуже. Часто случается, что сигнал с радиопередатчика принимается телевизионным приемником или воздействует на высокочастотную звуковоспроизводящую аппаратуру, несмотря на то что радиопередатчик полностью удовлетворяет необходимым техническим требованиям. В некоторых телевизионных приемниках мощный сигнал от соседнего радиопередатчика может перевести усилитель высокой частоты в нелинейный режим, что приводит к появлению новых гармоник. В других случаях звуковой сигнал радиопередатчика может появиться на звуковом выходе телевизионного приемника (или аудиоаппаратуры) или на экране телевизора в виде системы полос из-за паразитного приема и детектирования. Плохая экранировка может приводить к электромагнитным наводкам, которые проходят через тракты аппаратуры.

Запомните два основных правила: 1) если сигнал радиопередатчика не удовлетворяет необходимым техническим требованиям, устранение помех - ваша задача, 2) если радиопередатчик в порядке, то помехи являются следствием плохого качества бытовой аппаратуры потребителя и устранить их - его задача.

Тем не менее владелец передатчика может оказать помощь как технический эксперт.

Владельцам радиостанций и техническому персоналу следует внимательно относиться к жалобам на теле- и радиопомехи в силу нескольких соображений:

во-первых, владелец несет ответственность за соблюдение технических требований к радиопередатчику,

во-вторых, это способствует установлению добрососедских отношений,

в-третьих, оказание помощи - это всегда хорошее дело.

Никогда не ссорьтесь с соседями, не ругайтесь, не ведите себя высокомерно, подобно гению, которому нет дела до их проблем с помехами. И еще несколько добрых советов.

Первый шаг - убедитесь, что у вас все в порядке. Обычно требуется, чтобы гармоники радиопередатчика были ослаблены по отношению к несущей (дБн) на 40 - 50 дБ, конкретная цифра определяется Федеральной комиссией по связи. Хотя, для того чтобы это проверить, требуется спектроанализатор, иногда можно поступить проще. Поглощающий частотомер - хорошо известный прибор, с помощью которого можно выявить мощные гармоники. Можно также воспользоваться в качестве индикатора радиоприемником, удаленным на расстояние около 1,5 км (для очень мощных станций расстояние должно быть больше). Если на таком расстоянии слышны вторая или третья гармоники, то, естественно, они могут быть услышаны и соседями. Наконец, можно использовать измеритель коэффициента стоячей волны по напряжению (КСВН) с эквивалентом нагрузки и измерить входную мощность с фильтром нижних частот и без него. Если различие показаний приборов превышает потери в фильтре, это может свидетельствовать о наличии нежелательных гармоник.

Способы устранения нежелательных гармоник достаточно просты (рис. 9.1): низкоомное заземление на высокой частоте и фильтрация. Радиостанция, изображенная на этой схеме, содержит три частотно-селективных элемента после передатчика: фильтр нижних частот (ФНЧ), настроенную антенную цепь и резонансную антенну. Все это способствует подавлению гармоник на выходе передатчика.

Второй шаг - убедитесь в том, что это действительно радиопомеха. Проследите за изменениями при включении и выключении передатчика. Проверьте правильность настройки телевизора. На рис. 9.2 показано различие между влиянием расстройки системы строчной синхронизации (рис. 9.2а) и радиопомехи от АМ- или ОБП-передатчика (рис. 9.2б).

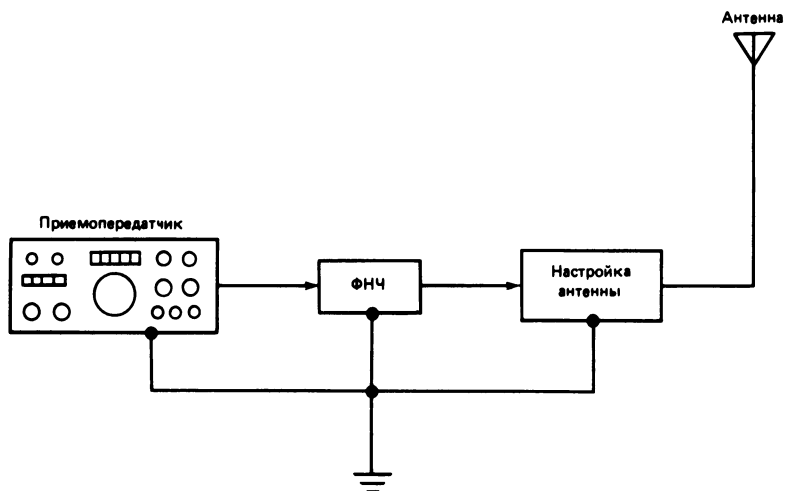


Рис. 9.1. Фильтр нижних частот и настроенная антенная цепь для снижения теле-радиопомех.

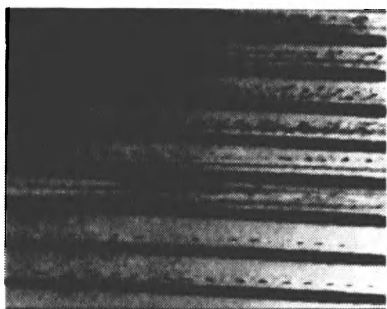


Рис. 9.2а. Срыв изображения из-за нарушения строчной синхронизации. Это не радиопомеха!



Рис. 9.2б. Телевизионная помеха от радиопередатчика.

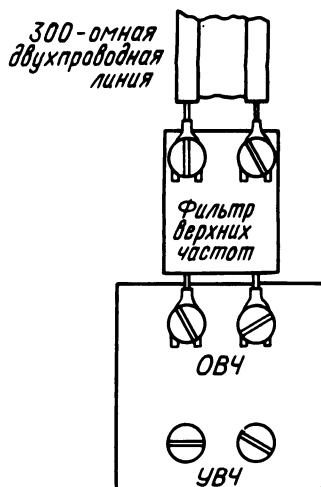


Рис. 9.3. Подключение ФВЧ к телевизионному приемнику.

Убедитесь также, что помеха не связана с другим источником. Стоит соседям увидеть антенну, как они начнут связывать все помехи с ней. Я слышал, как одна старушка убеждала техника на радиостанции, что пролетающие над ее домом самолеты не вызвали телевизионных помех, пока рядом не построили 26-метровую антенну УКВ-связи. Несмотря на всю свою доброту, старушка была твердо убеждена, что радиостанция ответственна за телевизионные помехи от пролетающих мимо самолетов.

Реальные помехи вносятся менее экзотическими источниками. Местные вещательные радиостанции, передвижные радиостанции и другие электронные системы могут вызывать телевизионные помехи - это отнюдь не любительская проблема. Бытовые и промышленные переключатели освещения могут создавать существенные помехи в СВЧ, ВЧ и нижней части ОВЧ-диапазона, включая телевизионный диапазон. Кассетные видеомagnetофоны также относятся к числу главных источников помех. В них имеется относительно мощный внутренний генератор с частотой 3,58 МГц (цветовая поднесущая). Это может вызывать помехи для теле-радиоаппаратуры по крайней мере в "нижнем" ОВЧ-диапазоне. Лично я наблюдал такие помехи на частоте 54 МГц.

Третий шаг. Попробуйте подключить к телевизионному приемнику ФНЧ или ФВЧ в зависимости от соотношения частот передатчика и телевизионного канала. Эти фильтры пропускают

только те сигналы, которые лежат в полосе пропускания, и отсекают остальные. Как показано на рис. 9.3, фильтр должен быть установлен как можно ближе к антенному входу телевизора. Соединительные провода следует сделать как можно короче, чтобы они не создавали наводки.

Можете также посоветовать соседу использовать коаксиальный кабель вместо 300-омных двухпроводных линий. Хотя теория и утверждает, что различия быть не должно, опыт говорит, что 75-омные коаксиальные кабели менее восприимчивы к любым помехам, включая телевизионные. Подключите фильтр и телевизионный согласующий трансформатор 75 - 300 Ом к антенному входу. Частотная характеристика фильтра определяется соотношением частот передатчика и телевизионного приемника.

Большинство, если не все телевизоры, имеют слабую экранировку, что позволяет посторонним сигналам миновать фильтр и создавать электромагнитные наводки на проводах между внутренней частью приемника и антенным входом. Фильтр здесь бесполезен. Решение проблемы - в установке фильтра в корпусе приемника, что сокращает длину промежуточных проводов почти до нуля.

Одно предостережение! Ни при каких обстоятельствах не устанавливайте фильтр в телевизоре соседа сами. Иначе владелец телевизора будет считать, что вы должны отвечать за все последующие неполадки. Однажды "общественник" из местного комитета по телевизионным помехам, организованного с разрешения Федеральной комиссии по связи, исследовал помехи от частной радиостанции (кстати, ее владелец имел необходимое разрешение). Владелец радиостанции собственноручно установил ФВЧ на внешнем антенном входе телевизора (он даже не открывал заднюю панель). К сожалению, через несколько дней вышел из строя блок строчной и полевой синхронизации. Расстроенная соседка после этого жаловалась каждому встречному, что этот "радиохулиган" (она не знала, что это означает) сломал ее телевизор. Хочется также предупредить, что если вы работаете на общественных началах в комитете по телевизионным помехам, то будьте готовы ко всяким неожиданностям. Ваши дипломатические способности получат хорошую проверку!

Автору известно одно место, где между двумя жилыми массивами расположены две мощные ЧМ-радиовещательные станции (89,1 и 105,1 МГц), АМ-радиовещательная станция (5000 Вт, 780 кГц), радиорелейная микроволновая станция, принадлежащая Отделению дальней связи компании АТТ, и несметное количество передвижных ОВЧ/УВЧ-радиостанций, арендующих башни радиовещательных станций. Основной проблемой для телезрителей этого района являются ЧМ-помехи. Помехи этого типа проявляются в виде "елочки" (т. е. отличаются от изо-

браженных на рис. 9.26), что характерно для ЧМ-помех в отличие от АМ/ОБП-помех. Они могут быть устранены с помощью режекторного фильтра или закороченного полуволнового шлейфа (рис. 9.4). Режекторные фильтры для вещательных ЧМ-сигналов или узкополосные режекторные фильтры могут быть поставлены большинством фирм-поставщиков электронных товаров, а также другими фирмами, торгующими видео- и телеаппаратурой. Имеются как 75-омные, так и 300-омные фильтры (выбирайте необходимые вам). Закороченный шлейф (рис. 9.4) может быть изготовлен как на основе двухпроводного, так и коаксиального кабеля в зависимости от типа подводящего кабеля. Он подсоединяется непосредственно к антенному входу и должен иметь длину, определяемую формулой

$$L = 7498 \, V / F \, (\text{МГц}),$$

где L - длина в сантиметрах, F (МГц) - частота передатчика, создающего помеху, в мегагерцах, V - параметр скорости для кабеля (0,82 для коаксиального телевизионного кабеля).

Пример 9.1. Определите длину закороченного шлейфа для

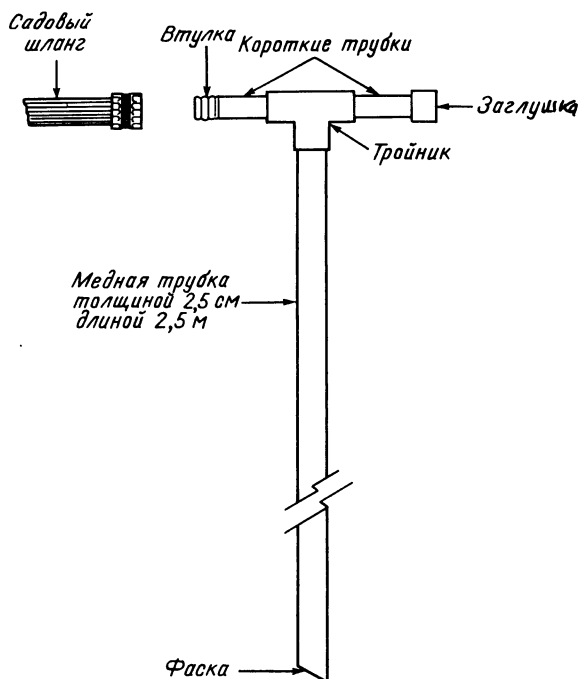


Рис. 9.4. Закороченный шлейф для подавления помехи на заданных частотах.

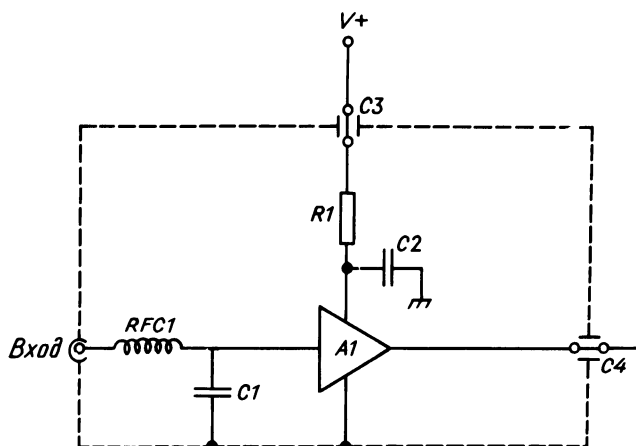


Рис. 9.5. Типичная схема защиты от электромагнитных помех.

подавления ЧМ-помехи на частоте 101,1 МГц. Сопротивление подводящего кабеля 75 Ом.

$$L = 7498 \text{ В/Ф (МГц)} = 7498 \times 0,82/101,1 = \\ = 6148/101,1 = 60,8 \text{ см.}$$

ЗВУКОВОЕ ДЕТЕКТИРОВАНИЕ

Звуковое детектирование представляет собой процесс, посредством которого ВЧ-радиосигнал проникает в звуковоспроизводящую или другую аппаратуру, детектируется полупроводниковыми элементами усилителя и появляется на выходе как полезный сигнал. Для радиовещательных станций это особенно важная проблема. На рис. 9.5 показан гипотетический усилитель звуковой частоты с некоторыми защитными элементами. Во-первых, это RC-, LC-, RLC-фильтры нижних частот, установленные на сигнальном входе и на входе питания (RF C1/C1 и R1/C2). Поставьте фильтрующие конденсаторы на шине питания, на выходных и управляющих шинах (C3/C4), там, где они входят или выходят из корпуса, хорошо заземлите корпус. В аппаратуре звукозаписи старайтесь использовать микрофоны с короткими заземленными проводами, чтобы избежать наводок от ВЧ-радиосигналов. Возможно также применение в качестве дросселей переходных ферритовых элементов в цепи микрофона.

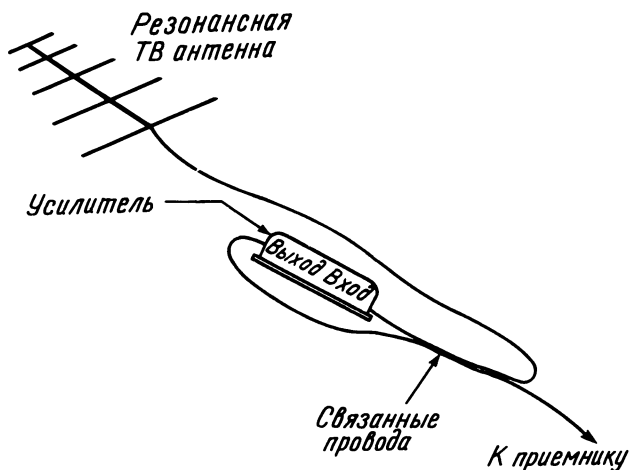


Рис. 9.6. Неправильная установка кабеля, приводящая к телевизионным помехам.

ДРУГИЕ ИСТОЧНИКИ ТЕЛЕВИЗИОННЫХ ПОМЕХ

К сожалению, лица, имеющие дело с радиопередающими системами, часто вынуждены нести ответственность за действия других лиц, оборудование которых не должно создавать радиопомех, но при определенных условиях их производит. Классический пример здесь - усилитель кабельного телевидения с коллективным приемом. Такие усилители используются для усиления сигнала, принятого антенной (рис. 9.6), чтобы затем его можно было передать по кабелю на приемники внутри здания. В некоторых случаях это необходимо из-за слабости телевизионного сигнала вдали от телестанции. В других случаях увеличение мощности сигнала с помощью усилителя необходимо для компенсации потерь, присущих некоторым телевизионным антенным системам (в особенности системам коллективного пользования). Тем не менее вне зависимости от причин, заставляющих применять эти усилители, следует опасаться ряда возможных проблем.

Основная причина неприятностей здесь общая - система коллективного телевизионного приема может генерировать сигнал, который через связующий кабель попадает на антенну и достаточно эффективно излучается. Проблема усугубляется тем, что паразитный сигнал всегда лежит в полосе частот телевизионного канала и поэтому принимается соседними телевизионными приемниками как полезный. Существует по крайней мере три механизма такой ситуации.

Первый, приведенный на рис. 9.6, является следствием неправильной установки предусилителя. Система коллективного телевизионного приема обычно имеет широкую частотную полосу и высокий коэффициент усиления. Если на какой-либо частоте возникает согласованная по фазе обратная связь с усилением, равным или превышающим единичное, это приводит к возбуждению колебаний на данной частоте. В случае, показанном на рис. 9.6, техник хотел сделать все аккуратно и поэтому связал между собой входной и выходной кабели, в результате возникла емкостная обратная связь. Телевизионная антенна играет здесь роль резонансного контура, обеспечивая необходимые резонансные условия для “задающего генератора”. Таким образом, возникает излучение с достаточно высокой интенсивностью, ответственность за которое пытаются свалить на владельцев радиопередающей аппаратуры.

Второй механизм - внутреннее возбуждение. Если какие-то каскады усилителя склонны к возбуждению, а обратная связь не подавлена, то может возникнуть паразитный сигнал. Это может проявиться не сразу, а в результате выхода из строя отдельных деталей (или, как это ни странно, в результате загрязнения шасси, что создает цепи обратной связи, ранее не существовавшие). Или же может иметь место с самого начала вследствие небрежности разработчика (или в результате экономии производителя, который удешевил конструкцию, что ухудшило стабильность).

Третий механизм - недостаточный динамический диапазон и слабое подавление посторонних сигналов. Некоторые из этих усилителей имеют плохие фильтры верхних частот на входе, что делает их уязвимыми для внешних помех. В присутствии постороннего мощного сигнала, например от передатчика, усилитель может перейти в нелинейный режим. Нелинейность приводит к двум неприятным последствиям. Во-первых, это интермодуляция, т. е. гетеродинирование двух и более сигналов (или их гармоник) с образованием дополнительных сигналов на суммарных и разностных частотах. Интермодуляционные частоты даются соотношением

$$F = (\pm M)F_1 + (\pm N)F_2,$$

где F_1 и F_2 - основные частоты, M и N - целые числа. Таким образом, результирующая гетеродинная частота, попавшая в полосу частот телевизионного канала, может возникнуть как комбинация двух или более частот, лежащих вне этой полосы. Это пример возникновения помех от сигналов, которые с точки зрения технических требований являются чистыми.

Во-вторых, могут появиться гармоники, отсутствующие на выходе передатчика. В любом случае на входе телевизионного приемника образуется нежелательный сигнал, т. е. помеха.

В обоих случаях помехи создаются в телевизионных приемниках, подключенных к системе коллективного телевизионного приема. Однако если в цепи существуют обратные связи и вход усилителя соединен с резонансной антенной, то паразитный сигнал может достаточно эффективно излучаться в окружающее пространство.

И наконец, существует также проблема, связанная с размещением на телевизионной башне преобразователя для понижения частоты. Понижающий преобразователь гетеродинирует радиочастотный сигнал с сигналом гетеродина, что приводит к образованию сигнала на более низкой частоте. Обычным примером такого рода является УВЧ-преобразователь, понижающий частоту УВЧ-сигнала до частоты ОВЧ-диапазона. Затем сигнал ретранслируется на отдельные районы и здания. Если в усилителе высокой частоты не подавлены обратные связи или если аппаратура не обладает достаточной частотной избирательностью на входе, то сигнал гетеродина может излучаться антенной.

Проблема “излучающего гетеродина” возникла еще в 30-х годах. Это привело к широкому использованию в военных радиоприемниках схемы с двумя хорошо экранированными усилителями высокой частоты. Такая схема устраняет излучение гетеродина и предохраняет от обнаружения пеленгаторами противника. Во время второй мировой войны немецкие подводные лодки, заходившие из Бискайского залива в Атлантику “на охоту”, были оснащены радиоприемниками типа МЕТОХ, настроенными на частоту радиолокаторов Британских ВВС (британские самолеты, оснащенные радиолокаторами и прожекторами, почти закрыли Атлантику для немецких подводных лодок вплоть до создания радиоприемников МЕТОХ). Но англичане обнаружили, что через резонансную антенну приемника идет излучение гетеродина. Они знали рабочую частоту своих радиолокаторов и промежуточную частоту немецких приемников (из прошлого опыта), а значит, представляли, в какой части спектра надо искать сигнал. В итоге они могли использовать сигнал гетеродина приемника МЕТОХ для обнаружения оснащенных им подводных лодок. Адмирал Карл Дениц и Адольф Гитлер были в ярости, узнав об этом, что, вероятно, повлияло на карьеру инженера, создавшего МЕТОХ (или даже на его жизнь).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Теле- и радиопомехи - одна из основных проблем при эксплуатации радиопередающих систем. Однако технический анализ и здравый смысл помогут снизить их, а то и полностью устранить.

ГЛАВА 10

ЗАЗЕМЛЕНИЕ

Большинство пользователей электронного оборудования рано или поздно сталкиваются с проблемами заземления, экранировки и развязки от электромагнитных помех. Особенно трудно приходится специалистам по радиоаппаратуре, так как их оборудование зачастую размещено в непосредственной близости от мощных радиопередатчиков. Кроме мощных радиопередатчиков, источниками электромагнитных помех могут быть также аппараты электродуговой сварки, атмосферные электрические разряды, электромоторы и т. д.

Проблема электромагнитных помех имеет и “обратную сторону” - предотвращение возникновения помех в соседнем оборудовании - радио- и телевизионных приемниках или звуковоспроизводящей аппаратуре. Радиостанции должны работать, не создавая помех в исправной правильно сконструированной и правильно эксплуатируемой аппаратуре. Электронное оборудование в целом должно выполнять две функции“ давать отклик на определенный сигнал и отсекал посторонние сигналы. Специалисту трудно разобраться в ситуации с помехами, если оборудование не удовлетворяет этим требованиям. При выполнении обоих требований специальные технические методы могут дать значительный эффект.

В этой главе мы рассмотрим методы решения двух проблем: как избежать влияния внешних помех и как предотвратить перекрестные помехи между приборами или цепями внутри станции. Вторая задача особенно актуальна для радиовещательных станций, где радиопередатчики находятся в непосредственной близости от студийной аппаратуры и (в век всеобщей компьютеризации) оргтехники.

ЗАЩИТА СОБСТВЕННОГО ОБОРУДОВАНИЯ ОТ ПОМЕХ

Экранировка сигнальных шин и установка фильтров дают ключ к решению проблемы. На рис. 10.1 приведена электронная схема, иллюстрирующая некоторые методы борьбы с помехами.

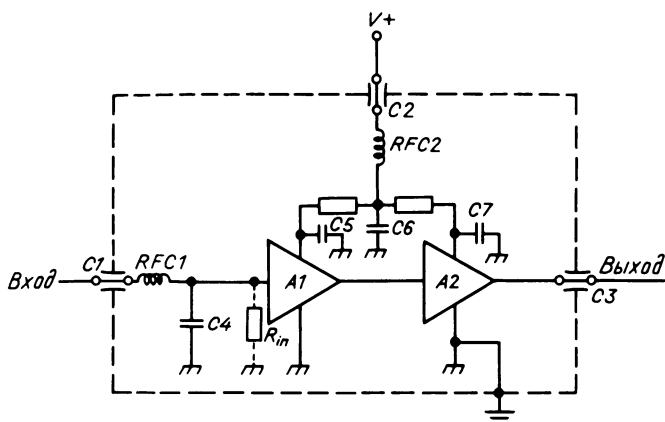


Рис. 10.1. Электронная схема с экранировкой и фильтрацией помех.

Такая схема может использоваться как микрофонный предусилитель, вспомогательный усилитель в радиоприемнике или каком-либо другом приборе. Прежде всего обратите внимание, что все устройство размещено в заземленном, экранированном металлическом корпусе. На входе и выходе расположены проходные конденсаторы C1 - C3 емкостью от 500 пФ до 0,002 мкФ, фильтрующие помехи. Каждый каскад отделен от другого сопротивлением и снабжен развязывающим конденсатором (C5 и C7). Развязка основной питающей шины осуществляется конденсатором C6 и подключенным последовательно высокочастотным дросселем RFC2. Дроссель отсекает ВЧ сигналы, проходящие через конденсатор C2, и предотвращает их влияние на работу схемы. Аналогично осуществляется фильтрация на входе (RFC1 и C4). Входное сопротивление R_{in} и конденсатор C4 образуют фильтр нижних частот со спадом -3 дБ, которому соответствует частота

$$F = 1\,000\,000 / 6,28\, C4\, R_{in},$$

где F - частота в герцах, C4 - емкость в микрофарадах, R_{in} - сопротивление в омах.

Потенциальным источником помех являются шины питания. Там, где устанавливается чувствительное электронное оборудование, следует либо изолировать всю электрическую систему от электрической сети здания, либо разнести нейтральную и заземляющую шины на всем пути, вплоть до входа заземления в здание.

На рис. 10.2 и 10.3 показаны методы борьбы с сетевыми помехами. На рис. 10.2 мы видим сетевой LC-фильтр. Хотя

представленный LC-фильтр имеет только одно LC-звено, существуют и другие (более дорогие) конструкции с двумя или тремя звеньями. Такое устройство, представляющее собой экранированный фильтр нижних частот, размещается внутри оборудования, как можно ближе ко входу шины питания. Иногда такие фильтры вмонтированы в корпусной разъем питания.

В схеме на рис. 10.2 используется также металлоксидный варистор для подавления переходных процессов с пиковой амплитудой выше 155 В (иногда она может достигать 2000 В в течение 30 мкс). Переходные процессы в шине питания могут иметь очень малые времена нарастания и вызывать электромагнитные помехи с очень широким спектром. Поэтому некоторые специалисты предпочитают размещать металлоксидные варисторы на входе фильтра, чтобы уменьшить интенсивность пиковых выбросов напряжения, содержащих высокочастотные компоненты.

Существует и другая проблема, связанная с электромагнитными помехами, которую иногда не замечают. Ее источником являются плавкие предохранители. В идеале предохранитель должен быть расположен как можно ближе к месту входа в корпус прибора шины переменного питания. Если он расположен за фильтром, то прибор не гарантирован от повреждения в случае замыкания элементов фильтра на землю. Если же предохранитель расположен перед фильтром, то это приводит к появлению дополнительных проводов перед фильтром, которые могут генерировать (как антенны) сетевые электромагнитные помехи. В результате некоторые разработчики предпочитают встраивать предохранитель в фильтр электромагнитных помех (или в хорошо экранированный отдельный блок, в котором размещен фильтр) либо размещать фильтр в штепсельной розетке на стене.

Специальный развязывающий трансформатор, показанный на рис. 10.3, выполняет три основные функции. Во-первых, он

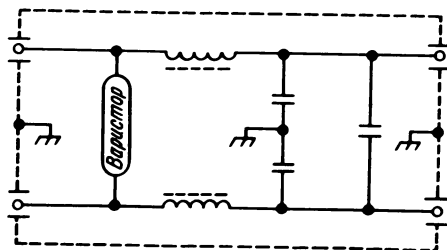


Рис. 10.2. LC-фильтр электромагнитных помех на шине питания.

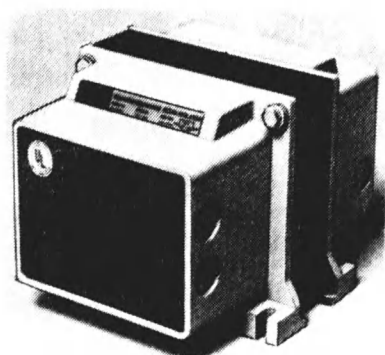


Рис. 10.3. Развязывающий /согласующий трансформатор. (С любезного разрешения фирмы Toraz.)

изолирует электросистему оборудования от системы переменного электропитания. Во-вторых, он служит фильтром нижних частот и защищает оборудование от воздействия высокочастотных переходных процессов. В-третьих, он создает локально-изолированную систему переменного электропитания, не связанную с землей. Это снижает вероятность серьезного повреждения при случайном контакте с шинами переменного тока 110 или 220 В. Все рабочие стенды следует оборудовать изолированным питанием.

Автор твердо убежден, и это мнение разделяется многими специалистами, что компьютеризованное и другое цифровое оборудование, а также многие типы радио- и аналогового оборудования не следует эксплуатировать без таких трансформаторов. Это особенно важно для прецизионного оборудования. Хотя большая часть этого оборудования не попадает в эту категорию, иногда это важно и здесь. Представьте, что вы работаете на ретрансляторе с компьютерным управлением. Сетевая помеха может нарушить программу компьютера при включенном передатчике, а оператор не сможет его выключить дистанционно. Эта проблема легко устраняется при хорошей конструкции станции, тем не менее я слышал о подобном случае на Среднем западе. Так что это может случиться несмотря на то, что коммерческое радиооборудование конструируется более или менее нормально.

ДРУГИЕ ПРОБЛЕМЫ

Другие приборы, расположенные поблизости, а также вездесущие поля частотой 60 Гц могут вызывать помехи на входах звуковых и низкочастотных усилителей. В этих случаях полезно

использовать по возможности дифференциальные усилители благодаря присущему им высокому коэффициенту ослабления синфазного сигнала (КОСС). Полезные сигналы являются дифференциальными (V_1 и V_2 на рис. 10.4) относительно двух входов, а сетевые помехи на частоте 60 Гц дают синфазные сигналы, так как воздействуют на оба входа одинаково.

Иногда возможно возникновение дифференциального сигнала из синфазного. Это может быть обусловлено двумя причинами, причем, обе связаны с неправильной экранировкой. Одна из них сводится к образованию паразитного контура с замыканием через землю (рис. 10.4) вследствие очень большого числа точек заземления (A, B, C, D, E, F). Здесь источник сигнала, входные провода, усилитель и источник питания заземлены в разных точках. Постоянный ток от источника питания течет от точки D к общей шине питания усилителя в точку F и вызывает по пути падение напряжения. Точно так же и другие источники вызывают падение напряжения на шине заземления. Эти напряжения создают паразитный контур с замыканием через землю и приводят к образованию дифференциального сигнала на выходе усилителя.

Метод устранения этого явления показан на рис. 10.5. Здесь все заземляющие провода внутри прибора подсоединены к одной общей точке заземления. Это эффективно устраняет паразитные падения напряжений. Также заметим, что используется один общий экран вокруг обеих линий вместо двух отдельных. Ниже мы рассмотрим еще одну схему заземления. Ниже мы рассмотрим еще одну схему заземления.

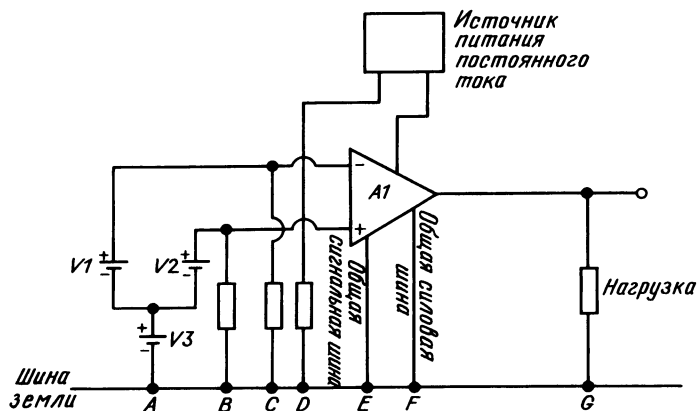


Рис. 10.4. Образование паразитного контура с замыканием через землю. V_1 - V_3 - сигнальные потенциалы.

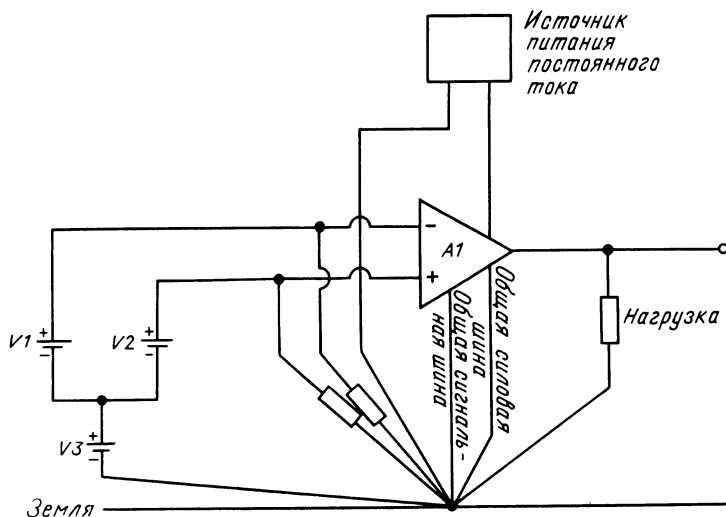


Рис. 10.5. Заземление в одной общей точке устраняет проблему образования паразитного контура с замыканием через землю.

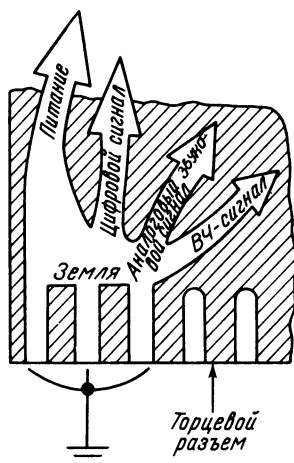


Рис. 10.6. Использование отдельных заземлений для каждого вида сигнала, соединенных в общей точке.

При конструировании нового устройства, если используются печатные платы, обязательно применяйте только одну точку заземления. На рис. 10.6 показан метод минимизации помех. Обратите внимание, что имеется четыре провода заземления: для источника питания, цифрового сигнала, аналогового сигнала и

радиочастотного сигнала. Все четыре провода соединены в одной точке торцевого разъема и далее идут к соответствующим участкам схемы.

На рис.10.7 приведен другой случай возникновения паразитного дифференциального сигнала из синфазных, а также метод его устранения. В схеме на рис. 10.7а используется стандартная общая экранировка двух проводов, но эквивалентная схема (рис. 10.7б) позволяет выявить проблему. Экранировка создает паразитные емкости между входными проводами и землей (C_1 и C_2). Кроме того, кабель и источники имеют сопротивления, обозначенные на схеме R_1 и R_2 . Схема нормально функционирует, если $R_1/X_{C_1} = R_2/X_{C_2}$, но малейшая разбалансировка RC-цепи приводит к образованию дифференциальных сигналов из синфазных. В этом случае V_{C_1} не равно V_{C_2} , что означает появление дифференциального сигнала на входе усилителя.

В этом случае может помочь "охранная экранировка" (рис. 10.7в). Охранный экран соединен с двумя входными проводами, сигналы которых суммируются через высокоомные сопротивления R_A и R_B . Это во многих случаях дает решение проблемы. Действие схемы приводит к уравниванию потенциалов обеих сторон паразитных конденсаторов, так что $V_{C_1} = V_{C_2} = 0$. Внешний экран не обязателен, однако настоятельно рекомендуется при сильных окружающих радиопомехах.

Следующая схема экранировки, применяемая в случае коммутации однотипных блоков оборудования, показана на рис. 10.8. В этом случае имеется два блока (А и В), соединенных множеством сигнальных и силовых двухсторонних связей.

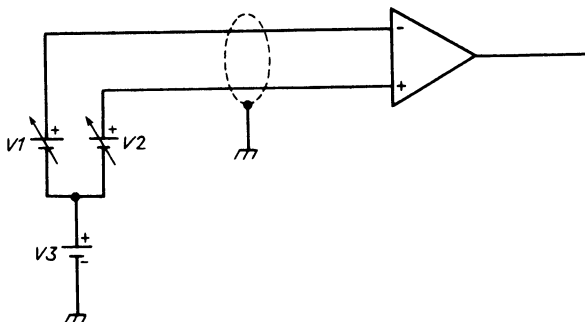


Рис. 10.7а. Случай синфазного сигнала.

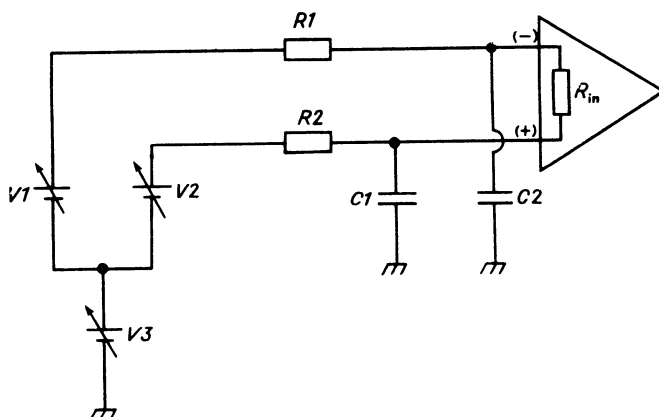


Рис. 10.7б. Образование дифференциального сигнала из синфазного.

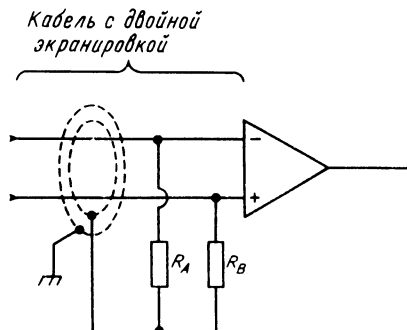


Рис. 10.7в. Охранная экранировка.

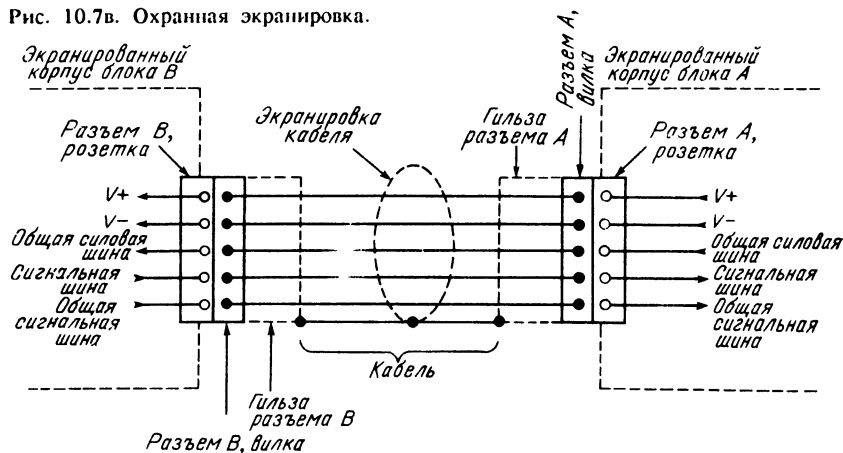


Рис. 10.8. Кабельное соединение блоков.

Такие соединения нетрадиционны для радиооборудования, но все больше распространяются в связи с применением линий связи, связывающих компьютеры с радиооборудованием. Очень распространенная ошибка заключается в использовании экранировки в качестве сигнальной или силовой общей шины. Для каждой общей шины должен быть выделен отдельный провод в кабеле. Некоторые внутренние провода должны быть отдельно экранированы. Экран подсоединяется к экранированной гильзе каждого разъема. На нем не должно быть сигнального потенциала. Инженерная практика рекомендует заземлять экран и гильзу разъема, соединяя их с шасси прибора через штырек каждого разъема (при условии, что этот штырек не является сигнальным или силовым). Это делается независимо от того, что гильза разъема сама обеспечивает заземление.

МЕТОДЫ ЗАЗЕМЛЕНИЯ

Выше мы обсудили проблемы заземления и экранировки радиооборудования. Основная задача состояла в том, чтобы а) предотвратить вредное влияние помех на оборудование, б) предотвратить внутренние перекрестные помехи.

Проблемы, связанные с заземлением, возникают как для отдельных приборов, так и для совокупностей приборов. На рис. 10.9а представлен способ, ведущий к неприятностям. Заземляющие провода связаны цепочкой и соединены с землей в точке, близкой только к одному из приборов. Это является разновидностью более высокого уровня все той же проблемы образования паразитного контура с замыканием через землю. К тому же заземляющие шины обычно являются отрезками провода малого диаметра и не подходят для этих целей. На рис. 10.9б представлена более совершенная схема заземления - "одноточечная". Провода заземления от каждого блока соединены в одной общей точке.

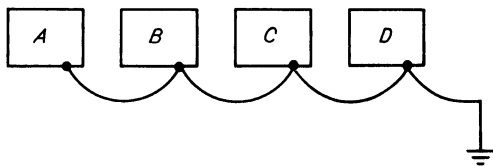


Рис. 10.9а. Заземление цепочкой.

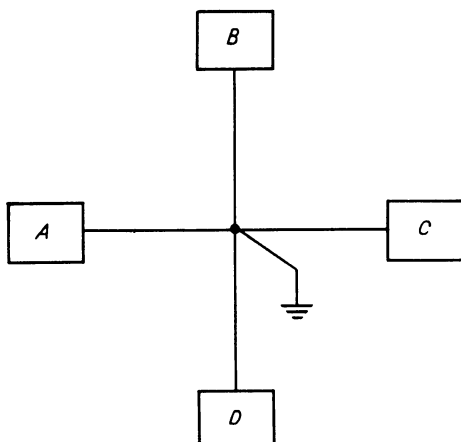


Рис. 10.9б. Одноточечное заземление.

Создать конфигурацию, в точности совпадающую с представленной на рис. 10.9б, на практике довольно трудно, но к ней можно приблизиться с помощью схемы, приведенной на рис. 10.10. Следует помнить, что наша цель - передать в эфир как можно больше полезной мощности и "оставить" все ненужные сигналы (в основном гармоники) "дома". Исходя из большинства ситуаций, возникающих в радиопередающих системах, можно сказать следующее. Если пожертвовать небольшой мощностью на основной рабочей частоте для подавления уровня гармоник, то это стоит того.

Процесс передачи сигнала радиостанцией небольшой мощности можно проследить по схеме на рис. 10.10. Выходная часть схемы, вероятно, удивит некоторых специалистов из-за наличия

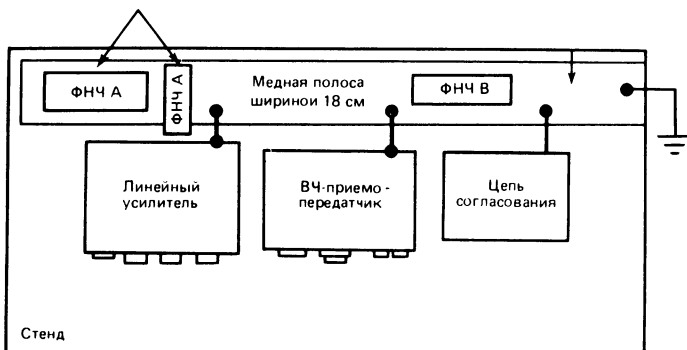


Рис. 10.10. Хорошо заземленное рабочее место.

фильтра нижних частот (ФНЧ) и согласующего антенного каскада. Частота среза фильтра нижних частот обычно лежит выше рабочей частоты, но ниже ее второй гармоники. Выше этой частоты происходит сильное ослабление сигнала.

Согласующий антенный каскад в настоящее время можно встретить во многих ВЧ-приемопередатчиках и морских ОБП-радиостанциях, так как высокий коэффициент стоячей волны по напряжению (КСВН) отрицательно сказывается на работе полупроводниковых усилителей. В таких передатчиках имеется защитная схема, которая резко уменьшает выходную мощность при высоком КСВН. В прежние времена конструкторы приемопередатчиков обходились без согласующих каскадов, так как применение ламповых оконечных усилителей с П-образной схемой позволяет осуществлять согласование в широком диапазоне антенных импедансов.

Логично читателей может удивить ФНЧ на входе линейного усилителя. Однако следует помнить, что в сигнале на выходе задающего генератора присутствует также заметная доля энергии побочных гармоник, которые следует ослабить перед подачей сигнала на вход мощного усилителя.

Существует одна проблема, связанная с применением ФНЧ в некоторых полупроводниковых приборах. Многие линейные усилители, прежде всего с заземленной сеткой, имеют входной импеданс либо отличный от 50 Ом, либо изменяющийся в широком диапазоне в зависимости от частоты. Характеристики LC-фильтров нижних частот гарантированы только при определенных значениях нагрузочных импедансов. Изменение входного импеданса усилителя отрицательно сказывается на работе ФНЧ. Все это отрицательно влияет и на выходной импеданс каскада, предшествующего ФНЧ. В результате происходит повышение КСВН на выходе передатчика и резкое уменьшение выходной мощности.

Обратите внимание на конструкцию рабочего места для ВЧ-базовой станции (рис. 10.10). Оборудование смонтировано на двери, превращенной в стол. Для заземления использована медная полоса шириной около 18 см, прикрепленная к нижней стороне стола. Скорее всего такую медную заготовку можно найти не в ближайшем магазине скобяных изделий "Сделай сам", а в крупных магазинах, торгующих металлом и кровельными материалами. Хотя стоимость меди в пересчете на 1 фут (около 30 см) или 1 фунт (около 450 г) невысока, поставщик может запросить за все от 50 до 100 долл. как минимум.

Медная полоса, прикрепленная к столу, заземлена с одного конца с помощью стержня. Станция, где была осуществлена эта конструкция, размещалась в хорошем здании с подогреваемым

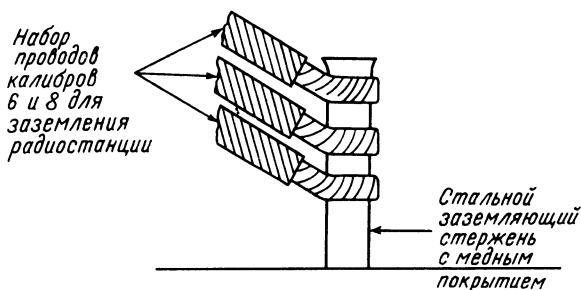


Рис. 10.11. Заземление с помощью проводов разного диаметра.

и кондиционируемым воздухом. Медная полоса была пропущена через щель между полом и стеной и припаяна прямо к заземляющему стержню, вбитому в землю. В других случаях для соединения стола с заземляющим стержнем следует использовать массивный провод.

Заземляющие провода

Заземляющий провод должен быть коротким, нерезонансным и иметь низкую индуктивность. Поэтому обычно лучше использовать массивную плоскую металлическую оплетку или медную полосу, чем провод с круглым сечением. Оплетка продается в некоторых магазинах, но часто она очень дорога. Некоторые техники предпочитают более дешевый вариант — аккуратно снять оплетку с коаксиального кабеля типа RG-8 или RG-11.

Низкая индуктивность достигается применением широкого короткого проводника. Упомянутая выше оплетка удовлетворяет этим требованиям. Можно разрезать широкую медную полосу на полосы шириной менее 18 см и использовать их для заземления. В других случаях можно достичь хороших результатов с помощью обычных проводов разной ширины, соединенных параллельно (рис. 10.11). Приобрести такие провода проще всего в магазине автомобильных запчастей. Используйте основной или медный провод от аккумуляторного кабеля (номер 6 или 8).

Провода могут быть присоединены к заземляющей трубе (стержню) с помощью зажима или припаяны. Вследствие хороших теплопроводящих свойств заземляющего стержня при пайке обычно необходимо использовать паяльную лампу. При этом подходят как пропановая горелка (одна из бытовых паяльных ламп, продающихся в магазинах скобяных изделий), так и паяльные лампы, применяемые в ювелирных работах. Будьте внимательны при выборе припоя. Некоторые припои, используемые в этих целях и продаваемые в магазинах скобяных изделий, имеют кислотную основу. Другие имеют неподходящий

сплав металлов. Необходим трубчатый припой на основе канифоли, или канифольный флюс, и свинцово-оловянный припой, приготовленный в пропорции 50/50 или 60/40.

Наконец, необходимо убедиться, что заземляющий провод не обладает резонансными свойствами как на основной частоте, так и на частотах низких гармоник (второй, третьей). Старайтесь избегать длин, кратных $1/8$ или $1/4$ длины волны, хотя это требование трудно выполнить на низких частотах в диапазонах работы вещательных АМ-радиостанций или морских ВЧ-радиотелефонных систем связи.

Заземляющие стержни

Система заземления радиостанции должна обеспечивать как можно меньшее сопротивление между станцией и землей. В большинстве случаев это зависит от площади контакта с землей и радионинженеры и техники должны сделать эту площадь как можно большей. Для этого существует ряд способов с применением заземляющих стержней.

Прежде всего можно создать заземляющую матричную сетку на территории станции. Рассмотрим конкретную систему заземления для береговой радиостанции, работающей на частотах от 2 до 3 МГц и расположенной на глинисто-песчаной почве (такая почва имеет относительно высокое сопротивление). Сначала было построено основание для 30-метровой башни. Вокруг основания были расположены 8 или 10 стальных заземляющих стержней длиной 2,5 м с медным покрытием. Затем по всей территории была расстелена квадратная сетка (размер ячейки 30 x 30 см), сделанная из оголенного медного провода номер 12. Общая площадь сетки 137 x 145 м. В узлах сетки провода были спаяны. Несколько дополнительных стержней были установлены в узлах по всей территории. Сетка соединялась с помощью зажимов и пайки с системой заземления башни. С системой заземления рабочего помещения станции сетка была связана с помощью массивной медной трубы диаметром 8 см, проложенной через стену здания. После монтажа вся конструкция была покрыта дерном. Такая система имеет один недостаток - она столь же дорога, сколь эффективна. В ходе создания другой конструкции, сделанной по аналогичному проекту, но с дополнительными 120 четверть-волновыми радиальными стержнями (длина волны соответствует диапазону АМ-радиовещания), владельцы станции заплатили дополнительно 10 000 долл. (1963 г.) за работы по заземлению. В противном случае сигнал распространялся бы к границе территории, что эквивалентно увеличению сопротивления заземления.

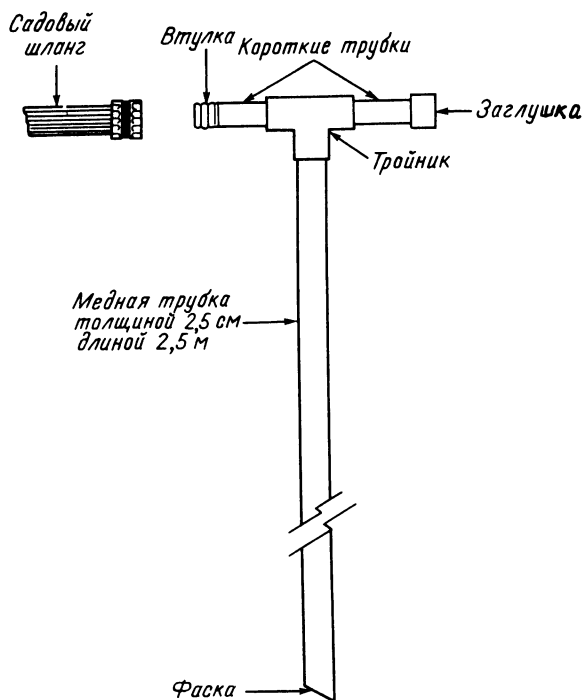


Рис. 10.12. Метод установки заземляющей трубы.

Можно также использовать стальной заземляющий стержень с медным покрытием, купленный в магазине радио- и электротоваров. Имеется два типа заземляющих стержней разной длины: один без медного покрытия, другой с медным покрытием, более подходящий для радиооборудования. Стержни обоих типов можно приобрести в магазинах электротоваров (как это ни странно, только считанные магазины, торгующие электронными компонентами, имеют заземляющие стержни требуемой для установок радиосвязи длины). Как правило, имеются стержни длиной 120, 180 и 240 см. Бывают также стержни длиной 300 см, используемые на электростанциях. Наиболее подходящими являются стержни длиной 240 и 300 см. Стержни такой длины могут оказаться единственно допустимыми и с точки зрения законодательства. Стержни длиной 120 см чаще всего используются наладчиками телевизионных антенн и их проще всего найти в магазинах. Но их не стоит использовать, так как они менее эффективны и в качестве радиозаземления и в качестве молни-

еотводов (если только не использовать несколько связанных стержней. Иногда местный инспектор по электрооборудованию может иметь собственное неспоклонное мнение по устройству заземления. Согласно многим юридическим инструкциям, для радиостанций предусмотрена минимальная длина заземляющего стержня 240 см.

Другой способ показан на рис. 10.12. Здесь используется медная водопроводная труба. Этот метод особенно полезен при тяжелых глинистых почвах, куда трудно вбить стержень. К верхнему концу трубы с помощью Т-образной муфты присоединены короткие трубки в качестве рукояток. На конце одной из рукояток установлена заглушка, а на конце другой - переходная втулка с резьбой для подсоединения шланга. Нижний конец трубы (2,5 см х 240 см) спилен наискосок. Теперь втыкайте трубу в землю и подавайте воду. Немного грязновато, но зато легко входит на нужную глубину даже в глинистую почву.

После установки трубы в грунт обнаруживается еще одно преимущество этой системы. При использовании обычного стержня заземляющий провод необходимо припаивать (что иногда трудно дается) или присоединить зажимом (который может легко потеряться). Конец же трубы можно расплющить с помощью массивных плоскогубцев, молотка и наковальни или каким-то другим способом. Затем сверлятся одно или несколько отверстий диаметром 6 мм и заземляющий провод присоединяется с помощью болта и гайки (рис. 10.13).

Для тех, кто собирается устанавливать заземление на грун-

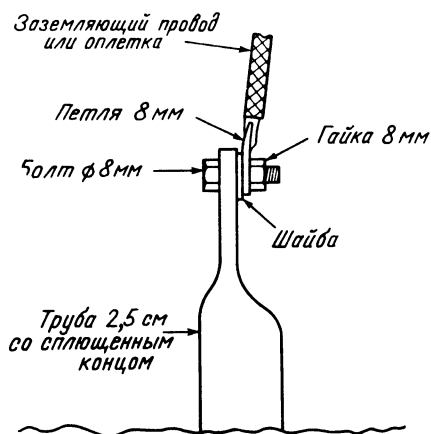


Рис. 10.13. Подсоединение провода к трубе заземления.

те, необходимо сделать одно предостережение. Проверьте, не проходят ли по вашей территории газовые, водопроводные, канализационные и электрические сети. Хотя зачастую об этом можно догадаться, иногда их трудно обнаружить. Например, газопровод может делать зигзаг от перекрывающего вентиля на улице к измерительной системе позади здания. Конечно, газовые компании стараются осуществлять прокладку магистралей кратчайшим путем, тем не менее это не всегда помогает их обнаружить. Информацию о коммунальных магистралях можно получить из геодезических справочников, от местного инспектора по коммунальному хозяйству, инженеров, обслуживающих здание, или исходя из характера коммунальных услуг. Заземляющий стержень длиной 240 см может нарушить магистрали, что всегда дорого обходится, а иногда просто опасно.

ГЛАВА 11

ОХЛАЖДЕНИЕ

ПРОБЛЕМА ПЕРЕГРЕВА ЭЛЕКТРОННОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Некоторые приборы приходится слишком часто сдавать в ремонт зачастую с одной и той же неисправностью. Кажется, что прибор буквально предрасположен к этой поломке и стал родным для мастерской. Те, кто сталкивался с такой ситуацией, знают, что весьма вероятной причиной является перегрев прибора. Хорошо известно, что тепло - один из главных врагов электронного оборудования. Инженеры, занимающиеся проблемами надежности, давно выделили тепло как основную причину выхода электронного оборудования из строя.

Многие характеристики электронных приборов выдерживаются только при определенной температуре. Один мощный низкочастотный транзистор был широко разрекламирован благодаря значительной мощности, рассеиваемой коллектором. Однако наивысшая мощность достигалась только при комнатной температуре (25 - 30°C). При температуре выше 30°C характеристики транзистора существенно снижались. Температура внутри корпуса прибора в месте локализации транзистора почти всегда превышает 30°C!

Аналогично мощные высокочастотные транзисторы в радиопередатчиках так же часто отказывают из-за перегрева, как из-за высокого КСВН, но перегрев труднее поддается выявлению. В 100-ваттном ОВЧ-усилителе, смонтированном на автомобиле, часто выходил из строя мощный ВЧ-транзистор. Техники, занимавшиеся его ремонтом, не сразу поняли, что причиной отказа является перегрев. Кузов автомобиля нагревается летом до очень высоких температур, в то время как в кабине есть кондиционер. Размещение усилителя за приборной доской решило проблему.

В качестве количественной характеристики надежности вводится "средняя наработка на отказ", обычно выражаемая в ча-

сах. Например, если эта величина составляет 1000 часов, то это означает, что для большого числа образцов в среднем за тысячу часов работы происходит одна поломка. По имеющимся данным повышение рабочей температуры на 10°C сокращает среднюю наработку на отказ почти в два раза.

Насколько важно охлаждение электронного оборудования? Рассмотрим несколько примеров. Когда-то я работал в университетском госпитале, занимаясь ремонтом контрольного оборудования. Осциллографы для контроля электрокардиограмм в центральном контрольном пункте госпиталя были подлинным кошмаром. Примерно раз в неделю около трех часов ночи меня вызывали для ремонта одного из четырех осциллографов. В то же время осциллографы, размещенные в палатах, работали надежно. А дело было в том, что осциллографы на центральном пункте перегревались, так как они были смонтированы в плохо вентилируемой стойке. Десять вентиляционных отверстий диаметром 2,5 см и пара вентиляторов - и осциллографы на центральном контрольном пункте стали столь же надежными, как осциллографы в палатах.

Каждый, кто обладает минимальным профессиональным опытом в электронике, не будет отрицать, что тепло является одним из главных врагов оборудования. Приборы, потребляющие большие токи или мощности, следует оберегать от перегрева во избежание неполадок в работе. Методы, описанные в этой главе, просты и вполне достаточны для ремонта. Хотя специалисты в области надежности или термодинамики могут быть недовольны отсутствием математических формул, эти методы эффективны на практике.

Существует одно простое правило: там, где выделяется избыточное тепло, его следует отводить. Что значит "избыточное"? Если оборудование горячее на ощупь или подвержено необъяснимым поломкам, то возможно, что оно перегревается. Инженеру потребуются спецификации для проведения вычислений, но они выходят за пределы данной книги. Эмпирические правила "пальцевой диагностики" вполне достаточны для наших целей.

Три основных метода можно использовать по отдельности или в комбинации: 1) увеличение доли излучаемого тепла, 2) улучшение естественной вентиляции, 3) дополнительная принудительная вентиляция. Водяное охлаждение вряд ли подойдет, хотя оно используется в некоторых коммерческих радиопередатчиках и промышленных электронных приборах. (На некоторых радиовещательных станциях тепло, поглощаемое системой водяного охлаждения, используется для обогрева здания.)

ЗАЩИТА ТРАНЗИСТОРОВ И ИНТЕГРАЛЬНЫХ СТАБИЛИЗАТОРОВ

В малогабаритном оборудовании использование принудительного воздушного охлаждения неприемлемо и поэтому для охлаждения полупроводниковых элементов следует использовать радиаторы. Даже в оборудовании с принудительной вентиляцией применяются металлические радиаторы для полупроводниковых элементов.

На рис. 11.1а показан металлический корпус транзистора ТО-5. Большинство транзисторов монтируются на печатных платах и являются маломощными приборами с небольшим тепловыделением. Но некоторые из них, например 2N3053, а также ряд мощных ВЧ-транзисторов на 3 и 10 Вт работают при умеренных уровнях мощности. Радиатор типа “шляпки”, показанный на рис. 11.1б, монтируется на корпусе ТО-5 для отвода тепла. Существуют также некоторые другие разновидности радиаторов этого типа (“упругий зажим”).

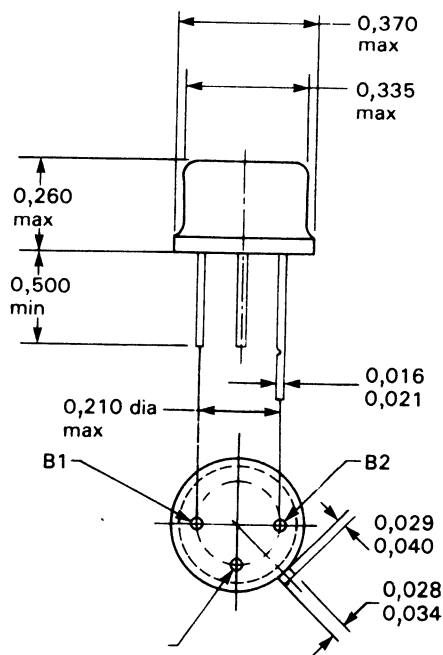


Рис. 11.1а. Корпус для транзистора типа ТО-5. (Все размеры приведены в дюймах, 1 дюйм = 25,4 мм.)

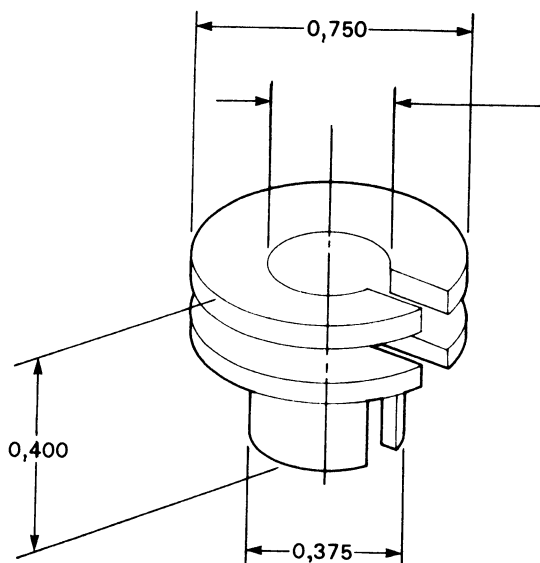


Рис. 11.16. Радиатор для корпуса типа ТО-5. (Все размеры приведены в дюймах.)

На рис. 11.2а показаны два пластмассовых корпуса для мощных транзисторов. Такие корпуса применяются для мощных НЧ-транзисторов (например, серии 2N5249), тиристоров и трехвыводных интегральных стабилизаторов напряжения. Стабилизаторы обычно работают с токами до 1000 мА при наличии радиатора и до 750 мА без него. Для отвода тепла применяются профилированные вертикальные и горизонтальные металлические радиаторы (рис. 11.2б). Не забудьте нанести силиконовую теплопроводящую смазку между корпусом транзистора (стабилизатора) и поверхностью радиатора. Следует также крепче затянуть крепежные винты для обеспечения хорошего теплового контакта.

Плоские металлические радиаторы для корпусов типа ТО-3 и трехвыводных интегральных стабилизаторов монтируются на печатных платах. Изогнутые плоские металлические радиаторы применяются при рабочих мощностях до 10 Вт или токах до 1,5 А. Для 3-, 5- и 10-амперных стабилизаторов напряжения в корпусах типа ТО-3 предпочтительнее использовать большие профилированные радиаторы.

Во многих приборах для охлаждения используется металлическое шасси. В этом случае транзисторы крепятся либо непосредственно к шасси, либо, если требуется, с изолирующей слю-

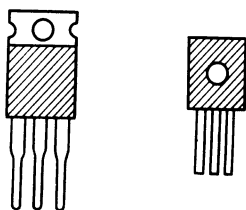


Рис. 11.2а. Корпус для транзистора типа TO-220.

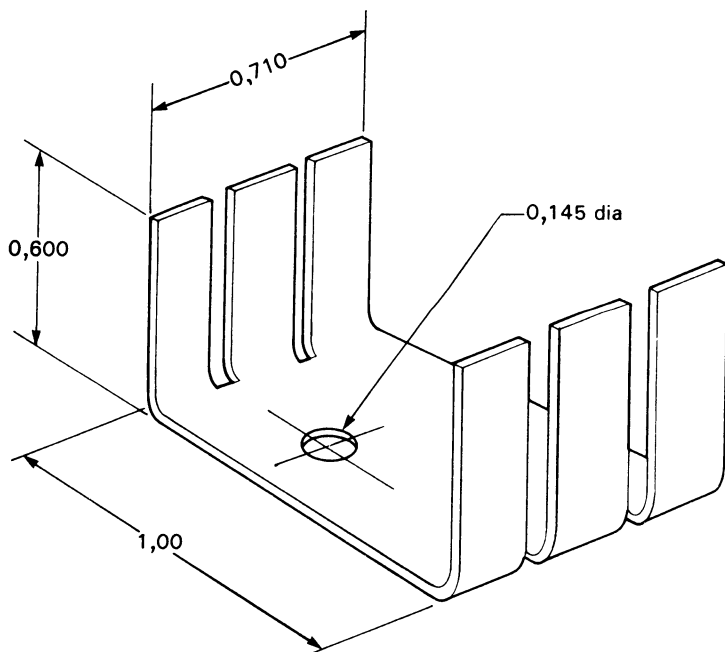


Рис. 11.2б. Радиатор для корпуса типа TO-220. (Все размеры приведены в дюймах.)

дяной прокладкой. В обоих случаях между полупроводниковым элементом и шасси наносится силиконовая теплопроводящая смазка. Такой метод особенно эффективен в случае массивных шасси (т. е. с большой теплоемкостью).

В некоторых печатных платах для теплоотвода используются большие участки нестравленной медной фольги и (или) металлические гребенки и блоки. Такой метод чаще всего применяется в тех случаях, когда требуется обеспечить охлаждение не

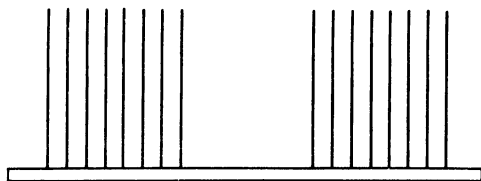


Рис. 11.3а. Профилированный радиатор для корпусов типа ТО-3 и более мощных.

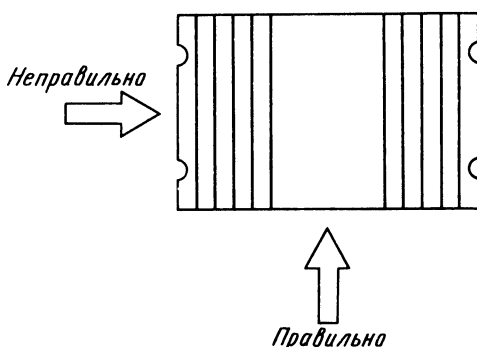


Рис. 11.3б. “Правильное” и “неправильное” направления воздушного потока относительно профилированного радиатора.

одного элемента (например, корпуса типа ТО-220), а набора тепловыделяющих элементов, например ТТЛ-микросхем.

Существует целый ряд больших профилированных радиаторов для корпусов типа ТО-3 и других, высокоточных стабилизаторов напряжения и диодов, а также однооперационных триодных тиристоров. На рис. 11.3а показан один из таких радиаторов (вид сбоку). Транзистор в корпусе типа ТО-3 или другой компонент крепятся винтами к плоской центральной части радиатора. В большинстве случаев полезно использовать теплопроводящую силиконовую смазку, нанесенную между радиатором и корпусом полупроводникового элемента. Такая смазка прежде всего необходима при использовании слюдяных изоляторов. Необходимо тщательно затянуть крепежные винты, не повредив при этом прибор. Основной характеристикой радиатора является площадь его поверхности в квадратных сантиметрах.

Когда для охлаждения радиатора используется принудительная вентиляция, что особенно желательно при высоких мощностях и (или) токах, иногда имеет значение положение радиатора относительно потока воздуха. На рис. 11.3б показаны пра-

вильная и неправильная взаимные ориентации. Однако следует помнить, что взаимная ориентация не всегда критична, например, если воздух и при неправильной ориентации потока обтекает всю поверхность. Обозначения “правильный” и “неправильный” - это просто общие рассуждения для некоторых критичных приложений.

ДРУГИЕ КОМПОНЕНТЫ

Не только мощные транзисторы выделяют тепло. Выпрямительные диоды и мощные сопротивления следует монтировать на печатных платах с зазорами 3 - 6 мм (рис. 11.4). Это предохраняет печатные платы от нагрева. Печатные платы на основе фенольных пластмасс и искусственных волокон могут быть серьезно повреждены, если мощное 10-ваттное сопротивление смонтировано вплотную к их поверхности. Некоторые выпрямительные диоды выдерживают прямой ток, соответствующий пас-

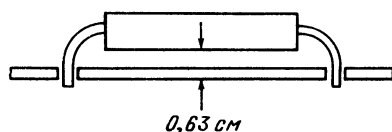


Рис. 11.4. При монтаже мощных радиодеталей всегда следует оставлять зазор между радиодеталью и печатной платой.

портному значению, только в тех случаях, если а) диод смонтирован с зазором 12 мм, б) длина контактных проводов не превышает 18 мм. Характеристики этих диодов завышены и их следует использовать при пониженных токах или вообще не использовать.

Кроме сокращения срока службы или уменьшения входной мощности аппаратуры перегрев может иметь иные вредные последствия. Некоторые схемы, например генераторы, весьма чувствительны к нагреву. Одна популярная модель дуплексной радиостанции имела сильный дрейф частоты, так как задающий генератор был расположен слишком близко к вакуумным лампам линейки усилителей высокой и промежуточной частоты. Казалось бы, что при таком явном изъяне конструкции поправить ничего нельзя. Однако некоторые специалисты существенно улучшили стабильность путем помещения термического экрана между ВЧ/ПЧ-платами и алюминиевым кожухом задающего генератора.

МНОГОПЛАТНЫЕ КОНСТРУКЦИИ

На рис. 11.5а показан типичный пример многоплатной конструкции, которую можно встретить в микроЭВМ или приемопередатчиках. Здесь печатные платы, снабженные разъемами, вставляются в соответствующие разъемы общей сборочной платы. Обычно вся конструкция размещается в закрытом корпусе для защиты от электромагнитных помех и из соображений дизайна. Если направить вентиляционный воздушный поток перпендикулярно поверхности плат, то эффективно будет охлаждаться только первая плата. На рис. 11.5б изображен вид сверху, который поможет определить правильное и неправильное направления воздушного потока. Очевидно, что воздушный поток, направленный параллельно печатным платам, более эффективен.

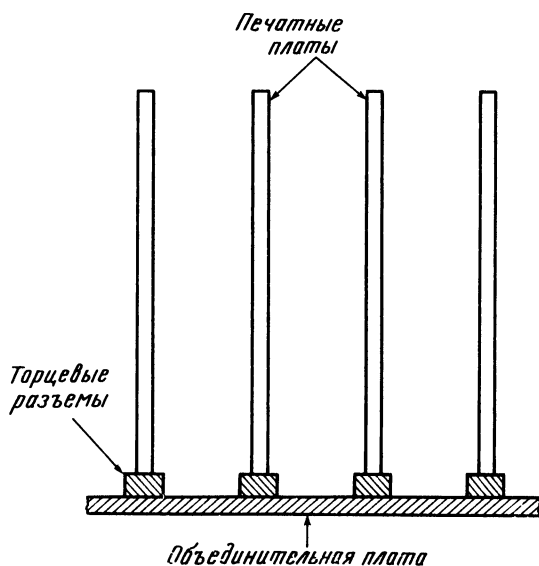


Рис. 11.5а. Многоплатная конструкция на основе объединительной платы.

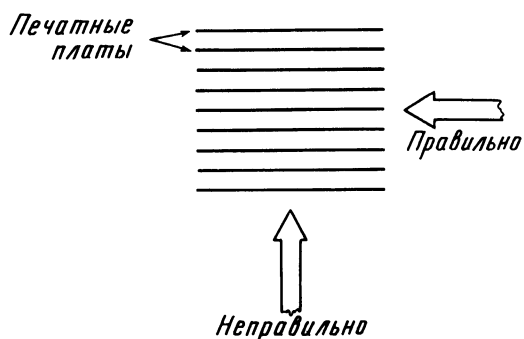


Рис. 11.56. Правильное и неправильное направления воздушного потока относительно печатных плат.

На рис. 11.6 показан метод охлаждения, применяемый в микроЭВМ. Объединительная плата монтируется на металлическом шасси. В шасси и объединительной плате сделаны отверстия шириной 19 мм для воздушных потоков. Хотя на рисунке показано только по одному отверстию между каждой парой печатных плат, реально их по четыре в каждом ряду. Воздушный поток от вентилятора проходит через отверстия и обдувает платы.

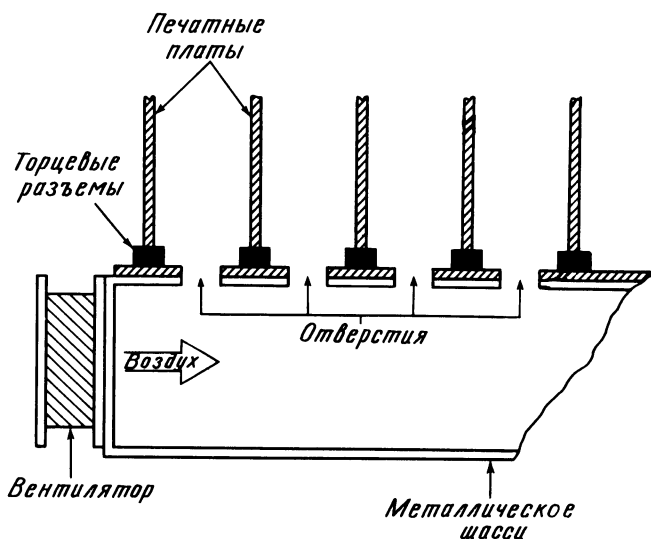


Рис. 11.6. Один из методов охлаждения многоплатной конструкции.

Мощные ВЧ-усилители и передатчики имеют свои специфические особенности. Например, некоторые мощные линейные усилители имеют коэффициент полезного действия всего 45%. Таким образом, линейный усилитель, потребляющий мощность 1000 Вт, выдает только 450 Вт полезной ВЧ-мощности, а остальные 550 Вт преобразуются в тепло. Ситуация осложняется тем, что экранирующий металлический кожух, применяемый для устранения излучения паразитных гармоник, препятствует оттоку тепла.

Для полной реализации характеристик мощных ВЧ-усилительных радиоламп, применяемых в медицинском оборудовании для диатермии и электрохирургии, промышленных индуктивных нагревателей и радиопередатчиках требуется принудительная вентиляция (иногда она просто необходима). На рис. 11.7а показаны два метода охлаждения. В первом случае (рис. 11.7а) вентилятор расположен так, что воздушный поток направлен прямо на стеклянную колбу. Вентилятор монтируется либо внутри, либо, как показано на рисунке, снаружи ВЧ-блока.

В другом случае (рис. 11.7б) применяется специальная “воздушная” ламповая панель. Вентилятор направляет воздушный поток через отверстия в нижней части панели к стеклянной колбе радиолампы. Стеклянная трубка вокруг радиолампы задает направление потока. Некоторые панели такого типа имеют разъем для подсоединения воздушного шланга, а в других воздушный поток регулируется только наддувом вентилятора. В обоих случаях преимуществом конструкции является хорошее

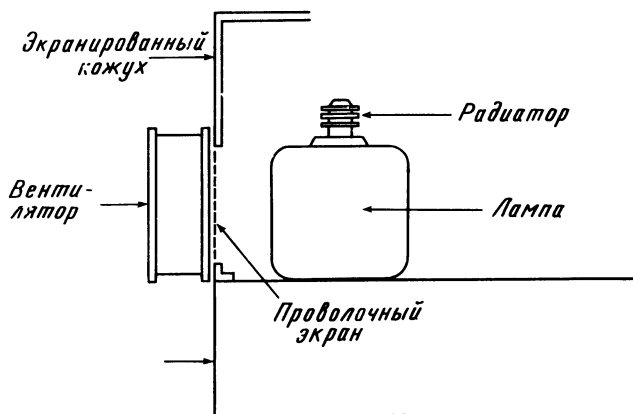


Рис. 11.7а. Охлаждение мощной ВЧ-усилительной радиолампы.

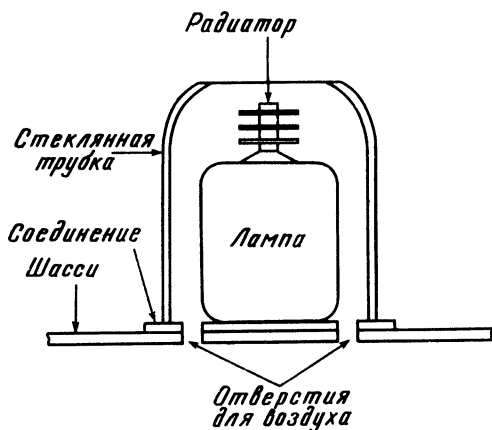


Рис. 11.76. “Воздушная” панель для радиолампы.

охлаждение контактных штырьков радиолампы. Верхний контактный штырек радиолампы также требует охлаждения. Некоторые конструкторы применяют профилированный “шляпочный” радиатор в качестве анодного разъема.

ПЕЧАТНЫЕ ПЛАТЫ ДЛЯ ИС

Высокая плотность элементов на современных печатных платах позволяет создавать компактную аппаратуру, такую, как современное оборудование радиосвязи и цифровые компьютеры. К сожалению, увеличение плотности ИС на печатной плате создает проблему отвода избыточного тепла. В некоторых случаях принудительное воздушное охлаждение неприемлемо или неэффективно. Тогда можно рекомендовать метод охлаждения, представленный на рис. 11.8. В этом методе используется “лестничный” радиатор, размещенный на печатной плате.

Как видно на рис. 11.8, массивная металлическая “лесенка” проходит под каждой микросхемой и соединяется с общим массивным металлическим радиатором на краю платы. Тепло отводится за счет теплопроводности. Иногда можно дополнительно создать воздушный поток поперек радиатора. При таком решении следует размещать основные тепловыделяющие детали как можно ближе к краю печатной платы, где находится общий металлический радиатор.

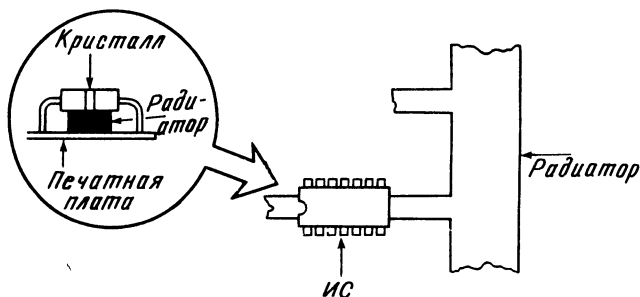


Рис. 11.8. Металлический "лестничный" радиатор на печатной плате.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Тепло является одним из главных врагов электронного оборудования. Результатом избыточного тепловыделения могут быть сбои в работе, частые поломки и прочие неполадки, ведущие к снижению надежности. Хотя, как правило, не следует вносить изменения в конструкцию прибора без соответствующих инструкций изготовителя, возможны исключения из этого правила, например, если блок, подверженный перегреву, может быть модифицирован без ущерба для всего прибора. Ряд простых методов, изложенных в этой главе, поможет повысить надежность оборудования и продлить срок его службы для клиента.

ГЛАВА 12

РЕМОНТ ЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ В СЛУЧАЕ ПОПАДАНИЯ ВЛАГИ

Пять дней с утра до ночи на восточном побережье шли сильные дожди. В одном районе уровень воды в реке поднялся на 3 м, но в 120 км вверх по течению, в горах река представляла собой стену воды высотой 15 м и затопила все, разрушив сооружения, воздвигнутые усилиями сотен упорных добровольцев. Несмотря на их каторжный труд, дамба на окраине одного гордка не выдержала натиска разбушевавшейся воды. В течение суток вода непрерывно поднималась, полностью затопила подвалы и ринулась на первые этажи жилых домов и офисов, достигнув уровня 1,8 м. Когда вода начала спадать, губернатор вызвал национальную гвардию, чтобы предотвратить грабежи и чтобы жители, вернувшиеся в свои дома, могли спасти кое-что из своего имущества. Очистив дома от мокассий, с неизбежностью попавших туда с потоком воды, они нашли свое имущество промокшим и грязным. Среди испорченных вещей было и электронное оборудование, которое они принесли в мастерскую в надежде, что кое-что удастся отремонтировать. В состоянии ли вы помочь такому клиенту?

Мастерская может обанкротиться, если ее испытательное оборудование испорчено наводнением, и страховой полис тут не поможет. Выживание зависит от того, умсет ли персонал обращаться с оборудованием, в которое попала вода.

Хотя большинство сценарисв наводнений не столь драматичны, как вышеописанный, тем не менее известно немало случаев, когда электронное оборудование приняло ванну: несчастный случай на воде, авария водопроводной системы и множество других причин, которые выводят электронное оборудование из строя. К счастью, квалифицированный техник может восстановить аппаратуру.

Если страховая компания хорошо оплатит понесенный ущерб, то клиент может просто пойти и купить себе новое изделие. Но если страховая компания отказывается платить или если имущество не застраховано, то клиент может пожелать от-

ремонттировать испорченную аппаратуру. Даже если страховая компания выплатит деньги, клиенты часто выкупают испорченное оборудование за реальную стоимость. Так, один клиент получил 325 долл. за УВЧ ЧМ-приемник морской дуплексной радиосвязи и выкупил его у страховой компании за 20 долл. Страховая компания выдала ему чек на 305 долл., и он сохранил каркас.

Некоторые рекомендации могут показаться странными, но они помогут возместить часть дорогостоящего оборудования. Некоторые действия (особенно просушка или очистка любительского передатчика с помощью химикалий) могут вызвать небольшие повреждения, которые также придется устранить. Если это вас раздражает, то запомните, что в описанном выше случае оборудованию уже нельзя причинить никакого вреда - оно просто уже не существует. И восстановление - это чистая прибыль.

Но прежде чем давать обещания, удостоверьтесь, что клиент понимает, что вам предстоит героические усилия, которые могут оказаться напрасными. Одна из наиболее часто упоминаемых причин недовольства связана вовсе не с вашей плохой работой, а с обманутыми надеждами. Если клиент будет ждать от вашей работы много большего, чем возможно, то он не простит того, что вам не удалось "поймать пулю зубами". Ну а если результаты превзойдут ожидания, то слух о вас, как о мастере, способном починить промокшую радиоаппаратуру, разнесется по всему городу.

Прежде всего воздержитесь от включения приемника в сеть даже на мгновение, чтобы проверить, нет ли разрывов в цепи. Помните, что даже кратковременное включение может привести к серьезным повреждениям. Совершенно естественное побуждение посмотреть, выдержал ли аппарат наводнение. Если в него попала вода, то вряд ли он уцелел.

Первым делом необходимо снять корпус и промыть приемник. В мастерских, находящихся в портовых городах, часто сталкиваются с повреждением электронного оборудования соленой водой. В одну такую мастерскую был сдан радиотелефон, поврежденный во время шторма. Соленая вода в реке поднялась так высоко, что даже покрыла радиоаппаратуру, установленную на кабине грузовика. Первое, что сделал мастер, он вынес приемо-передатчик во двор и устроил ему 10-минутный душ из садового шланга. Он всю жизнь жил в этом городе и поэтому имел большой опыт ремонта радиоаппаратуры, пострадавшей от воды. Если повреждения вызваны соленой водой, то нужно немедленно выполнить работу по очистке. Чем дольше соль остается в аппаратуре, тем сильнее коррозия и тем меньше шанс ее починить.

В некоторых случаях после душа может потребоваться ванна. Один техник использует лохань объемом около 100 л - в такой можно выкупать здорового дога. Он prepares раствор из 2 - 4 л средства "Lestoil", маленького пузырька жидкости для снятия лака с ногтей (60 - 120 г) или обычного ацетона и такого количества воды, чтобы лохань наполнилась до краев. Опустите устройство в ванну и подержите его там час, вылейте раствор, тщательно сполосните сосуд и наполните его обычной водой (некоторые предпочитают дистиллированную воду, которая продается в бутылках в некоторых местностях). Эта вторая ванна удалит остатки химикалий. Имейте в виду, что такое купание может повредить некоторые виды пластмасс. Если вас это не устраивает, то используйте обычную мыльную воду. Она, конечно, не столь эффективный растворитель, но тоже подойдет. Помните, что большинство пластмасс можно заменить и их повреждению не мешает нормальному функционирование аппаратуры. Она и так в критическом состоянии, поэтому вряд ли стоит беспокоиться из-за вторичных повреждений.

Следующий шаг - тщательная просушка. Если вы живете в Аризоне (не удивляйтесь, наводнения бывают и в пустыне!), аппаратуру просто выставляют на солнце примерно на неделю; некоторые используют другой метод. Для этой цели подойдет и обычная кухонная плита при условии, что в ней может поддерживаться температура около 50°. Это слишком низкая температура для кухонной плиты и трудно поддерживать такое значение. При более высокой температуре аппаратура высохнет быстрее, но при этом расплавятся некоторые пластмассы, поэтому будьте осторожны. Сушка длится несколько дней, иногда целую неделю.

Еще один способ - соорудить картонную (или из другого материала) коробку, установить в ней несколько ламп накаливания, чтобы обеспечить достаточно тепла. Установите внутри термометр и следите, чтобы а) температура не превышала 50°, б) чтобы коробка не загорелась. И снова сушите неделю, хотя я знаю один случай, когда автомобильный приемник, упавший в пресную воду (на несколько минут), высох всего за один день.

После этого приступайте к тщательной проверке! В некоторых случаях единственный способ - включить аппарат в сеть и посмотреть, не повалит ли из него дым. Более консервативный метод - покаскадная проверка. Первый этап - отсоединить источник постоянного тока. Этот этап может оказаться очень существенным для будущего состояния ремонтируемого аппарата, особенно в случае высокого напряжения.

Не включайте приемник в сетевую розетку, а подключите

источник питания испытательного стенда к схеме, предварительно подключенной к автономному источнику питания любительского передатчика. Здесь существенно то, что используется источник постоянного тока, который обеспечит то же напряжение, и, кроме того (что очень важно), он снабжен ограничителем тока. Выходное напряжение устанавливается равным напряжению постоянного тока, обычно потребляемому любительским передатчиком, причем ограничитель тока устанавливается так, что ток короткого замыкания лишь слегка превышает нормальный рабочий ток проверяемой цепи.

К чему такие хлопоты? Чтобы предотвратить вторичные повреждения. Токовая нагрузка почти неизбежно ведет к короткому замыканию или к другим условиям. Если такие условия имеются, то внутренний источник питания даже при штатной работе, вероятно, вызовет достаточный ток, чтобы повредить как навесные компоненты, так и элементы печатной схемы. После того как схема проверена, можно проверить источник питания, и если все в порядке, прибор можно отключить.

Источник постоянного тока низкого напряжения нужно проверить отдельно, особенно если в нем используется стабилизатор (как во многих современных приемниках). Если цепь стабилизатора не работает, то несколько возможных нарушений позволяют связать выход выпрямителя с выходом стабилизатора. Это имеет место, когда последовательно включенный транзистор либо закорочен, либо сильно смещен. Поскольку напряжение выпрямителя всегда выше, чем на выходе стабилизатора, оно может повредить цепи, которые при предыдущей проверке оказались исправными.

С источниками питания высокого напряжения связаны их собственные проблемы. Небольшие количества влаги, безопасные для источников низкого напряжения, повредят источники высокого напряжения. Особую проблему представляют высоковольтные трансформаторы. Если в трансформатор попала влага, то его надо заменить. Можно попытаться просушить трансформатор, но нужно быть готовым к замене. На рис. 12.1 показан метод просушки силового трансформатора. Последовательно с высоковольтным трансформатором включена лампа накаливания напряжением 115 В. Протекающий ток достаточен для внутреннего разогрева, но недостаточен для того, чтобы повредить трансформатор в случае короткого замыкания. Если напряжение в первичной цепи 220 В, то нужно включить еще одну лампу.

Причиной повреждений могут оказаться компоненты, в которые проникла влага, которую трудно обнаружить. К таким компонентам относятся подстроенные конденсаторы, конденсаторы с воздушным диэлектриком, ПЧ- и ВЧ-трансформаторы, пере-

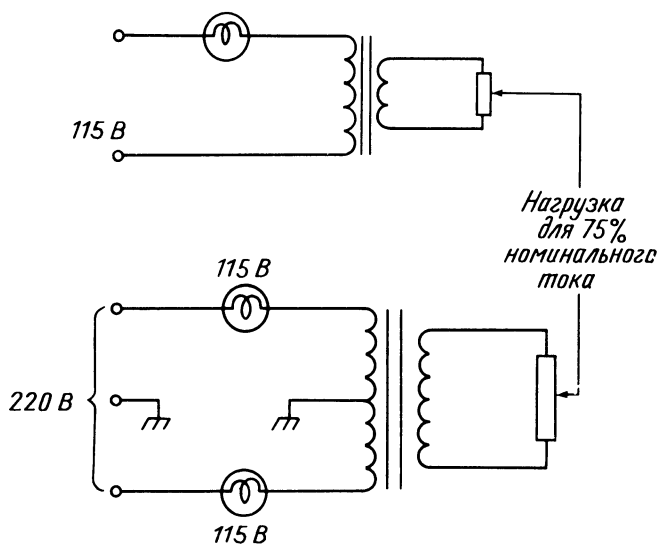


Рис. 12.1. Способ просушки силового трансформатора.

ключатели, потенциометры, бумажные и электролитические конденсаторы.

Подстроечный конденсатор следует установить в положение минимальной емкости и просушить с помощью лампы накаливания в течение 10 - 15 мин. Необходимость просушки выявляется при начальном тестировании системы питания, иначе будет нарушена система настройки приемника. Этот шаг не следует выполнять как само собой разумеющийся, а только при наличии специфических признаков.

Точно так же у конденсатора с воздушным диэлектриком может произойти коррозия контактов, и это обнаружится при включении передатчика.

Бумажные и электролитические конденсаторы могут поглощать воду, особенно если они имеют фибровый или картонный корпус. Если есть признаки того что конденсатор промок, то лучше его заменить. Ведь конденсатор - относительно дешевая деталь.

Если на печатной плате остается осадок, то сбрызните его чистящим аэрозолем "Freon TF" или чем-нибудь в этом роде. Некоторые техники для удаления мусора предпочитают пользоваться небольшими кистями.

Вы сами убедитесь, что испорченный наводнением приемник часто можно отремонтировать. Описанные выше методы на про-

тяжении многих лет успешно используются техниками по обслуживанию радиоаппаратуры.

Недавно автор получил полезный совет от читателя. Он - бывший морской офицер, которому приходилось работать с электронной аппаратурой на борту корабля. Он сообщил, что они использовали для ремонта оборудования, пострадавшего от морской воды, оригинальный метод. Сначала оборудование подвергали теплоте, а затем относили на камбуз и сушили в духовке при низкой температуре и хорошей циркуляции воздуха. Этот отставной офицер считает, что лучше всего подходит дистиллированная вода и что пресная вода в некоторых местах слишком жесткая. Поэтому нужно покупать дистиллированную воду, либо каким-либо образом смягчать воду.

Если шасси покрыто нефтепродуктами, его можно почистить смесью 250 - 300 г чистящего средства типа "Mr. Clean" или "Lysol", 120 -180 г ацетона и такого количества дистиллированной или смягченной воды, чтобы общий объем раствора составлял 4 л. Аппаратура погружается в эту ванну. Если ее размеры больше, нужно пропорционально увеличить количество всех составляющих. Этот офицер рекомендовал также использовать средство "Water Pik" для очистки крупногабаритной аппаратуры. Затем она просушивается в духовке при температуре 50 - 65° в течение 4 -5 часов. (Некоторые пластмассы, используемые в радиоаппаратуре, плавятся уже при 60°, так что будьте осторожны.) Все смазочные материалы в переключателях, потенциометрах, конденсаторах с воздушной изоляцией переменной емкости после такой процедуры должны быть заменены.

Черная асфальтоподобная масса, которая вытекает из перегретых трансформаторов, легко удаляется с шасси с помощью пены из обычного углекислого огнетушителя (для экономии используйте огнетушитель, который уже требует перезарядки). Застывшую массу легко будет удалить.

Предупреждение. Смесью чистящих средств с "Chlorox" или другими веществами, содержащими гипохлорит, может привести к выделению ядовитого хлора. Поэтому выполняйте эти работы в хорошо проветриваемом помещении или на открытом воздухе.

ГЛАВА 13

СОДЕРЖАНИЕ ОБОРУДОВАНИЯ ПО ИСТЕЧЕНИИ ГАРАНТИЙНОГО СРОКА

Запуск оборудования в эксплуатацию обычно сопровождается гарантийными обязательствами поставщика. Если речь идет о системе радиосвязи, состоящей из двух подвижных станций и базовой станции мощностью 30 Вт, то гарантийные документы достаточно просты. Напротив, сложные системы требуют и более сложных гарантийных документов с тщательно оговоренными отдельными пунктами. Но в конце концов наступает день, когда владелец системы останется с ней один на один и должен эксплуатировать ее без помощи поставщика. Здесь может пригодиться ряд советов.

Проблема ремонта электронного оборудования чем-то напоминает систему страхования, а именно тем, что и о одной, и о другой мы вспоминаем только после катастроф. Между тем предварительная подготовка может сократить время вынужденного бездействия, пока оборудование продвигается по "ремонтной цепочке".

Прежде всего следует подумать о ремонте системы еще во время ее приобретения. Тщательно выясните все детали у поставщика еще до подписания контракта. Поинтересуйтесь о наличии близлежащих мастерских. Что означает "близлежащие", зависит от конкретных условий, но имейте в виду, что 200 км в один конец - это высокая стоимость и длительный ремонт. Поинтересуйтесь мнением других пользователей системы, которым можно доверять. Все это поможет принять правильное решение. Если эксплуатация системы обходится слишком дорого или издержки вынужденного простоя в течение нескольких дней ожидания ремонта слишком велики, тогда не стоит тратить деньги.

Может настать день, когда придется упаковывать оборудование для отправки в ремонт изготовителю. Для этой цели лучше всего подойдет собственная тара прибора. Поэтому распаковку следует производить аккуратно, не повреждая тары.

Это уж слишком? Где, к примеру, хранить ящики мз-под оборудования? Я поинтересовался мнением управляющего мастерской гарантийного ремонта. Он сказал, что зачастую плохая

упаковка ведет к повреждениям (часто скрытым), которые ремонтируются за счет покупателя. Иногда такие повреждения не позволяют даже воспользоваться законным правом на гарантийный ремонт (например, при обрыве проводящей дорожки печатной платы).

Старый картон и несколько слоев газетной бумаги - не самые лучшие упаковочные материалы. Не стоит также экономить на перевязке коробки - прибор может потеряться в пути, если он плохо перевязан, даже если сама по себе тара подходящая. Сделайте вокруг коробки не менее двух витков надежным нейлоновым шпагатом в перпендикулярных направлениях, а затем обклейте ее скотчем или бумажными лентами. Неплохо также напечатать на отдельной карточке название фирмы, фамилию ответственного за оборудование, адрес и телефон (на всякий случай). И убедитесь, что карточка надежно приклеена к коробке.

Управляющий ремонтной мастерской рассказал мне об одном незадачливом владельце, который упаковал для отправки в гарантийный ремонт 100-ваттный морской ВЧ-ОБП приемопередатчик вместе с автономным источником питания (12 В, 20 А). Массивный источник питания перекатывался внутри картонной коробки как пушечное ядро и, конечно, вдребезги разбил приемопередатчик, обернутый газетной бумагой. К сожалению, ни транспортная фирма, ни производитель оборудования не оплатили ремонт, мотивируя это тем, что повреждения вызваны плохой упаковкой.

Вообще, не стоит отправлять такие детали, как источники питания, телеграфные ключи и т.п., если они не затребованы ремонтной мастерской. За 20 лет работы в разных ремонтных мастерских я столкнулся с множеством случаев утери собственности заказчика. Если неисправен приемопередатчик, то его и отправляйте в ремонт, а остальное оставьте дома. Можете не сомневаться, что в специализированной мастерской найдется необходимый источник питания постоянного тока или микрофон для проверки прибора.

ПРОВЕРКА НА НЕИСПРАВНОСТЬ

В одной мастерской, где мне пришлось работать, около 40% поступающего оборудования попадало в категорию ННО (неисправности не обнаружены). Это означало, что оборудование не требовало ремонта! Пользователь ошибся в диагнозе.

Чтобы поставить правильный диагноз, необходим здравый смысл. Проверьте все разъемы, дополнительные принадлежности, выключатели, посмотрите список типичных неисправностей. Как

это ни нелепо, но часто дело вовсе не в перегоревшем предохранителе, а в том, что прибор всего навсего не включен в сеть!

Статистика показывает, что часто отсутствие трансляции является следствием неисправности в кнопке переключения магнитофона. Попробуйте другие режимы. Если передатчик не работает в режиме передачи речи, но работает в режиме передачи одностороннего сигнала, скорее всего неисправен микрофон. Точно так же нормальная работа в режиме голосового переключения в отличие от кнопочного указывает на неисправность кнопки. Немного здравого смысла - и все в порядке!

Могут пригодиться эквивалентная антенная нагрузка и ВЧ-ваттметр. Хотя большинство профессионалов предпочитают прибор типа Bird Model 43, простой измеритель КСВН тоже подойдет. В последнем случае измерения носят относительный характер и могут быть полезными только в том случае, если известно, что тестируемый прибор работает нормально. Запишите показания измерителя при подключенной эквивалентной нагрузке, а затем запишите положения регуляторов.

ЧТО ПОДЛЕЖИТ РЕМОНТУ?

Хотя радиолюбители с 25-летним и большим стажем обычно считают, что можно отремонтировать все, что угодно, иногда ремонт выходит за пределы возможностей пользователя. В таком случае следует обратиться в ремонтную мастерскую более высокого уровня.

Необходимо решить, какой ремонт можно провести самостоятельно. Отчасти это определяется конструкцией радиоприбора, отчасти - контрольно-измерительным оборудованием, имеющимся в распоряжении, а отчасти - квалификацией.

Как правило, устранение чисто механических поломок, ремонт регуляторов (например, потенциометров, двухпозиционных переключателей), цифровых индикаторов, дефектов пайки в печатных платах (заметных при визуальном контроле), источников постоянного тока вполне по силам технику средней квалификации.

Если конструкция такова, что большая часть монтажа осуществлена на печатных платах, которые легко заменить, то ремонт может быть выполнен в большинстве мастерских. Целесообразно иметь про запас надежно работающие платы специально на случай поиска неисправностей и ремонта. Даже в оборудовании со встроенными блоками самотестирования иногда имеются группы плат, диагностика которых осуществляется только путем замены.

Известно, что для электронных приборов одной модели характерны одни и те же поломки. Профессиональный ремонтник, постоянно сталкивающийся с одними и теми же поломками, приобретает чутье на такие характерные поломки и их симптомы. Я упоминаю об этом для того, чтобы побудить вас позвонить на фирму-производитель, описать неполадку и получить совет. Возможно, там уже сталкивались с ней и могут помочь. Поинтересуйтесь также, какие усовершенствования были бы внесены, если бы прибор попал к ним. Оказывается, производители часто вносят усовершенствования в оборудование, возвращенное для ремонта, за минимальную плату, а то и вовсе бесплатно. Такая любезность помогает им избежать дополнительных затрат в будущем.

ОБ ИНСТРУМЕНТАХ

Без минимального набора инструментов даже и не думайте приступать к ремонту. Первое, что необходимо, это отвертка для вскрытия прибора. Будьте внимательны при выборе: несоответствие размеров отвертки и винта может привести к порче их обоих, а, кроме того, отвертка, соскочившая со шлица, может повредить корпус прибора.

Обратите внимание на приборы, сделанные в Японии (кстати, большая часть оборудования для коммерческого вещания изготовлена за морем). Винты с крестообразными шлицами японского производства, имеют фаску, отличающуюся от американского стандарта. В результате американская отвертка может сорвать шлиц. Это тот случай, когда дешевые импортные отвертки лучше отечественных.

Необходима также пара паяльников. Для ремонта печатных плат и мелких работ используйте паяльник мощностью 25 - 75 Вт, для более сложных работ (пайка антенных проводов и т. п.) 250 Вт и более.

Выбор припоя не менее важен, чем выбор паяльника. Единственный тип припоя, который следует использовать, - трубчатый канифольный припой для электронных приборов. Многие специалисты усмехнутся, найдя такой совет бесполезным, но я убежден в его необходимости - в каждой ремонтной мастерской можно найти приборы, выведенные из строя неправильно выбранным припоем. Ни в коем случае не используйте кислотные, а также применяемые для металлоремонта припои. Содержащаяся в них кислота разрушит прибор и его придется выбросить на свалку. Итак, помните: используйте только трубчатый канифольный припой, специально предназначенный для радио-, телевизионного и другого электронного оборудования.

Большинство профессионалов предпочитают припой Kester или Eltin Malticore, содержащие свинец и олово в пропорциях 50/50 или 60/40.

Калибр паяльника также важен. Для пайки мелких деталей, таких, как выводы микросхем, используйте калибры 22, 24 или 26, для более крупных - 14 или 20. Некоторые мастерские оснащены комплектами паяльников калибра 14, 18 и 24. Паяльники относительно дороги, так что обращайтесь с ними бережно.

Выпаивание деталей требует не меньшего мастерства, чем припайвание, хотя этому не всегда придают значение. Здесь могут помочь некоторые приспособления, особенно при работе с печатными платами: специальные наконечники и микронасосы.

НАКОНЕЧНИКИ ДЛЯ ВЫПАИВАНИЯ. Такие наконечники имеют форму, соответствующую выводам выпаиваемой детали. Например, есть наконечники, позволяющие одновременно нагревать 14 или 16 выводов ИС в корпусе с двухрядным расположением выводов. Наконечник насаживается на паяльник необходимой мощности, и все выводы нагреваются одновременно.

МИКРОНАСОСЫ. Это специальные вакуумные устройства, применяемые вместе с паяльником, которые удаляют расплавленный припой. В продаже имеются сложные, дорогие модели с вакуумным насосом и вакуумной системой, являющейся составной частью паяльника. Такие инструменты больше подходят для крупных мастерских и промышленных производителей. В мелких мастерских можно обойтись более простыми изделиями.

Имеются по крайней мере два типа дешевых насосов. Один из них представляет резиновую грушу с нейлоновым или тефлоновым наконечником. (Такое устройство можно приобрести в аптеке!)

Другой представляет пружинное устройство в виде пистолета. Оператор взводит пружину и подносит наконечник к расплавленному припою. После нажатия курка припой всасывается внутрь пистолета. При покупке такого прибора не забудьте приобрести запасные наконечники. После длительного пользования наконечник может разбрызгивать припой по печатной плате. Наконечник можно подправить с помощью надфиля или перочинного ножа, тем не менее запасной не помешает.

Понадобятся и другие инструменты: маленькие кусачки, маленькие удлиненные плоскогубцы, средние удлиненные плоскогубцы, устройство для зачистки проводов, пинцеты, а также некоторые настроенные приборы.

Относительно последних автор хотел бы сделать серьезное замечание:

НЕ СОВМЕЩАЙТЕ ПРОЦЕСС ПОИСКА И РЕМОНТА НЕИС-

ПРАВНОСТЕЙ С РЕГУЛИРОВКОЙ И НАСТРОЙКОЙ РАДИО-ПРИБОРА!

Дилетанта всегда отличает стремление использовать для ремонта "любую рукоятку". Так называемая "расстройка" происходит неодномоментно. Когда нормальная работа прибора неожиданно нарушается, это не "расстройка", а скорее всего поломка какой-то конкретной детали. Настройка прибора всегда несет с собой некоторое неблагоприятное воздействие и если она производится слишком часто, то от нее будет больше вреда, чем пользы.

Запаситесь и некоторыми химикатами. Ремонтные работы иногда требуют очистку выключателей и потенциометров, так что чистящее средство (например, Blue Stuff) может пригодиться. Может понадобиться также силиконовая смазка (например, Lubriplate), теплопроводящая паста для смазки мощных транзисторов, а также аэрозольная "заморозка" для поиска перемежающихся неисправностей. Для истинно классной работы с печатными платами приобретите флакон жидкости для очистки плат от остатков канифоли. Существуют специальные весьма дорогие средства для чистки корпусов, но небольшое количество мыльной воды и кусок мягкой ткани также подойдут (и стоят дешевле).

Наконец, запросите подробное описание прибора у его производителя. Те, что приходят в комплекте с прибором, обычно достаточны для его эксплуатации и могут даже содержать схематические диаграммы, но этого недостаточно для ремонта. Действительно хорошее описание обычно присылается по отдельному запросу. Некоторые приборы даже снабжаются специальным бланком для такого запроса. Стоит приобрести и дополнительные элементы, такие, как выносные разъемы для печатных плат (они позволяют работать с платой вне корпуса), запас проводов и т. п., предлагаемые фирмой-изготовителем.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Не торопитесь обращаться в ремонтную мастерскую по любому поводу. Конечный пользователь оборудования должен обладать некоторыми минимальными навыками поиска и устранения неисправностей в любом приборе, первое время под руководством опытных консультантов. Для некоторых пользователей, например моряков, сталкивающихся с неполадками вдали от ремонтных мастерских, такие навыки могут быть вопросом жизни и смерти, поэтому необходимо приобрести минимальный опыт.

ГЛАВА 14

ПРОВЕРКА И РЕМОНТ РАДИОПРИЕМНИКОВ

Радиоприемник осуществляет прием и детектирование радиосигналов с целью извлечения передаваемой информации. Приемники АМ- и ЧМ-сигналов имеют одинаковые функциональные схемы, за исключением детектирующих блоков, поэтому здесь мы рассмотрим только приемники АМ-сигналов и ОБП-приемники. Приемники ЧМ-сигналов, по крайней мере в части схем детектирования будут рассмотрены в гл. 17.

Супергетеродинная схема, приведенная на рис. 14.1, является общепринятой уже более 50 лет. Хотя в современных моделях используются схемы с многократным преобразованием частоты, эта простая версия все еще используется при обучении. В приемниках такого типа принятый ВЧ-сигнал посредством гетеродинирования преобразуется в другой, как правило, но не всегда имеющий более низкую частоту, называемую промежуточной (ПЧ). Гетеродинированием называется процесс, в котором ВЧ-сигнал смешивается с сигналом внутреннего генератора (гетеродина), образуя сигналы с суммарной и разностной частотами. Обычно, но не всегда используется разностная частота. Общее усиление и избирательность приемника в основном определяются характеристиками каскада УПЧ.

На рис. 14.1 показаны основные каскады супергетеродинного приемника. В усилителе высокой частоты слабый сигнал, принятый антенной, усиливается перед подачей на вход смесителя. Усилитель является селективным каскадом с заданными частотными характеристиками и кроме собственно усиления выполняет еще две функции: подавление нежелательных сигналов и предотвращение излучения сигнала гетеродина через антенну.

Смеситель и гетеродин преобразуют ВЧ-сигнал в сигнал ПЧ. Сигнал гетеродина смешивается с ВЧ-сигналом, в результате чего образуется сигнал ПЧ. Смеситель является нелинейным элементом, необходимым для гетеродинирования. На выходе смесителя имеются четыре сигнала со следующими частотами: ВЧ, частота гетеродина, их сумма и разность. В большинстве

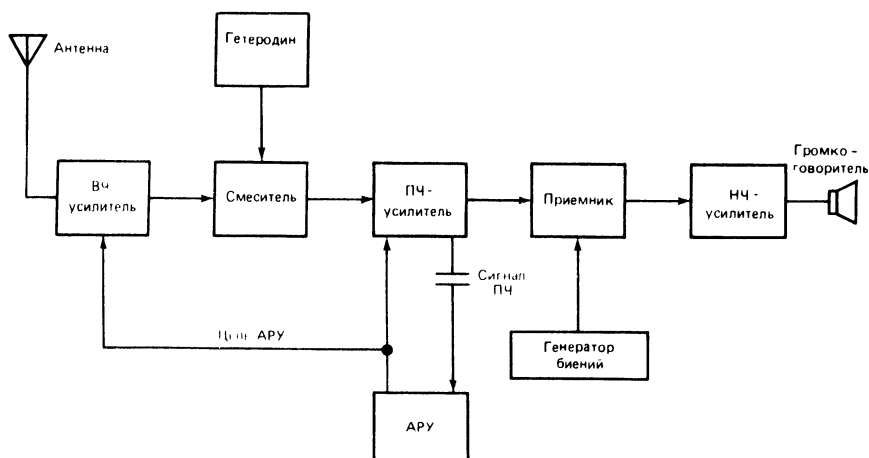


Рис. 14.1. Блок-схема супергетеродинного приемника.

приемников в качестве промежуточной частоты используется разностная частота, т. е. соответствующий резонансный контур, настроенный на эту частоту, пропускает сигнал ПЧ с выхода смесителя и отсекает все остальные. В некоторых приемниках общий каскад, именуемый преобразователем частоты, объединяет в себе смеситель и гетеродин. В таком каскаде обычно используется один активный элемент, например транзистор или ИС, которые выполняют функции гетеродина и смесителя.

Усилитель ПЧ является селективным устройством, однако он не перестраивается в отличие от ВЧ и гетеродинного каскадов. Каскад ПЧ имеет фиксированную настройку на разностную частоту. В связи с тем, что усилитель ПЧ является узкополосным, он легко стабилизируется и может обеспечивать высокое усиление без самовозбуждения. Дешевые приемники АМ-радиовещательных сигналов могут иметь только один каскад усиления ПЧ, в то время как некоторые старые модели имеют 4 - 5 каскадов. (Современная технология позволяет реализовать усилитель ПЧ на основе одной - двух ИС вместо 4 - 5 дискретных каскадов.)

Детектирующий каскад (демодулятор) выделяет информационный (модулирующий) сигнал из ВЧ-сигнала. ВЧ-сигнал представляет собой сигнал несущей частоты, промодулированный в радиопередатчике информационным сигналом. В приемниках АМ-сигналов детектирующая цепь состоит из диодного выпрямителя и частотного фильтра. Так как такой детектор регистрирует изменения амплитуды сигнала, он называется амплитуд-

ным детектором. Нелинейность характеристики диода приводит к гетеродинированию несущей частоты АМ-сигнала с верхними и нижними боковыми частотами, причем разностная частота является звуковым сигналом, который модулировал несущую в радиопередатчике.

В процессе приема сигнала с одной боковой полосой (ОБП) следует учесть, что в них несущая частота отсутствует и, таким образом, не может быть использована для гетеродинирования с боковой частотой. Поэтому в приемниках ОБП-сигналов используется комбинированный детектор, состоящий из смесителя и генератора с фиксированной частотой, за которыми следует звуковой фильтр нижних частот (в приемниках ЧМ- и ФМ-сигналов используются фазочувствительные детекторы, рассмотренные в гл. 17).

ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРИЕМНИКА

Несколько характеристик являются общими для радиоприемников всех типов независимо от рабочего диапазона. Это - чувствительность, избирательность, подавление помех от зеркального канала, коэффициент шума.

Чувствительность характеризует способность принимать слабые сигналы. Есть несколько определений чувствительности, что иногда приводит к недоразумениям. В одних случаях чувствительность определяется как уровень сигнала, принимаемого антенной, необходимый для создания определенного уровня звуковой мощности на выходе приемника (обычно 500 мВт или 1 Вт), в других - как уровень сигнала на входе, необходимый для уменьшения уровня выходного шума на 10 или 20 дБ (уровень шума сравнивается с уровнем шума при нулевом входном сигнале).

Избирательность характеризует способность подавлять нежелательные сигналы. Приемник не работает одновременно во всем частотном диапазоне. В каждый момент осуществляется прием сигналов в узкой полосе, в окрестности частоты, выбранной с помощью настроенного лимба. Избирательность выражается через полосу частот и в идеале должна в точности совпадать с полосой принимаемого сигнала.

Помехи от зеркального канала возникают вследствие процесса гетеродинирования. Для усилителя ПЧ не существует различия между ВЧ-сигналами, лежащими выше и ниже частоты гетеродина, так как он настроен на разностную частоту. Если частота гетеродина лежит выше частоты ВЧ-сигнала, то промежуточная частота - разностная, но сильный сигнал на частоте ВЧ плюс 2ПЧ также даст разностный сигнал на промежуточной ча-

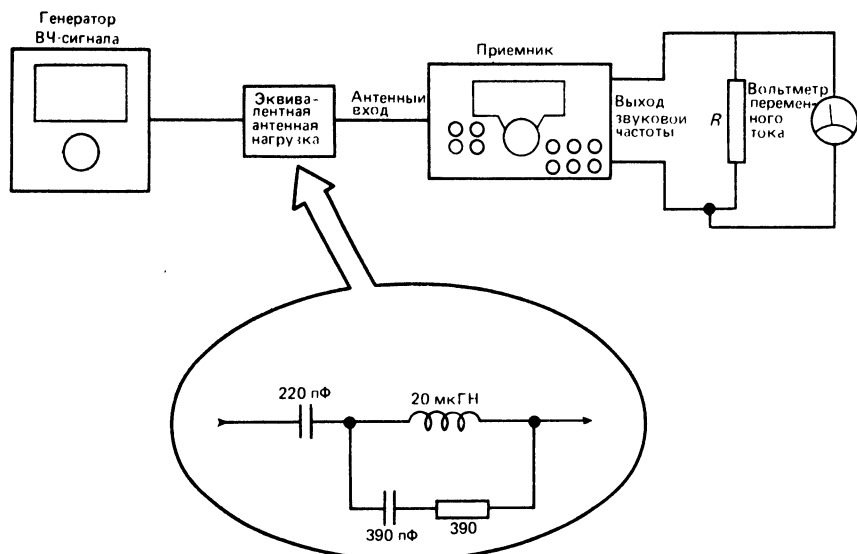


Рис. 14.2. Схема для определения чувствительности приемника.

стоте. Помеха расположена на частотной шкале по другую сторону от частоты гетеродина (зеркально), на расстоянии двух промежуточных от основной принимаемой частоты и должна эффективно подавляться в приемнике.

Шум, например шипение, в основном является следствием тепловых процессов в радиокомпонентах. Его количественной характеристикой является коэффициент шума, измеряемый в децибелах.

ИЗМЕРЕНИЕ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ

Напомним, что существует два определения чувствительности. В этом разделе мы рассмотрим оба и выясним, в каких условиях целесообразно использовать каждое из них.

На рис. 14.2 показаны приборы, необходимые для проведения измерения в обоих случаях. Калиброванный генератор сигналов (см. гл. 3) подсоединяется к антенному входу, а вольтметр - параллельно выходной нагрузке. Нагрузочное сопротивление R , подключенное вместо громкоговорителя или головных телефонов, должно быть равно номинальному импедансу громкоговорителя и рассчитано на мощность, существенно превышающую уровень выходной мощности радиоприемника. Кроме то-

го, оно должно быть безындуктивным (т. е. проволочный резистор не подходит).

Эквивалентная антенная нагрузка, применяемая для настройки приемника, представляет собой пассивную схему, моделирующую линию передачи бесконечной длины. На рис. 14.2 показана типичная эквивалентная нагрузка для частот ниже 10 МГц.

Метод звуковой мощности

Метод звуковой мощности для измерения чувствительности используется в приемниках АМ-сигналов. Большинство производителей радиоприемников рекомендуют использовать АМ-сигнал с определенным коэффициентом модуляции (от 25 до 100%), промодулированный синусоидальным сигналом определенной частоты (чаще всего от 400 до 1000 Гц при коэффициенте модуляции 30%).

Звуковая мощность определяется путем измерения напряжения на громкоговорителе или эквивалентной нагрузке и пересчета с помощью соотношения V^2/R . В типичных заводских инструкциях требуется выходная мощность 500 мВт на нагрузке 8 Ом при коэффициенте модуляции 30 % и модулирующей частоте 400 Гц. Это означает, что необходимо

- 1) промодулировать сигнал генератора синусоидальным сигналом частотой 400 Гц и глубиной модуляции 30%,

- 2) определить уровень входного ВЧ-сигнала в микровольтах, при котором на выходной нагрузке рассеивается мощность 500 мВт, соответствующая среднеквадратичному напряжению:

$$V = (PR)^{1/2} = (0,5 \text{ Вт} \times 8 \text{ Ом})^{1/2} = 2 \text{ В},$$

- 3) выставить нулевой сигнал на выходе генератора, а затем постепенно его увеличивать, пока вольтметр не покажет среднеквадратичное значение 2 В (при измерении с помощью осциллографа это соответствует размаху 5,66 В).

Большинство приемников имеют систему автоматической регулировки усиления (APY), которая контролирует уровень сигнала и вырабатывает пропорциональное постоянное напряжение. Это напряжение подается на ВЧ- и ПЧ- каскады для снижения усиления при возрастании уровня выходного сигнала. Систему APY перед проведением измерений чувствительности необходимо отключить. Некоторые приемники снабжены соответствующим выключателем. Если его нет, обратитесь к описанию приемника и выясните, как отключить или зафиксировать систему APY на необходимом уровне.

Метод подавления шума сильным сигналом

В этом методе используется то же оборудование (рис. 14.2), но сигнал генератора не модулируется. Процедура следующая:

1) установите нулевой сигнал на выходе генератора, а громкость и ВЧ-усиление радиоприемника - на максимум,

2) измерьте среднеквадратичное шумовое напряжение на выходной нагрузке,

3) входной сигнал плавно увеличивается, пока выходное напряжение не упадет на 20 дБ (иногда используется значение 10 дБ) по сравнению с начальным; если вольтметр не откалиброван в децибелах, то произведите пересчет по стандартной формуле

$$\text{дБ} = 20 \lg V_i / V_r, \quad 10^{\text{дБ}/20} = V_i / V_r,$$

где V_i - измененное напряжение, V_r - исходное напряжение,

4) снимите отсчет чувствительности в микровольтах с индикатора выходного уровня ВЧ-генератора.

Имеется и другой вариант этого метода, применяемый в приемниках АМ-сигналов (или ОБП-приемниках, работающих в режиме приема АМ-сигналов). Он заключается в измерении уровня входного сигнала, необходимого для достижения отношения сигнал/шум на выходе 10 дБ при коэффициенте амплитудной модуляции 30 %.

1. Соедините приборы согласно схеме на рис. 14.2, установите нулевое значение сигнала на выходе генератора и выведите ВЧ-усиление приемника на максимум. Положение регулятора громкости должно обеспечивать надежное измерение выходного сигнала. Если имеется звуковой измеритель, калиброванный в единицах уровня громкости или децибелах, то установите выходной уровень 0 дБ.

2. Установите коэффициент модуляции сигнала на выходе генератора 30 %. Постепенно повышайте уровень сигнала, пока выходной уровень не достигнет 10 дБ.

3. Определите чувствительность по индикатору выходного уровня генератора. (Система АРУ должна быть отключена.)

Измерение избирательности

Избирательность характеризует ширину полосы приемника и степень подавления нежелательных сигналов. В основном она определяется полосой УПЧ (полоса ВПЧ и смесителя обычно шире). Поэтому в большинстве случаев избирательность приемника - это избирательность усилителя промежуточной частоты. Избирательность измеряется путем подачи сигнала промежуточной частоты либо на ВЧ-вход смесителя, либо на его выход. В

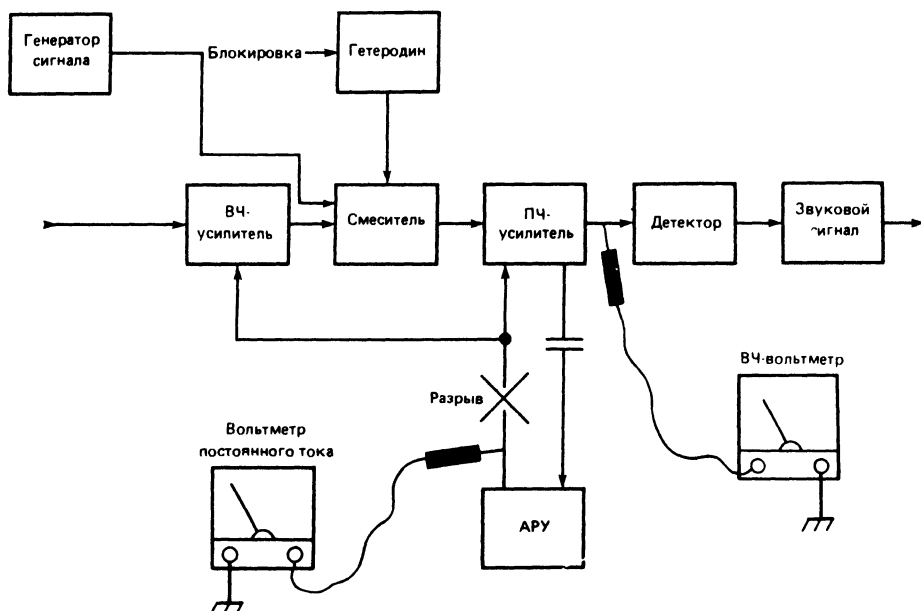


Рис. 14.3. Схема измерения избирательности.

любом случае гетеродин лучше отключить, так же как и систему АРУ.

На рис. 14.3 приведена схема измерения избирательности. Выходной измеритель - это либо вольтметр постоянного тока, либо ВЧ-вольтметр (или вольтметр постоянного тока с детекторной головкой), подключенный непосредственно перед детек-

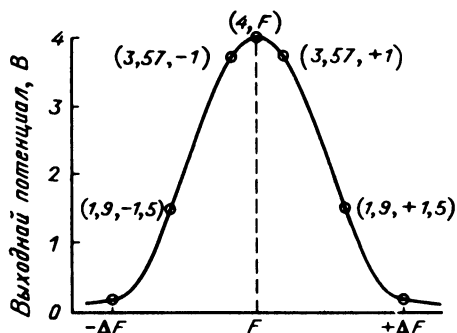


Рис. 14.4. График измеренной амплитудно-частотной характеристики.

Таблица 14.1. Данные для измерений избирательности

-F	V	дБ	+F	V	дБ
0	4,00	0	+1	3,57	-1
-1	3,57	-1	+1,5	1,90	-6,5
-1,5	1,90	-6,5	+2	0,25	-24
-2	0,25	-24	+3	0,016	-48
-3	0,016	-48	+4	0,010	-52
-4	0,010	-52	+5	0,007	-55
-5	0,007	-55			

торным каскадом приемника. В случае АМ-приемника можно использовать вольтметр переменного тока, подключенный к выходной нагрузке. В последнем случае требуется модулируемый генератор сигналов.

1. Установите приемлемый уровень выходного сигнала от генератора, настройте его на промежуточную частоту по максимальному показанию измерительного прибора.

2. Заметьте уровень выходного напряжения и частоту сигнала на выходе генератора.

3. Измерьте выходное напряжение на частотах, одинаково отстоящих вверх и вниз от центральной частоты. Внесите полученные данные в таблицу для построения графика (табл. 14.1).

4. Постройте график зависимости уровня выходного сигнала от частоты, как показано на рис. 14.4. Обычно избирательность определяется как разность частот в герцах или килогерцах между точками, соответствующими снижению уровня сигнала на 6 дБ (по напряжению) в сравнение с сигналом на центральной частоте. (Заметим, что -6 дБ по напряжению соответствует -3 дБ по мощности.)

Избирательность приемника может зависеть от режима работы, а также при необходимости перестраиваться с помощью специальных методов. Зачастую описанная выше методика требует значительных затрат времени. Более удобен метод качающейся частоты.

Метод качающейся частоты

В методе качающейся частоты используется генератор качающейся частоты (или генератор ЧМ-сигналов) для периодического изменения (качания) частоты в окрестности промежуточной частоты. На рис. 14.5а приведена схема измерения. Иногда генератор качающейся частоты работает в радиодиапазоне и его сигнал подается на антенный вход приемника.

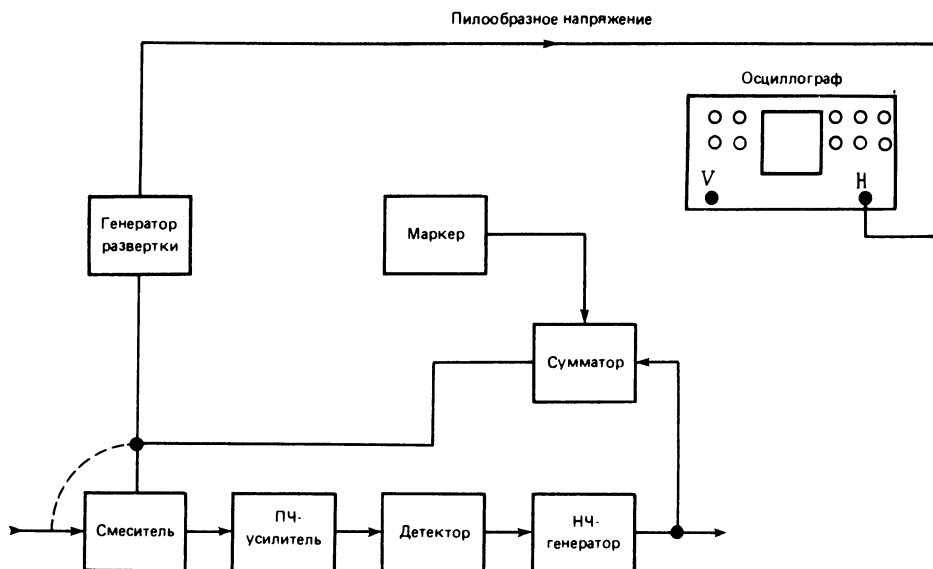


Рис. 14.5а Измерение частотных характеристик методом качающейся частоты.

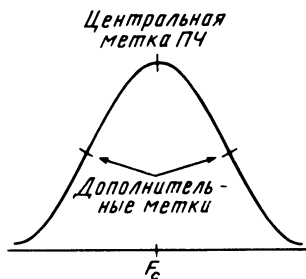


Рис. 14.5б. Амплитудно-частотная характеристика, полученная на экране осциллографа.

Звуковой вход приемника, выходы опорного генератора и генератора качающейся частоты объединяются в один общий выход, сигнал с которого подается на вертикальный вход осциллографа. Опорный генератор создает метки на заданных частотах внутри рабочей полосы (рис. 14.5б).

В методе качающейся частоты обычно используются метки и регуляторы горизонтальной развертки для калибровки шкалы на экране осциллографа в килогерцах на деление. Такая калибровка позволяет считывать значение частотной полосы непосредственно с экрана осциллографа. Уровень -6 дБ соответствует точ-

кам, в которых напряжение уменьшается вдвое по сравнению со значением на центральной (промежуточной) частоте. Эти точки иногда называют уровнем половинной мощности.

ОТКЛИК НА ПОМЕХУ ОТ ЗЕРКАЛЬНОГО КАНАЛА

Выше упоминалось о проблеме помех от зеркального канала в супергетеродинных приемниках. Одним из основных критериев качества радиоприемников является степень подавления этих помех. В самом деле, дешевые коротковолновые радиоприемники столь плохи в этом отношении, что зачастую очень трудно отличить полезный сигнал и сигнал зеркального канала, особенно на частотах выше 15 МГц. Помеха от зеркального канала подавляется с помощью высокодобротного контура повышенной селективности на входе усилителя высокой частоты и увеличения промежуточной частоты. Например, при промежуточной частоте 9 МГц зеркальный канал отстоит от основной принимаемой частоты на 2×9 МГц, т. е. 18 МГц. Для промежуточной частоты 455 кГц это расстояние составит всего 0,91 МГц. Процедура измерения рассматриваемой характеристики следующая:

1. Настройте приемник и генератор сигналов на одну частоту. Установите амплитуду выходного сигнала генератора на уровне, достаточном для проведения измерений напряжения на выходе приемника. Обычно это соответствует амплитуде напряжения на выходе генератора около 50 мкВ. Обозначим этот потенциал V_1 .

2. Запишите значения напряжений на выходах генератора и приемника.

3. Плавнo перестройте генератор на частоты $BЧ + 2ПЧ$ и $BЧ - 2ПЧ$, где $BЧ$ - исходная частота генератора, $ПЧ$ - промежуточная частота, пока не появится сигнал на выходе приемника. Тщательно настройтесь на максимум, изменяя частоту генератора (настройку приемника не изменяйте!).

4. С помощью аттенюатора на выходе генератора установите выходное напряжение приемника равным V_1 (см. п.1). Соответствующее напряжение в микровольтах на выходе генератора обозначьте V_2 . Затем определите подавление помехи от зеркального канала по стандартной формуле

$$дБ = 20 \lg(V_2 / V_1).$$

Таким образом определяется отклик радиоприемника на помеху от зеркального канала. Заметим, что помеха от зеркального канала может лежать ниже и выше этой частоты, в зависимости от того, ниже или выше этой частоты лежит частота гетеродина. На частотной шкале зеркальная помеха и полезный

сигнал всегда расположены симметрично относительно частоты гетеродина.

НАСТРОЙКА АМ-ПРИЕМНИКА

При настройке простых приемников АМ-сигналов используется генератор, подключенный к антенному входу, и вольтметр переменного тока подключенный к выходной нагрузке. Сигнал на выходе генератора должен быть промодулирован с коэффициентом модуляции 30%, а его амплитуда должна быть достаточна для проведения измерений, но не вызывать перегрузку приемника. Установите одинаковые частоты на шкале генератора и приемника.

1. Добейтесь максимального выходного сигнала подстройкой гетеродина.

2. Добейтесь максимального выходного сигнала подстройкой УВЧ.

3. Добейтесь максимального выходного сигнала подстройкой трансформаторов ПЧ, если они есть.

4. Уменьшайте сигнал на выходе генератора, пока не услышите шум на выходе приемника.

5. Повторите пп. 1 - 4 несколько раз, пока они ведут к улучшению.

Приведенная обобщенная процедура применима в большинстве приемников. Некоторые производители могут рекомендовать модифицированные варианты.

ГЛАВА 15

ТЕСТИРОВАНИЕ РАДИОПЕРЕДАТЧИКОВ

Радиопередатчик или передающий блок присоединения к антенне формирует относительно мощный ВЧ-сигнал на рабочей частоте станции. Выходная мощность может простирается от сотен милливатт до мегаватт. Из-за отсутствия какой-либо “типичной” схемы радиопередатчика обсудим в этой главе некоторые общие моменты, знание которых поможет в вашей работе.

ЭКВИВАЛЕНТНЫЕ НАГРУЗКИ

В США, как и во многих других странах, запрещено (кроме особо оговоренных случаев) проводить измерение параметров радиопередатчика при подключенной антенне, чтобы предотвратить возможные помехи для других станций. В таких случаях необходимо подключить к передатчику эквивалентную нагрузку, т. е. неизлучающую “искусственную” антенну. Эквивалентная нагрузка может понадобиться и в других случаях. Например, некоторые измерения некорректны при подключенной антенне вследствие неидеальности ее импеданса (обычно это связано с наличием реактивной составляющей). В таких случаях практически идеальная эквивалентная нагрузка позволяет провести точные измерения характеристик передатчика.

Эквивалентная нагрузка представляет собой безындуктивное сопротивление, поглощающее энергию, излучаемую передатчиком. Сопротивление должно быть безындуктивным, равным выходному импедансу передатчика. Поскольку большинство современных промышленных антенн имеет сопротивление 50 Ом, эквивалентные нагрузки, поступающие в продажу, также в основном имеют сопротивление 50 Ом. Сопротивления других номиналов могут быть получены по специальному запросу или изготовлены в мастерской. В некоторых АМ-передатчиках требуется подключение дополнительных сопротивлений к эквивалентной нагрузке.

Эквивалентные нагрузки, которые могут работать при номинальной поглощаемой мощности неограниченное время, встреча-

ются довольно редко. Большинство рассчитано на работу по определенному циклу, который следует изучить перед подключением нагрузки. Типичным является цикл, включающий двухминутную работу при номинальной мощности и пятиминутный перерыв. Иногда устройство может быть снабжено специальным графиком, определяющим зависимость допустимого времени работы от приложенной мощности.

Поглощающий ваттметр, который можно встретить в некоторых ремонтных мастерских, представляет собой эквивалентную нагрузку и ВЧ-ваттметр в едином корпусе. Зачастую такой прибор очень хорошо подходит для ремонта оборудования благодаря компактности и отсутствию лишних проводов. Однако, вообще говоря, эквивалентная нагрузка и ВЧ-ваттметр должны быть выполнены отдельно. В качестве примера можно привести прибор, используемый для ремонта передвижных и морских передатчиков.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ МОДУЛЯЦИИ

Модулирующий сигнал изменяет параметры ВЧ-радиосигнала для передачи информации. Модуляция может осуществляться с помощью речевых сигналов, а также аналоговых и цифровых сигналов. В большинстве систем связи процесс модуляции реализуется изменением трех основных характеристик несущего сигнала: амплитуды, частоты или фазы. Мы рассмотрим амплитудную модуляцию (АМ), модуляцию с одной боковой полосой (ОБП) и частотно-фазовую (ЧМ/ФМ) модуляцию.

Измерители девиации частоты ЧМ-сигнала

Зависимость между амплитудой звукового сигнала и параметрами ЧМ-сигнала на выходе передатчика показана на рис. 15.1а. Когда амплитуда модулирующего сигнала равна нулю, выходная частота F_0 является несущей частотой передатчика. Когда амплитуда звукового сигнала начинает возрастать, принимая положительное значение, частота несущей возрастает до F_h . Аналогично при отрицательных значениях амплитуды частота несущей уменьшается до F_L . Количественной мерой частотной модуляции является девиация частоты, которая определяется как разность $F_h - F_0$ (положительная девиация) или $F_L - F_0$ (отрицательная девиация).

На рис. 15.1б приведена простая блок-схема прибора для измерения девиации частоты ЧМ/ФМ-сигналов. В целом его можно охарактеризовать как супергетеродинный приемник ЧМ-сигналов с вольтметром постоянного тока, подключенным к вы-

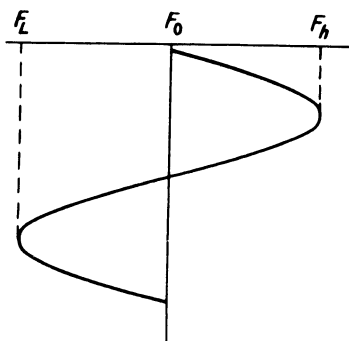


Рис. 15.1а. Зависимость частоты ЧМ-сигнала от амплитуды модулирующего сигнала.

ходу частотного дискриминатора. Амплитудно-частотная характеристика дискриминатора имеет S-образную форму (рис. 15.1в). Потенциал на одном из выходов дискриминатора положителен и пропорционален положительной девиации. Потенциал на другом выходе отрицателен и пропорционален отрицательной девиации. При конструировании измерителя девиации следует взаимно согласовывать характеристики дискриминатора и частотную полосу УПЧ так, чтобы прибор работал на линейном участке S-образной характеристики.

Измерители девиации ЧМ-сигналов с перестраиваемым гене-

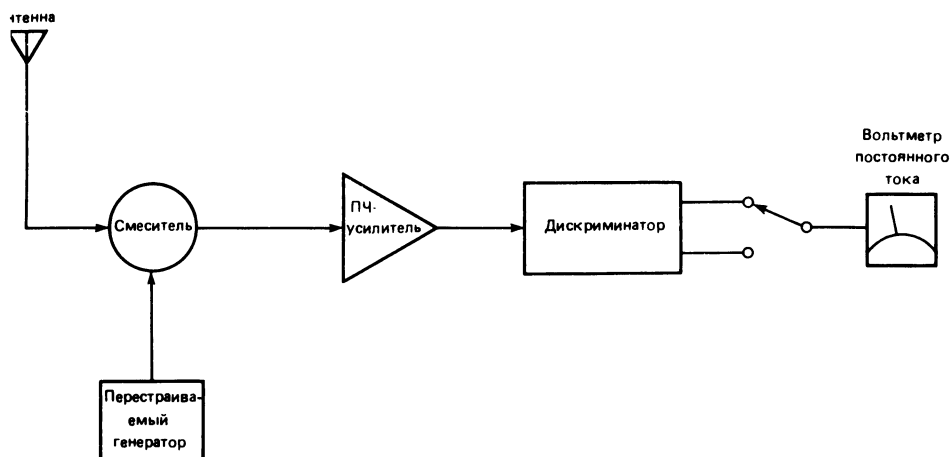


Рис. 15.1б. Блок-схема измерителя девиации ЧМ-сигнала.

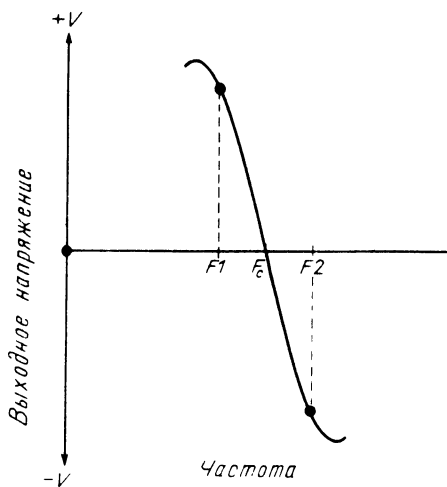


Рис. 15.1в. Амплитудно-частотная характеристика частотного дискриминатора.

ратором может также включать систему автоматического контроля частоты для облегчения процесса измерения. Перестраиваемый генератор настраивается при включенном передатчике так, чтобы индикатор системы автоматического контроля частоты давал нулевое показание. Затем передатчик переключается в режим модуляции и измеряется девиация частоты.

Термин “стопроцентная глубина (коэффициент) модуляции” имеет однозначный смысл для амплитудной модуляции, но при частотной/фазовой модуляции он определяется с помощью произвольного соглашения. Например, для систем ЧМ-радиовещания 100%-ная глубина модуляции соответствует девиации 75 кГц, а при звуковой модуляции телевизионных сигналов (ЧМ-модуляции) соответствующая девиация частоты составляет 250 кГц. В передвижных и любительских системах радиосвязи 100%-ная глубина модуляции соответствует девиации от 5 до 15 кГц.

Удобным индикатором при измерении является осциллограф. Поскольку напряжение на выходе дискриминатора пропорционально частоте, вертикальную шкалу осциллографа можно откалибровать в единицах девиации частоты. Это позволяет измерять как мгновенную девиацию, так и наблюдать ее временное распределение.

Измерение параметров АМ-сигналов

В системах с амплитудной модуляцией звуковой сигнал налагается на сигнал несущей частоты, изменяя ее форму (рис.

15.2а). Участок А представляет немодулированную ВЧ-несущую, а на участках В и С несущая промодулирована и имеет соответственно минимальную и максимальную амплитуды. Форму промодулированного сигнала можно наблюдать на экране осциллографа, используя специальный ВЧ-зонд или одновитковую петлю (рис. 15.1б). Если имеется эквивалентная антенная нагрузка, то зонд можно смонтировать внутри экранирующего корпуса нагрузки (рис. 15.2в) и соединить его с байонетным разъемом для подключения к осциллографу.

Генератор развертки осциллографа подстраивается таким образом, чтобы на экране помещались один или два периода модулирующего сигнала. Коэффициент (глубина) модуляции определяется соотношением

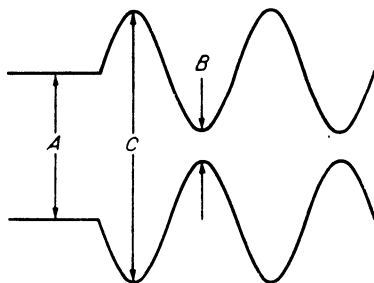


Рис. 15.2а. АМ-сигнал и его параметры, определяющие коэффициент модуляции.

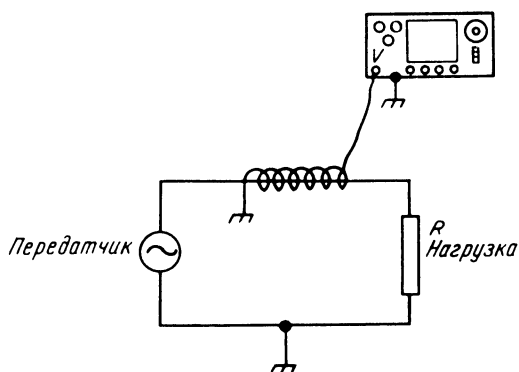


Рис. 15.2б. Зонд для наблюдения сигнала на экране осциллографа.

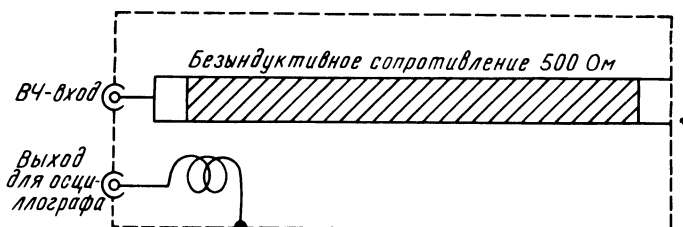


Рис. 15.2в. Размещение зонда в корпусе эквивалентной нагрузки.

$$\text{Mod} = 100\% (C - B) / (C + B).$$

ПРИМЕР. Коэффициент модуляции измеряется с помощью осциллографа. Максимальный размах $C = 8$ см, минимальный размах $B = 2,6$ см. Чему равен коэффициент модуляции?

$$\text{Mod} = 100\% (C - B) / (C + B) = 100\% (8 - 2,6) / (8 + 2,6) = 5,4 \times 100\% / 10,6 = 540 / 10,6 = 50,9\%.$$

Другой метод определения коэффициента модуляции показан на рис. 15.3а. ВЧ-сигнал подается на вертикальный вход осциллографа, а звуковой сигнал - на горизонтальный). Трапецидальная картина, показанная на рис. 15.3б, возникает при синусоидальном модулирующем сигнале. Используя рис. 15.3б, можно вычислить коэффициент модуляции:

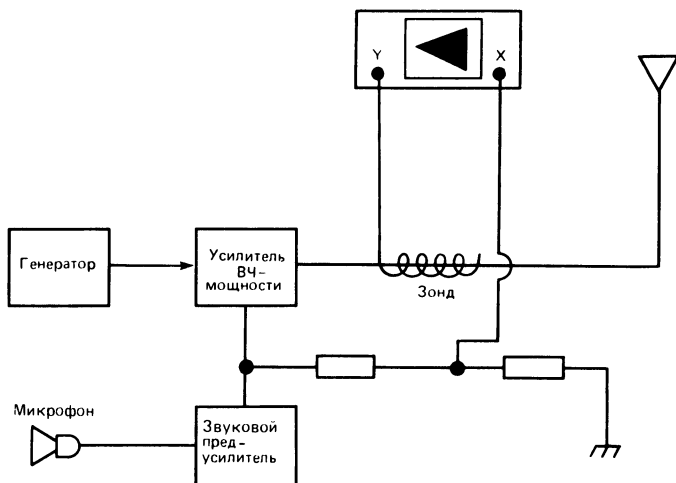


Рис.15.3а. Схема измерения коэффициента модуляции с помощью трапецидальной картины.

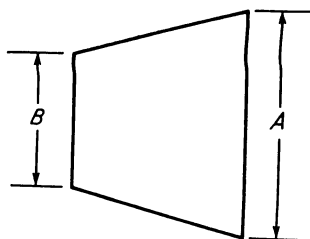


Рис.15.36. Трапецидальная модуляционная картина.

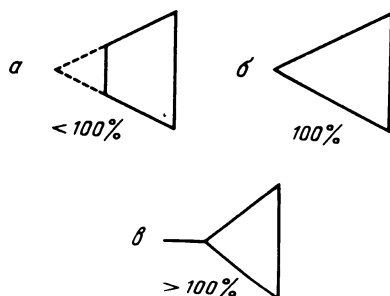


Рис. 15.4. Трапецидальные картины: а - при неполной модуляции, б - при 100 %-ной модуляции, в - при перемодуляции.

$$\text{Mod} = 100\% (A - B) / (A + B).$$

ПРИМЕР. Определить коэффициент модуляции, если $A = 5$ см, $B = 1,5$ см.

$$\text{Mod} = 100\% (5 - 1,5) / (5 + 1,5) = 3,5 \times 100\% / 6,5 = 350 / 6,5 = 53,8.$$

На рис. 15.4 приведены трапецидальные картины при неполной модуляции (рис. 15.4,а), 100%-ной модуляции (рис. 15.4,б) и перемодуляции (рис. 15.4,в).

Измерение параметров ОБП-модуляции

Передатчик, работающий в режиме передачи с одной боковой частотой (с подавленной несущей), представляет собой частный случай АМ-передатчика. На рис. 15.5,а показан частотный спектр АМ-сигнала, промодулированного со звуковой частотой 1000 Гц. Для простоты вычислений частота несущей выбрана 1000 кГц, что соответствует диапазону АМ-радиовещательных передач.

Амплитудная модуляция (включая ОБП-модуляцию) основана на перемножении звукового и ВЧ-сигналов, в результате такого гетеродинирования образуются суммарные и разностные частоты.

Эти частоты лежат в радиодиапазоне и называются боковыми частотными полосами. На рис. 15.5,а показаны частота несущей 1000 кГц, суммарная частота F_2 (называемая также верхней боковой полосой) и разностная частота F_1 (называемая также нижней боковой полосой).

В ОБП-передатчиках несущая частота и одна из боковых частотных полос подавляются с помощью фазирования или фильтрации, а передача ведется только в одной боковой полосе. На рис. 15.5,б и 15.5,в показаны частотные спектры сигналов на выходе передатчиков, работающих в верхней и нижней боковых полосах соответственно. Обратите внимание, что в обоих случаях одна из боковых полос и несущая полностью подавлены, что позволяет сконцентрировать всю выходную мощность передатчика в информационном сигнале.

Все каскады ОБП-передатчиков, следующие за модулятором (усилительные каскады), должны обладать хорошей линейностью. В противном случае возникнут сильные искажения. Это не относится к обычным АМ-передатчикам с высоким уровнем модуляции, где модуляция осуществляется в последнем усили-

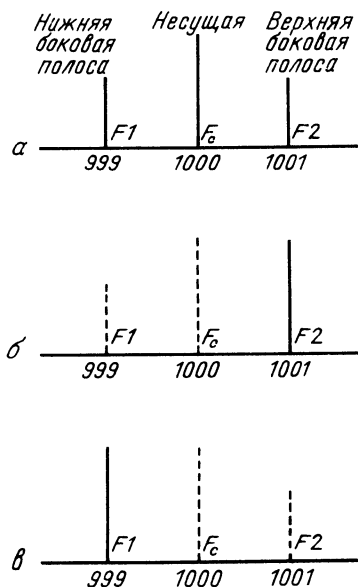


Рис. 15.5. Спектр АМ- и ОБП-сигналов, промодулированных синусоидальным сигналом на звуковой частоте: а - АМ-сигнал, б - сигнал в верхней боковой полосе, в - сигнал в нижней боковой полосе.

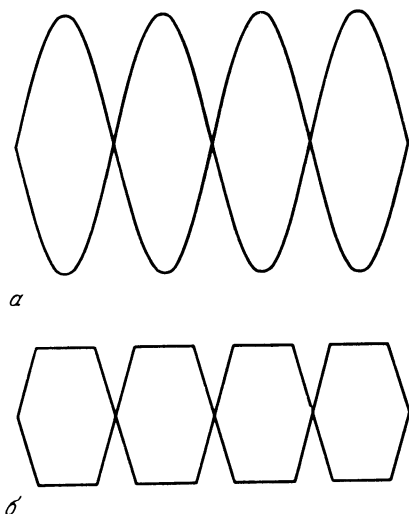


Рис. 15.6. Нормальный и перемодулированный ОБП-сигналы с двухчастотной модуляцией: а - нормальная огибающая ОБП-сигнала, б - искаженная огибающая ОБП-сигнала.

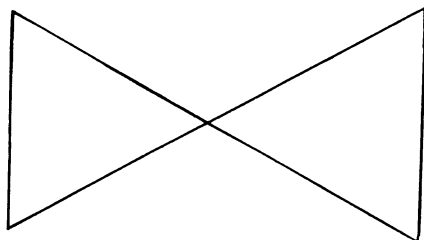


Рис. 15.7. Картина типа двоечных треугольников при тестировании ОБП-сигнала с двухчастотной модуляцией.

тельном каскаде. Вследствие такого условия при тестировании ОБП-передатчиков необходимо использовать двухчастотный контрольный сигнал. Две частоты используются для модуляции, а выходной сигнал исследуется на наличие интермодуляционных частот. Кроме того, контролируется форма выходного сигнала. На рис. 15.6,а показана нормальная огибающая двухчастотного ОБП сигнала, а на рис.15.6,б - искаженная. Термин "100 %-ный коэффициент модуляции" в случае ОБП-сигналов не имеет такого естественного физического смысла, как в случае АМ-сигналов. На практике уровень звукового усиления в модуляторе повышают, пока не возникнут искажения выходного сигнала, после чего усиление снижается вплоть до их исчезновения.

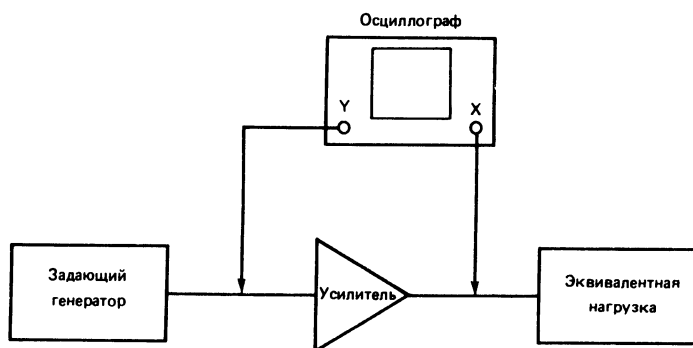


Рис. 15.8а. Схема проверки линейности усилителя.

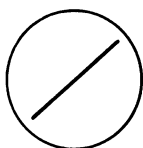


Рис. 15.8б. Тестовая картина для линейного усилителя.

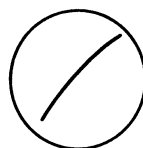


Рис. 15.8в. Тестовая картина при наличии нелинейности.

Интермодуляционные искажения проявляются в появлении частот, отличных от двух модулирующих, что можно обнаружить с помощью спектроанализатора.

Контроль качества ОБП-сигнала осуществляется с помощью схемы типа показанной на рис. 15.3а. Выход ВЧ-усилителя соединяется с вертикальным входом осциллографа, а звуковой сигнал подается на горизонтальный вход. Результирующая картина в случае двухчастотной модуляции имеет вид двоянных треугольников (рис. 15.7). Искажения проявятся в виде загибов на краях картины. Этот метод используется и для контроля линейности ВЧ-усилителей.

На рис. 15.8а показана другая схема для проверки линейности ВЧ-усилителя в ОБП-передатчике с использованием фигур Лиссажу. На горизонтальном и вертикальном каналах осциллографа устанавливаются примерно одинаковые амплитуды отклонения. Результирующая картина для линейного усилителя приведена на рис. 15.8б, а для нелинейного - на рис. 15.8в. Фазовые сдвиги выразятся в утолщении линии на экране осциллографа, а при больших сдвигах - в появлении овальной траектории на экране осциллографа.

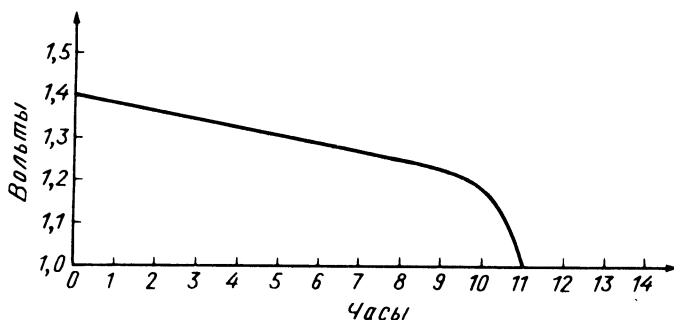
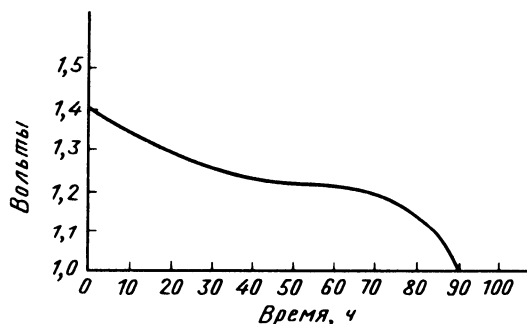
ГЛАВА 16

ЭЛЕМЕНТЫ ПИТАНИЯ В ЭЛЕКТРОННЫХ ПРИБОРАХ

В электронных приборах часто используются различные элементы питания. Хотя данная книга посвящена радиопередатчикам и приемникам, в настоящей главе рассматривается ряд примеров из других областей электроники, в частности медицинские электронные приборы. Это может вызвать возмущение ряда читателей, но общие принципы не зависят от назначения оборудования! Лучше рассмотреть “живой” пример из практики, чем что-то выдумывать. Ситуации часто сходны, и это позволяет применять приобретенные знания на практике.

Автор в течение многих лет работал с биоэлектронным оборудованием в университетских центрах восточного побережья. Элементы питания находили самое разнообразное применение. В некоторых приборах автономное питание использовалось для портативности. Дефибриллятор, например, может потребоваться в любом месте - человек не выбирает место, где у него может произойти сердечный приступ. Большинство наших дефибрилляторов работали от переменного питания или были рассчитаны на два типа питания, но были и модели с питанием только от батарей. На автономном питании работали и некоторые мониторы, контролирующие состояние больных. Они использовались для контроля электрокардиограмм и давления крови во время перемещения больных между палатами, например, из приемной в реанимационную. Иногда батареи применяются из соображений безопасности. Компьютер, контролирующий состояние больного, получает сигналы от датчика, введенного в сердце пациента. Небольшая утечка переменного тока может иметь здесь фатальные последствия, а элементы питания позволяют полностью изолировать прибор от сети переменного тока.

Строго говоря, базовым является элемент питания, имеющий минимальное выходное напряжение. Увеличение выходного напряжения достигается последовательным соединением нескольких элементов, если же требуется повышенный ток, то элементы необходимо соединить параллельно. Отдельные элементы так и называются элементами питания, а несколько соединенных вме-

Рис. 16.1а. График разрядки при токе $A\text{-ч}/10$.Рис. 16.1б. График разрядки при токе $A\text{-ч}/1$.

сте элементов составляют батарею. Однако мы не будем столь строги и ниже будем использовать термин “батарея”.

В этом разделе в основном будут рассматриваться никель-кадмиевые батареи, используемые в портативной аппаратуре. Для заряженной никель-кадмиевой батареи номинальное выходное напряжение равно 1,2 В. Непосредственно после зарядки напряжение на выходе разомкнутой батареи равно 1,4 В. Однако вскоре после включения в цепь выходное напряжение разомкнутой батареи падает до номинального значения 1,2 В. По мере разрядки выходное напряжение снижается.

Никель-кадмиевые батареи могут перезаряжаться и обычно выдерживают 1000 циклов перезарядки до выхода из строя. Как правило, согласно спецификациям, батарея считается вышедшей из строя, когда ее емкость падает ниже 80% номинальной.

Емкость батареи измеряется в ампер-часах, т. е. произведением тока батареи на время, за которое произошла разрядка до определенного уровня. Никель-кадмиевые батареи могут созда-

вать огромные токи. Например, батареи типа D (4 А-ч) и F (7 А-ч) на короткое время могут создавать токи более 50 А, поэтому они используются в медицинских дефибрилляторах и некоторых портативных радиопередатчиках средней мощности. Вследствие значительных создаваемых токов никель-кадмиевые батареи следует подключать с плавкими предохранителями для защиты электрических цепей. Автору приходилось видеть “испарившиеся” проводящие дорожки печатных плат и выключатели в результате замыкания конденсатором цепи постоянного тока.

Время работы батареи определяется временем зарядки, которое в свою очередь зависит от тока батареи. На рис. 16.1 показаны два графика разрядки. В одном случае ток составляет 1/10 численного значения емкости, в другом - ток численно равен значению емкости. В первом случае (рис. 16.1а) батарея полностью разрядится за 10 ч, во втором (рис. 16.1б) - за 1 ч. Этот график построен для характеристик батареи типа D емкостью 4 А-ч.

В качестве примера приведем ряд стандартных значений емкости никель-кадмиевых батарей:

Тип батареи	Емкость, А-ч
AA	0,4/0,5/0,7
C	2
D	4
F	7

Таким образом, емкость батарей типа AA может лежать в диапазоне от 400 до 700 мА-ч в зависимости от конкретной конструкции. Параметры батарей других типов могут иметь значительный разброс. Этому особенно подвержены никель-кадмиевые батареи. Емкость батарей типа C может составлять 1 - 1,2 А-ч, а типа D - 2 А-ч. По-видимому, это объясняется просто-напросто тем, что изготовители иногда путают маркировку или упаковку батарей. Один представитель изготовителя, с которым мне пришлось беседовать, считает вполне возможным, что батареи типа D на самом деле были батареями типа C, упакованными в корпуса для батарей типа D.

Эти недоразумения не очень существенны для потребителя, так как обычно компенсируются снижением стоимости. Но при работе с коммерческим медицинским или радиовещательным оборудованием следует быть внимательным к его паспортным характеристикам. Мой личный опыт говорит, что паспортным данным батарей Could можно доверять, чего, к сожалению,

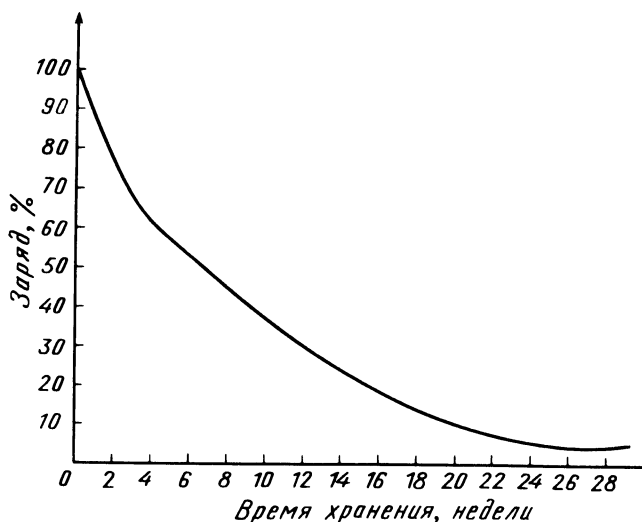


Рис. 16.2. Разрядка батареи в результате длительного хранения.

нельзя сказать о других. Лучше лишний раз проверить, что в дефибриляторе стоит требуемая батарея емкостью 4 А-ч, а не 2 А-ч. Ведь от этого зависит чья-то жизнь.

Возможны также вариации в определении параметров разрядки батарей. Стандартный метод определения емкости в ампер-часах заключается в измерении тока, при котором выходная разность потенциалов снижается на 1 В за 1 ч. Некоторые производители проводят измерения параметров разрядки за 10 ч. Проанализировав графики на рис. 16.1а и 16.1б, легко убедиться, что это ведет к неоднозначному определению емкости батареи.

Ток и время зарядки никель-кадмиевых батарей зависят от ряда конкретных деталей. В общем ток зарядки должен составлять как минимум А-ч/20, для многих типов батарей рекомендуется ток зарядки А-ч/15. В большинстве случаев допустимым является ток А-ч/10, т. е. в процессе зарядки ток не должен превышать 1/10 численного значения емкости батареи. Кроме того, полный заряд должен составлять 140% емкости батарей, что соответствует времени зарядки 14 ч. Таким образом, общее правило гласит:

Ток зарядки А-ч/10, время зарядки 14 ч.

Некоторые зарядные устройства сконструированы для быстрой зарядки в течение 3 - 4 ч или даже 10 ч. Быструю зарядку следует производить только в том случае, если это рекомендуется инструкцией. Но и тогда надо соблюдать осторожность - при слишком быстрой зарядке батареи могут взорваться. Строго соблюдайте инструкции - никель-кадмиевые батареи могут представлять опасность.

Никель-кадмиевые батареи разряжаются и в отключенном состоянии. Иногда пользователи вдруг обнаруживают, что заряженная ранее батарея не обеспечивает необходимый потенциал, хотя и не использовалась. На рис. 16.2 показана кривая разрядки обычной никель-кадмиевой батареи при длительном хранении. Видно, что даже несколько недель хранения существенно влияют на ее работоспособность. Как-то медсестры, работавшие в палате для новорожденных, горько жаловались на один прибор, а заодно и на мою неспособность его отремонтировать, хотя его просто надо было подключить к зарядному устройству. В таких случаях рекомендуется медленная зарядка при токе А-ч/30 или А-ч/50. Некоторые коммерческие зарядные устройства снабжены переключателем, позволяющим переходить от обычного режима зарядки при токе А-ч/10 к медленной зарядке при токе А-ч/30.

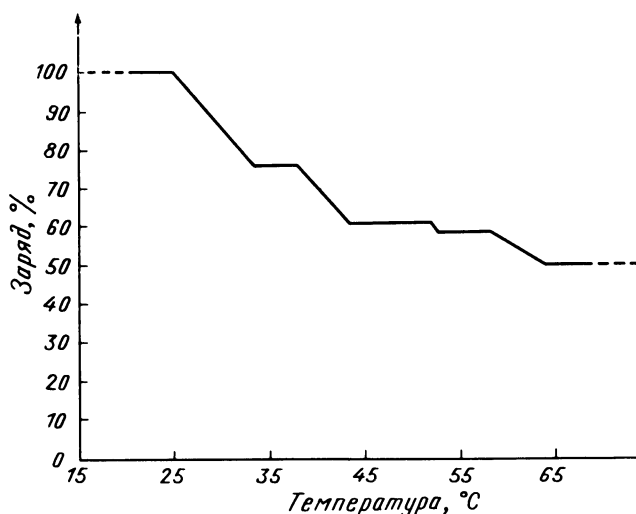


Рис. 16.3. Зависимость емкости батареи от температуры.

Еще одна проблема - рабочая температура и ее влияние на емкость. Как видно на рис. 16.3, емкость батареи зависит от рабочей температуры. С повышением температуры выше комнатной (25 градусов) емкость батареи падает.

"ПАМЯТЬ" НИКЕЛЬ-КАДМИЕВЫХ БАТАРЕЙ

Возможно, вам приходилось слышать об эффекте памяти никель-кадмиевых батарей. Этот эффект заключается в снижении емкости батареи после нескольких циклов с неполной разрядкой. Например, если батарея несколько раз подряд проходила цикл восстановления после разрядки до 80 %, то она запоминает уровень разрядки 80 % в качестве полностью разряженного состояния. В результате потенциал батареи, заряженной на 80 %, будет соответствовать потенциалу полностью разряженной "нормальной" батареи. Таким образом, будет казаться, что батарея преждевременно вышла из строя. Иногда эту проблему можно решить путем нескольких циклов полного восстановления и немедленной полной разрядки, что приводит к исчезновению эффекта памяти.

Самый лучший способ предотвращения эффекта памяти - профилактика. Один мой приятель страдал от постоянных болей и поэтому пользовался электронным генератором импульсов, называемым электронным стимулятором нервной системы, который помогает снизить такие боли. Прибор, применяемый по назначению врачей, работал на миниатюрных никель-кадмиевых батареях. Мой приятель жаловался, что батареи стоимостью 90 долл. хватало всего на несколько недель. Расспросив его, я выяснил, что он регулярно, каждую ночь подключал прибор к зарядному устройству, даже если он им не пользовался, т. е. батарея многократно проходила цикл неполной разрядки, что и привело к эффекту памяти. Я посоветовал ему иметь две батареи, одну из которых в специальном футляре постоянно носить в портфеле про запас, а другую использовать в приборе. Замечу производить только в том случае, если прибор начинает хуже работать. В результате этот комплект батарей он использовал два года, а в среднем на каждую пришелся один год непрерывной работы вместо прежних шести недель. Существуют процедуры, позволяющие поддерживать батареи в исправном состоянии при их регулярном использовании. Большинство производителей оборудования рекомендует периодически разряжать батареи с последующей зарядкой. Последовательность действий следующая:

1. Проведите полную зарядку батареи.
2. Проведите полную разрядку батареи через сопротивления

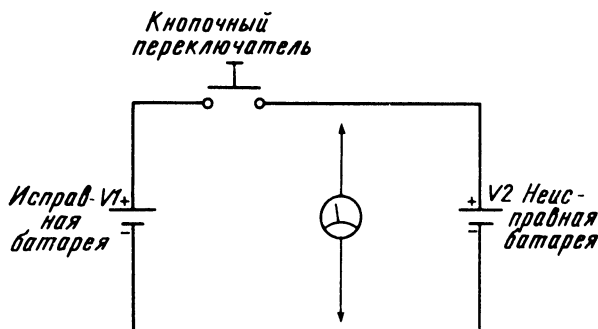


Рис. 16.4. "Взрывной" метод восстановления никель-кадмиевых батарей.

при токе $A\cdot ч/10$. Для многоэлементных батарей время разрядки 8 - 9 ч, для одноэлементных 10 ч.

3. Проведите зарядку батареи при токе $A\cdot ч/10$ в течение 14 - 16 ч.

При полной разрядке может произойти смена полярности батареи. Это объясняется тем, что не все элементы имеют одинаковые выходные напряжения в каждый момент времени. В результате один из элементов может быть заряжен с обратной полярностью другими последовательно включенными элементами. Поэтому многоэлементные батареи следует разряжать до 10 - 20 % полной емкости.

Не оставляйте батареи надолго в разряженном состоянии. Это может привести к образованию внутриэлементных замыканий вследствие "прорастания" так называемых дендритов, имеющих вид тонких усиков. Разность потенциалов между электродами элемента питания падает до нуля или почти до нуля, что препятствует зарядке элемента. В некоторых случаях такой элемент подлежит замене как испорченный, но иногда его можно спасти.

На рис. 16.4 показана схема для восстановления закороченных в результате образования дендритов никель-кадмиевых батарей. Принцип работы устройства основан на испарении дендритов. Заведомо исправная батарея такого же типа подключается параллельно закороченной через кнопочный выключатель. Использование кнопки является существенным, так как цепь нельзя замыкать на долгое время во избежание взрыва батареи. Если ток от батареи V1 испаряет дендриты в батарее V2, то напряжение на электродах должно возрастать.

ПРЕДОСТЕРЕЖЕНИЕ. Не забудьте использовать защитные очки или маску! Помните, что никель-кадмиевые батареи могут взрываться, если через них протекает большой ток, и это

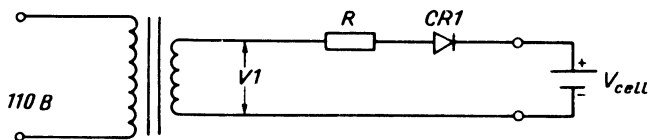


Рис. 16.5. Простое зарядное устройство для никель-кадмиевых батарей. $2 V(\text{cell}) < V_1 < 2,5 V(\text{cell})$, $R = (V_1 - V(\text{cell})) / (A\text{-ч}/3)$.

может случиться во время их восстановления. Сам я никогда с этим не сталкивался, но не готов поставить собственное зрение против того, что это не случается вообще.

ЗАРЯДКА НИКЕЛЬ-КАДМИЕВЫХ БАТАРЕЙ

Существует два основных режима и соответственно типа устройств зарядки никель-кадмиевых батарей: при постоянном токе и при постоянном напряжении. Независимо от типа устройства не рекомендуется зарядный ток выше $A\text{-ч}/10$, если только это не разрешено инструкциями производителей батарей (именно батарей, а не оборудования!). $A\text{-ч}/10$ - ток, численно равный $1/10$ емкости батареи в ампер-часах. Например, если емкость батареи типа AA 500 мА-ч, то оптимальный ток зарядки равен 50 мА. Аналогично при емкости 2 А-ч ток зарядки есть 200 мА-ч, при емкости 4 А-ч - 400 мА. Будьте внимательны, не перезаряжайте батареи при других значениях тока.

На рис. 16.5 показана простая схема зарядки при постоянном токе. Напряжение на вторичной обмотке трансформатора должно быть выше напряжения батареи (или элемента) в 2,5 раза или более. Сопротивление, включенное последовательно с диодом, подбирайте так, чтобы ток короткого замыкания был равен зарядному току $A\text{-ч}/10$. Эта схема является типовой для дешевых зарядных устройств.

На рис. 16.6 показаны два электронных зарядных устройства постоянного тока, выполненные на основе трехвыводных интегральных стабилизаторов напряжения. В перестраиваемой схеме (рис. 16.6а) используется микросхема LM-317 (ток до 1 А, сопротивление от 0,8 до 120 Ом) или LM-338 (ток до 5 А, сопротивление от 0,4 до 120 Ом). В обеих схемах требуется постоянное фильтруемое входное напряжение, превышающее напряжение заряженной батареи на несколько вольт. Конкретное значение напряжения не очень критично, если оно достаточно для работы схемы. Обычно входное напряжение превышает напряжение батареи на 3 В. Ток зарядки устанавливается с помощью сопротивления R. Например, чтобы установить ток за-

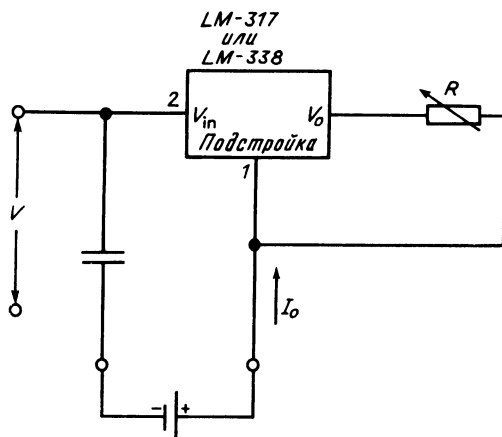


Рис. 16.6а. Зарядное устройство постоянного тока.

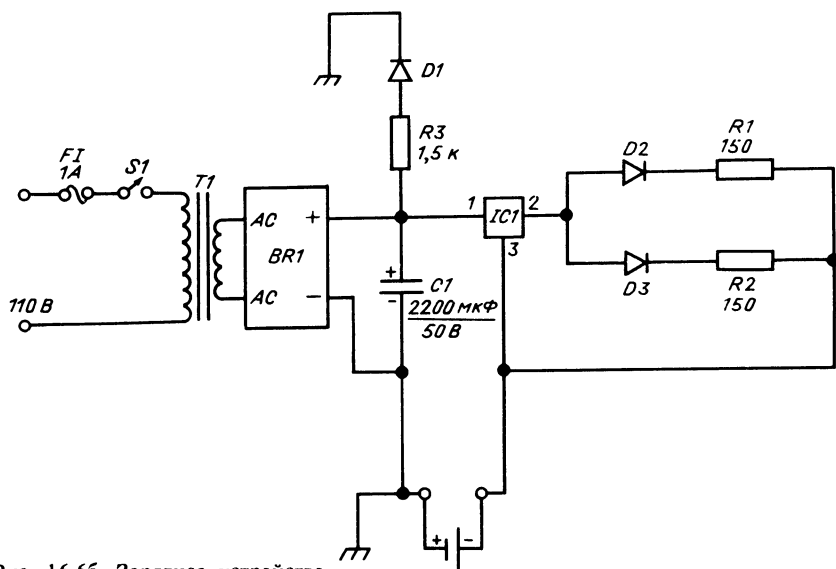


Рис. 16.6б. Зарядное устройство.

рядки 400 мА (для батареи емкостью 4 А·ч), следует выбрать $R = 1,2/I = 1,2/0,4 = 3$ Ом. Схема, показанная на рис. 16.6а, позволяет уменьшить зарядный ток до 10 мА, т. е. здесь могут быть реализованы режимы нормальной и медленной зарядки.

Схема, представленная на рис. 16.6б, предназначена для за-

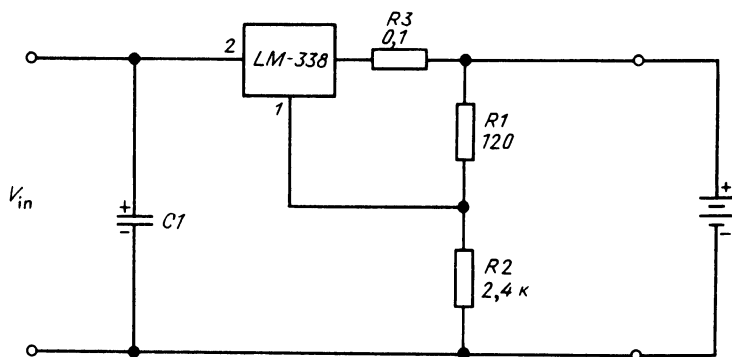


Рис. 16.7. Зарядное устройство.

рядки батарей емкостью до 4 А·ч и напряжением до 12 В. Устройство сходно с представленным на рис. 16.6а, но реализовано на стабилизаторах типа LM-309, LM-340-05 или 7805 с фиксированным напряжением 5 В.

Зарядное устройство, показанное на рис. 16.7, работает в режиме постоянного напряжения. Выходное напряжение определяется отношением сопротивлений R1 и R2:

$$V(\text{out}) = 1,25(R2/R1 + 1).$$

Последовательное сопротивление R3 ограничивает максимальный ток значением А·ч/10 в случае короткого замыкания. Выходное сопротивление зарядного устройства должно быть равно

$$Z(\text{out}) = V(\text{out})/I(\text{max}),$$

где V (out) - напряжение на разомкнутой батарее, I (max) - максимально допустимый ток зарядки. Если V = 12 В, а емкость батареи 4 А·ч то

$$Z(\text{out}) = 12/(4/10) = 300 \text{ Ом}.$$

Требуемое значение сопротивления R3 можно определить из решения уравнения для рис. 16.7. Мощность сопротивления должна составлять V(out) I(max).

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СТЕНДОВЫХ ИСТОЧНИКОВ ПИТАНИЯ

Стендовые источники питания не следует использовать для зарядки никель-кадмиевых батарей, если они не снабжены одновременно регуляторами выходного напряжения и тока. Выходное напряжение источника питания должно точно соответствовать потенциалу заряженной батареи, а регулятор тока должен огра-

ничивать его максимальное значение до $A \cdot \eta / 10$. Установив регуляторы в требуемое положение, можно подключать батарею.

МНОГОЭЛЕМЕНТНЫЕ БАТАРЕИ

В электронном оборудовании используются различные типы многоэлементных батарей. Наиболее распространены батареи с выходным напряжением 6, 12 или 24 В. В большинстве случаев батареи состоят из набора элементов типа АА, С и F. Для восстановления отдельные элементы можно вынуть из общего корпуса. Некоторые корпуса собраны на винтах или зажимах, другие склеены.

Мой знакомый, страдавший от сильных болей (я о нем рассказывал выше), использовал источники питания типа TENS стоимостью 90 долл. за комплект. Однажды мы осторожно вскрыли вышедшую из строя батарею. Оказалось, что батарея состоит из трех соединенных последовательно элементов типа АА. Мы отправились в магазин, где торговали элементами типа АА с контактами для пайки, и вернулись домой, истратив 18 долл. на элементы для новой батареи. Я показал, как производится пайка, а затем поместил соединенные элементы в пластмассовый корпус, который снова склеил. Этот источник питания проработал 18 месяцев.

Выбирая элементы для замены, не забудьте о нескольких дополнительных моментах. Во-первых, о соответствии типов элементов и емкостей (не все элементы С и D идентичны). Обратите также внимание на то, какие элементы требуются - обычные или с контактами для пайки. Некоторые никель-кадмиевые батареи имеют нестандартные корпуса. Один элемент типа АА может быть на несколько миллиметров короче другого, что может вызвать нарушения в работе прибора. Чтобы не использовать специальные зажимы, не деформировать контактные пружины, не покупайте такие элементы, пользуйтесь только стандартными образцами.

ДРУГИЕ ТИПЫ БАТАРЕЙ

В оборудовании для радиосвязи применяются и другие типы батарей. Для автомобильного и портативного оборудования используются свинцовые аккумуляторы, те самые, с помощью которых запускаются автомобильные двигатели. Очень тяжелые и опасные вследствие наличия кислоты, они тем не менее популярны, так как легко доступны и надежны. Кроме того, многие любительские радиоприемники и передатчики рассчитаны на постоянное питание 13,6 В.

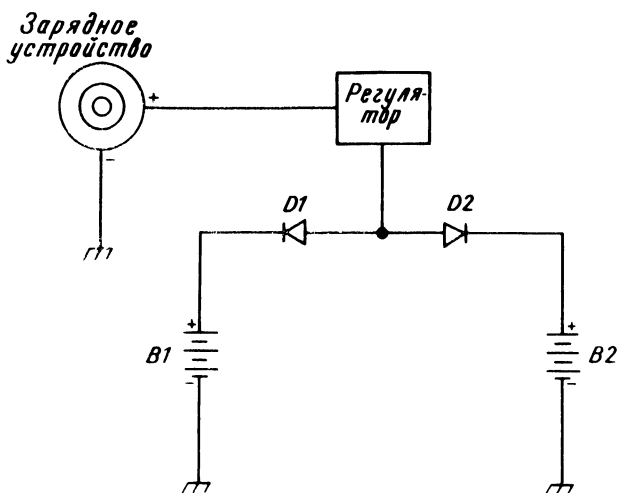


Рис. 16.8. Зарядное устройство для двух автомобильных аккумуляторов.

Кроме аккумуляторов на 13,6 В в продаже имеются аккумуляторы на 6, 24, 28 и 32 В. Они применяются на морских судах, в военном оборудовании (28 В), на тягачах. Выходное напряжение можно увеличить, соединив последовательно несколько аккумуляторов. Увеличение тока достигается параллельным соединением.

Обычно передвижная аппаратура питается от автомобильного аккумулятора. В некоторых случаях желательно иметь отдельный аккумулятор для этих целей на случай выхода из строя основного. Например, владельцам катеров, вездеходов и прочим искателям приключений можно рекомендовать схему, приведенную на рис. 16.8. Такая система часто применяется в "домах на колесах" для питания бытовых электроприборов. Идея состоит в том, чтобы сохранить питание для радиосвязи, даже если случайно (из-за невыключенных фар и т. п.) разрядится основной аккумулятор. Дополнительный аккумулятор также может быть использован для запуска машины и разрешения прочих проблем.

Зарядное устройство представляет собой генератор, установленный на машине. Конечно, в идеальном случае зарядные устройства и регуляторы должны быть отдельные, но на практике это не всегда достижимо. Поэтому мы остановились на схеме с одним зарядным устройством и регулятором для двух или более аккумуляторов. Взаимная развязка аккумуляторов обеспечивается двумя сильноточными кремниевыми диодами D1 и D2. Дио-

ды должны быть рассчитаны на ток, по крайней мере в 1,5 раза превышающий максимальный ток зарядки. Как правило, диоды имеют массивные корпуса и монтируются на профилированных радиаторах. Учтите, что в некоторых местах внутри автомобиля температура может быть повышенной, что может повлиять на надежность работы диодов.

При использовании свинцовых аккумуляторов для питания портативной аппаратуры необходимо предусмотреть возможность перезарядки. Часто для этих целей используется генератор, работающий на бензине или керосине. В каталогах такие генераторы называются "фабрики света". Иногда может потребоваться зарядное устройство для преобразования переменного выходного напряжения генератора в постоянное. Однако все большее применение находят небольшие генераторы мощностью от 500 до 2000 Вт, снабженные специальным выходом 12 В, 6 - 35 А для питания радиооборудования и зарядки аккумуляторов.

Можно использовать и другие источники энергии: ветряные, водяные и даже солнечные (это не так сложно, как может показаться на первый взгляд, особенно в отдаленных местах. Один шведский врач-миссионер работал в пустынях Судана. Обстановка была довольно мрачная - местность была усеяна трупами погибших животных. Организация, в которой состоял врач, не разрешала ему разбивать лагерь без установки приемопередатчика Stoner (6 МГц) и любительского приемопередатчика. Единственное, что есть в избытке на этих широтах, - солнце, поэтому для зарядки свинцовых аккумуляторов были приобретены солнечные батареи. В те времена (это было несколько лет назад) такая система зарядки, рассчитанная на максимальный ток 6 А, стоила 2300 долл., сегодня она, возможно, обойдется дешевле.

Уход за свинцовыми аккумуляторами относительно прост, но тем не менее необходим. Следует периодически проверять уровень воды в каждом элементе. В особо важных случаях уровень необходимо проверять раз в неделю. Лучше использовать дистиллированную воду (в ней меньше примесей), но обычная водопроводная вода тоже подойдет. Вентиляционные отверстия в колпачках, закрывающих аккумулятор, должны быть чистыми. Если они забиты грязью, то необходимо снять колпачок или прочистить.

ПРЕДОСТЕРЕЖЕНИЕ. При нормальной работе в свинцовых аккумуляторах образуется водород. При несоблюдении инструкций водород может вызвать взрыв, привести к серьезным травмам людей и порче оборудования. Никогда не заряжайте аккумулятор выше предписанного уровня. Перед тем как отсоединить провода, ведущие к аккумулятору, обязательно разомкните

электрическую цепь. Особенно это касается зарядных устройств. Если по цепи течет ток, то может проскочить искра и вызвать взрыв. К сожалению, это не фантазия автора, а реальная опасность.

ГЕЛЬНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ ПИТАНИЯ

Гельные элементы питания также часто применяются в портативном оборудовании. Я встречал такие аккумуляторы в коммерческом, медицинском и любительском радиооборудовании. Несколько лет назад я работал с медицинским оборудованием, предназначенным для транспортировки донорских почек. Если вам доводилось видеть людей с сильной почечной недостаточностью, то вы можете себе представить, что значит потерять донорскую почку. У нас это случилось из-за неисправного питания в транспортировочном контейнере. Фирма-изготовитель выслала нам усовершенствованное зарядное устройство, но оно оказалось с дефектом. Это было сложное устройство, чувствительное к небольшим изменениям потенциала, что позволяло определять степень разрядки. К сожалению, чувствительная аналоговая схема имела сильный дрейф, что вело к неверным показаниям. Расстроенный инженер нашей лаборатории вызвал вместо специалиста по зарядным устройствам представителя фирмы, производящей аккумуляторы. Представитель фирмы поинтересо-

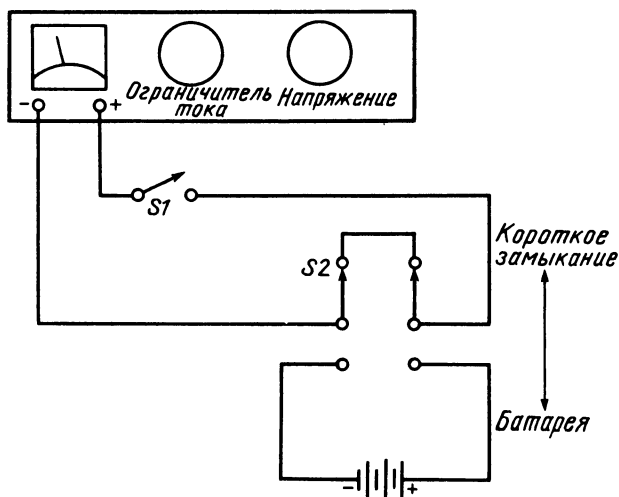


Рис. 16.9. Зарядка аккумулятора от устройства с регулируемым выходным постоянным напряжением и ограничителем тока.

вался, приходилось ли нам слышать о законе Кирхгофа. Полагаю, вы знаете этот закон и поэтому передаю полученный совет.

Схема на рис. 16.9 позволяет осуществлять зарядку гелевых элементов питания, а также батарей других типов без использования сложных и малонадежных устройств. Зарядное устройство должно обладать двумя возможностями: точной регулировкой выходного напряжения и ограничением выходного тока. Разомкнув ключ S1, установите выходное напряжение на уровне, соответствующем напряжению полностью заряженной батареи или чуть выше (на 100 - 200 мВ). Переведите ключ S2 в положение "короткое замыкание", после чего замкните ключ S1. Установите ток короткого замыкания на уровне максимально допустимого зарядного тока (для многих батарей этот ток равен $A \cdot ч / 10$). После этого переключите ключ S2 в положение "батарея". Батарея начнет заряжаться. Ток будет протекать по цепи до тех пор, пока потенциал батареи ниже выходного напряжения зарядного устройства. Когда эти потенциалы сравняются, ток прекратится.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Элементы питания обеспечивают портативность при эксплуатации оборудования но при неправильном обращении они могут быть источником досадных неприятностей. Залогом надежной работы является соблюдение технических инструкций.

ГЛАВА 17

НАСТРОЙКА И РЕМОНТ ОВЧ/УВЧ-ПРИЕМОПЕРЕДАТЧИКОВ

Устройства радиосвязи, работающие в ОВЧ/УВЧ-диапазонах, очень популярны. Сотни тысяч ОВЧ и УВЧ-приемопередатчиков, как правило, с частотной модуляцией работают в эфире и большинство из них рано или поздно попадают в ремонт. В этой главе мы рассмотрим некоторые схемы и методы ремонта и настройки ОВЧ (в основном ЧМ)-приемопередатчиков.

Многие из этих устройств работают на батареях, поэтому рекомендуется прочитать гл. 16, где описаны основные правила обращения с батареями. Неисправные батареи могут быть причиной ряда неполадок. Например, эффект “моторной лодки”, выражающийся в характерных звуковых помехах (на частоте около 1 Гц) на выходе, обычно является следствием плохого состояния батарей.

ОВЧ-ПРИЕМНИКИ ЧМ-СИГНАЛОВ

Типичный ОВЧ-приемник построен по супергетеродинной схеме с одинарным или двойным преобразованием частоты. Поскольку конструкция этих приемников сходна с другими, за исключением конечного детектирующего каскада, мы не будем на ней останавливаться. Читатель может обратиться к гл. 14, которая легко обобщается на ОВЧ/УВЧ-диапазоны. Здесь же мы рассмотрим схемы демодуляции.

Частотные детекторы

Чтобы понять различие между частотным, амплитудным и ОБП-детектором, необходимо проанализировать эти типы модуляции. При амплитудной модуляции звуковая информация накладывается на несущий сигнал таким образом, что изменяется его амплитуда (рис. 17.1). На рис. 17.1,а мы видим немодулированный несущий сигнал с постоянной амплитудой, а на рис. 17.1,б - синусоидальный звуковой сигнал с частотой 400 Гц. В

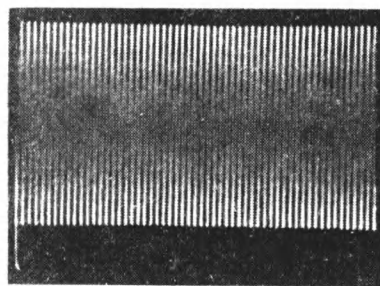
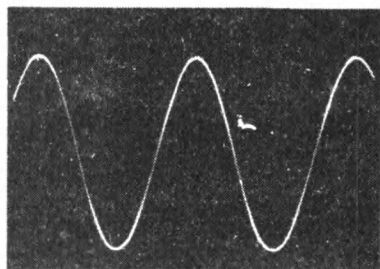
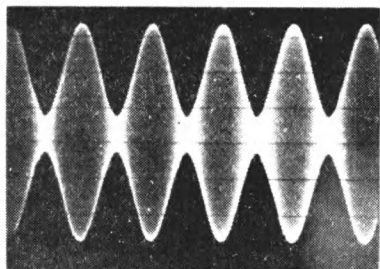
*a**б**в*

Рис. 17.1. а - ВЧ-несущая, б - звуковой сигнал, в - АМ-сигнал.

результате взаимного наложения при амплитудной модуляции получается сигнал, представленный на рис. 17.1, в.

В ЧМ-радиопередатчиках используются два во многом эквивалентных типа модуляции - частотная и фазовая. Так называемая "чистая частотная модуляция" осуществляется изменением частоты несущей с помощью звукового сигнала. При фазовой модуляции частота несущей остается постоянной, а фаза изменяется (модулируется) звуковым информационным сигналом. В этой книге оба типа модуляции рассматриваются как практиче-

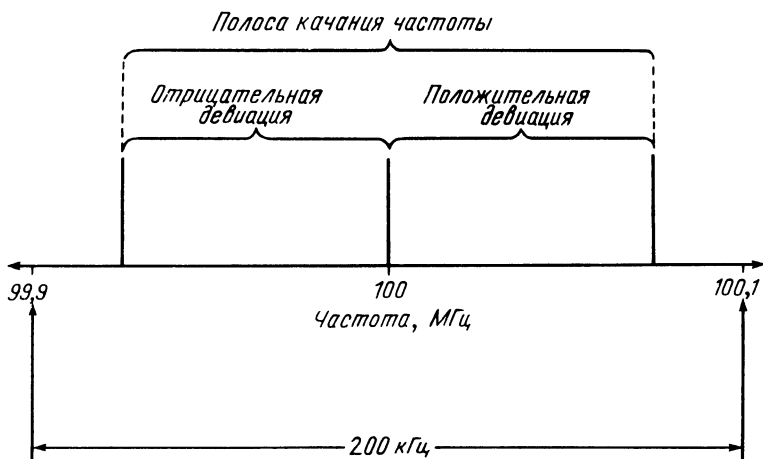


Рис. 17.2а. Спектр АМ-сигнала при одночастотной синусоидальной модуляции.

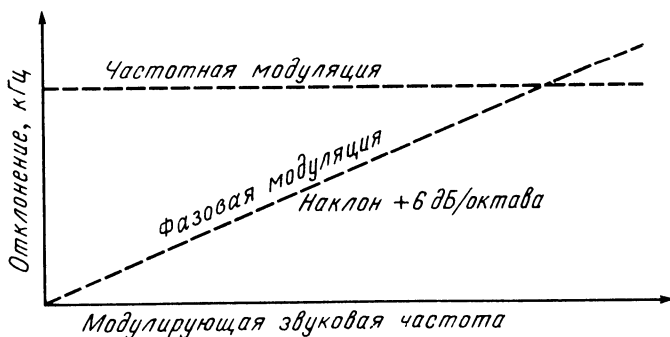


Рис. 17.2б. Зависимость девиации от частоты модулирующего сигнала для ЧМ- и ФМ-сигналов

ски эквивалентные, так как демодуляция осуществляется одними и теми же детектирующими схемами.

ТЕРМИНОЛОГИЯ. При частотной модуляции звуковой сигнал одной полярности вызывает увеличение частоты ВЧ-сигнала, а другой - уменьшение. У некоторых читателей могут возникнуть трудности с терминологией. Иногда путают полосу качания частоты и девиацию частоты. Различие между ними проиллюстрировано на рис. 17.2а. Разность в кГц между центральной несущей частотой и максимальной либо минимальной частотой называется девиацией.

Полное изменение частоты сигнала при модуляции называется

ся полосой качания частоты. Это определение аналогично понятию полосы качания частоты в генераторе ЧМ-сигналов.

Другой термин, часто употребляемый в связи с частотной модуляцией, - индекс модуляции. Он определяется как отношение полной девиации частоты к частоте модулирующего сигнала. Коммерческие вещательные ЧМ-передатчики рассчитаны на трансляцию высококачественных звуковых сигналов с частотами вплоть до 15 кГц и имеют девиацию до 75 кГц (что примерно в 10 раз превышает аналогичный параметр передвижных радиостанций). Отсюда максимальный индекс модуляции равен $75/15$, или 5.

Существует ошибочное мнение, что максимальная девиация зависит от частоты модулирующего звукового сигнала. Ширина полосы АМ-сигнала пропорциональна модулирующей частоте, а в ЧМ-сигнале девиация и полоса качания частоты определяются амплитудой модулирующего сигнала, а не его частотой. Частота модулирующего сигнала задает частоту "качания" между предельными значениями.

В АМ-системах термин "100%-ная модуляция" имеет физический смысл. Для ЧМ-систем этот термин устанавливается произвольным соглашением. Например, в коммерческих вещательных системах 100%-ной модуляции соответствует девиация 75 кГц. В морских и передвижных радиопередатчиках коэффициенту модуляции 100% соответствует девиация 5 кГц.

Фазовая модуляция

Чтобы предотвратить путаницу, следует сказать несколько слов о другом виде угловой модуляции - фазовой модуляции. Эта разновидность частотной модуляции часто используется в ОВЧ ЧМ передвижных и морских радиопередатчиках.

Девиация при фазовой модуляции прямо связана с частотой модулирующего сигнала. Девиация возрастает с увеличением частоты модулирующего сигнала с крутизной +6 дБ на октаву, поэтому на высоких звуковых частотах требуется компенсация предискажений. Различие между зависимостью девиации от частоты для ЧМ- и ФМ-сигналов показано на рис. 17.26.

ЧАСТОТНАЯ ДЕМОДУЛЯЦИЯ

Демодуляция - это процесс извлечения информации из принятого радиосигнала. При обсуждении различных схем демодуляторов следует помнить, что девиация зависит от амплитуды модулирующего сигнала, а частота "качания" - от частоты модулирующего сигнала. На рис. 17.3 показана взаимосвязь между

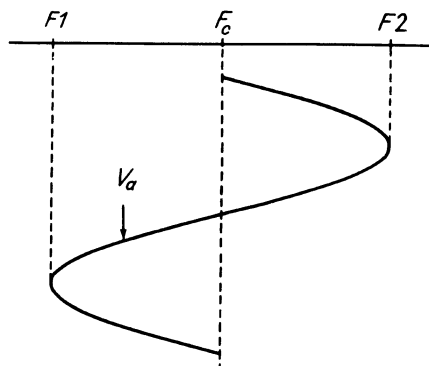


Рис. 17.3. Взаимосвязь модулирующего потенциала и девиации частоты.

изменением частоты несущего сигнала и напряжением синусоидального модулирующего сигнала.

Когда звуковой сигнал отсутствует, частота сигнала на выходе передатчика равна несущей частоте F_c . При увеличении амплитуды звукового сигнала в сторону положительных значений частота ВЧ-сигнала возрастает до максимального значения $F2$. Аналогично при изменении звукового сигнала в сторону отрицательных значений частота ВЧ-сигнала уменьшается до минимального значения $F1$.

Частотное детектирование на расстроенном резонансном контуре

На рис. 17.4 показан простой, но эффективный метод демоду-

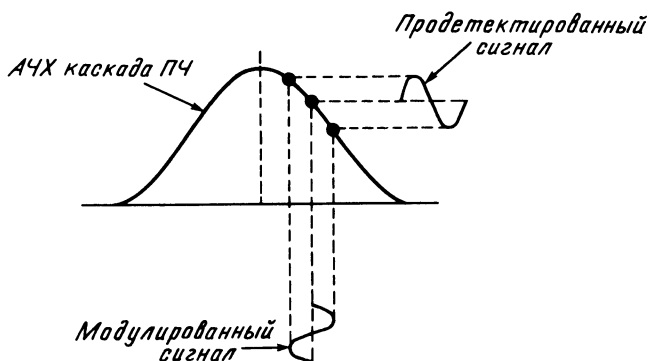


Рис. 17.4. Частотное детектирование на расстроенном резонансном контуре.

ляции ЧМ-сигналов. Этот метод, который называется частотным детектированием на расстроенном резонансном контуре, наглядно демонстрирует особенности систем с частотной и фазовой модуляцией. Амплитудно-частотная характеристика детектора ЧМ/ФМ-сигналов должна быть линейной функцией частоты. Основное требование к приемнику с таким детектированием - наличие амплитудного детектора и узкой полосы пропускания. Приемник настраивается таким образом, что центральная частота ЧМ/ФМ-сигнала лежит на наклонном участке амплитудно-частотной характеристики УПЧ. Таким образом, отклик УПЧ на принимаемый сигнал зависит от частоты сигнала.

Дискриминатор Фостера - Сили

На рис. 17.5а показана схема частотного дискриминатора Фостера - Сили. Многие годы эта схема, а также детектор отношений (дробный детектор), рассматриваемый в следующем разделе, были единственными применяемыми на практике демодуляторами ЧМ/АМ-сигналов. Заметим, что в схеме (рис. 17.5а) ВЧ-дроссель $L1$ связан с первичной и вторичной обмотками трансформатора $T1$: последовательно со вторичной обмоткой и параллельно с первичной. Если вы сомневаетесь в этом, взгляните на схему на (рис. 17.5б).

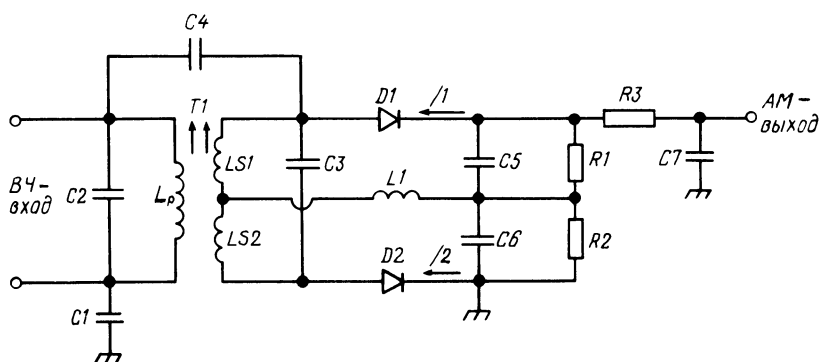


Рис. 17.5а. Схема дискриминатора Фостера - Сили.

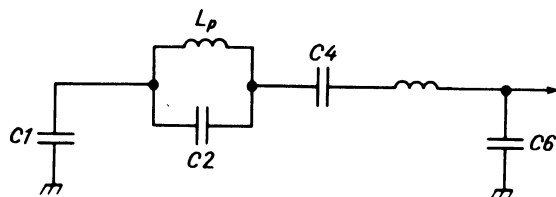


Рис. 17.56. Перерисованная схема.

Связь дросселя с обеими обмотками трансформатора позволяет использовать его потенциал и ток в качестве опорных. Если к первичной обмотке приложен немодулированный сигнал ПЧ, его частота совпадает с резонансной частотой контура, образованного вторичной обмоткой. Это приводит к уравниванию напряжений на обмотках L_{S1} и L_{S2} (соответствующие токи также равны). Так как токи текут в противоположных направлениях, они компенсируются, и результирующее выходное напряжение равно нулю.

На рис. 17.6а показана векторная диаграмма токов и напряжений в дискриминаторе Фостера - Сили, когда частота входного сигнала превышает центральную частоту F_c .

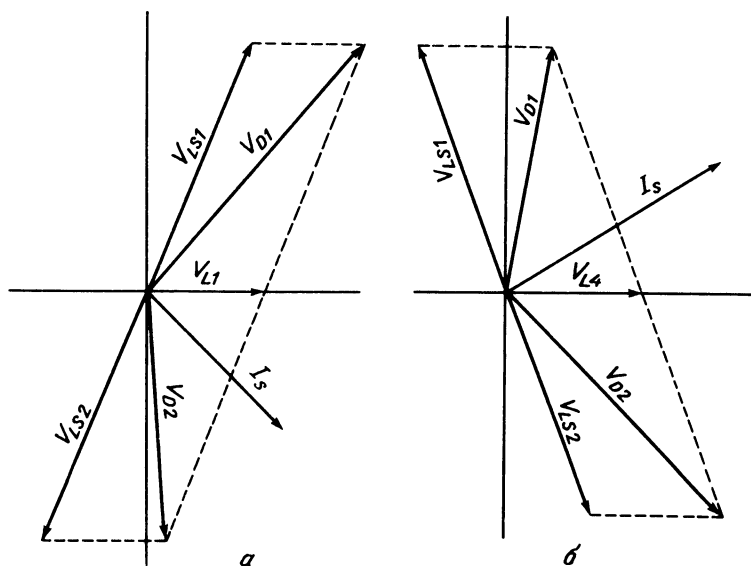


Рис. 17.6. Векторная диаграмма дискриминатора.

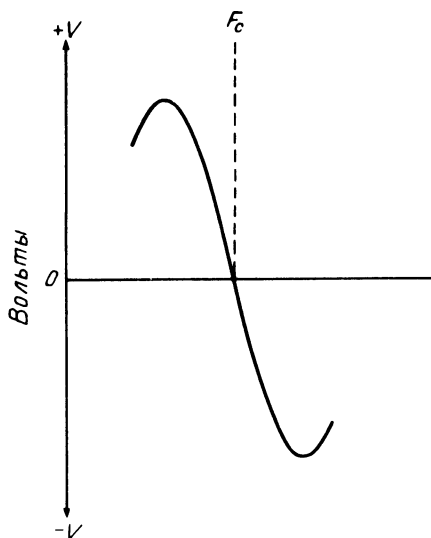


Рис. 17.7. Амплитудно-частотная характеристика дискриминатора.

Контур, образованный вторичной обмоткой, приобретает индуктивные свойства и его ток I_s отстает по фазе от напряжений V_{LS1} и V_{LS2} на 90° . Токи и напряжения находятся не в фазе и поэтому должны складываться векторно. Результирующие напряжения обозначены V_{D1} и V_{D2} (рис. 17.6а). В данном случае напряжение, приложенное к диоду D1, превышает напряжение на диоде D2, следовательно, ток $I1$ должен быть выше тока $I2$. Компенсация токов нарушается, что приводит к появлению звукового напряжения на выходе. Аналогично, на рис. 17.6б представлен случай, когда частота сигнала на входе ниже центральной F_c . Соотношение между потенциалами V_{D1} и V_{D2} меняется на противоположное и вектор V_{D2} превалирует.

На рис. 17.7 показана амплитудно-частотная характеристика дискриминатора. Одной из задач настройщика является совмещение центральной частоты сигнала F_c с точкой пересечения характеристической кривой и оси абсцисс. Ширина полосы схемы должна быть выбрана таким образом, чтобы ожидаемая девиация частоты (5, 25, 75 кГц в зависимости от обстоятельств) не выводила схему на нелинейный участок амплитудно-частотной характеристики.

Дискриминатор чувствителен и к амплитудной модуляции, по крайней мере в небольшой степени. Для предотвращения нежелательного воздействия АМ-сигналов в схему приемника обычно вводят ограничитель, размещаемый непосредственно пе-

ред дискриминатором (т. е. в окончательном каскаде усиления ПЧ). Это делается для устранения колебаний амплитуды сигнала, а значит, и шумов, связанных с колебаниями амплитуды.

Дробные детекторы

На рис. 17.8 приведена схема дробного детектора. Основное его отличие от дискриминатора Фостера - Сили заключается в том, что диоды здесь соединены последовательно, в результате напряжения на конденсаторах $C1$ и $C2$ складываются, а не вычитаются. Когда на вход детектора поступает немодулированный сигнал, напряжения на конденсаторах одинаковы. При увеличении частоты несущего сигнала напряжение на конденсаторе $C2$ возрастает, а на $C1$ падает. Изменение знака девиации частоты приводит к возрастанию напряжения $V(C1)$ и уменьшению $V(C2)$. В результате изменяется уровень постоянного потенциала в зависимости от девиации частоты несущего сигнала.

Конденсатор $C2$ выполняет две функции. Он стабилизирует суммарное напряжение на конденсаторах $C1$ и $C2$, что позволяет использовать отношение напряжений $V(C1)$ и $V(C2)$, и подавляет амплитудную модуляцию в несущем сигнале, в том числе вызванную шумами. Вследствие последнего обстоятельства в приемниках с дробным детектором не требуется наличия ограничителя.

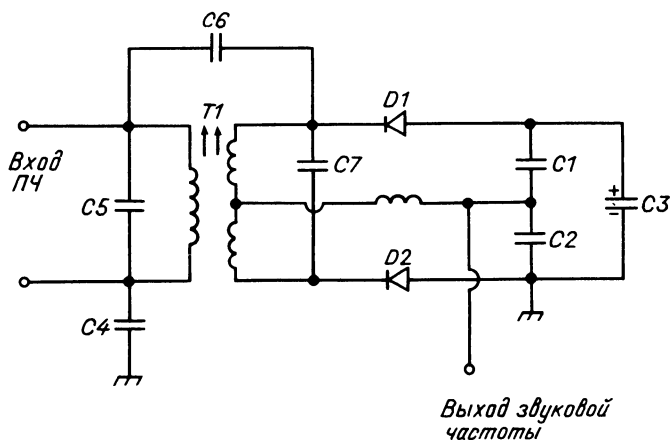


Рис. 17.8. Схема дробного детектора

Квадратурные детекторы

Много лет назад в телевизионных приемниках для детектирования использовалась специальная вакуумная лампа 6BN6 со стробируемым лучом. В некоторых устройствах для радиосвязи эта лампа использовалась в качестве детектора. В 1960-е годы от этой схемы отказались в связи с распространением полупроводниковых элементов. Однако технология ИС возродила интерес к квадратурным детекторам. Интегральные квадратурные детекторы являются основой большинства современных ЧМ-приемников.

На рис. 17.9 показана блок-схема типичного интегрального квадратурного детектора. Входные каскады являются широкополосными и имеют высокое усиление для обеспечения работы в режиме ограничения. Сигнал на выходе этих предусилительных каскадов представляет собой прямоугольную волну. Эти прямоугольные импульсы подаются на два входа: стробируемого синхронного детектора и квадратурной (т. е. сдвигающей на 90 градусов) фазосдвигающей LC-цепи, не входящей в ИС. С выхода фазосдвигающей цепи сигнал подается на второй вход стробируемого детектора (рис. 17.10). Детектор формирует выходные импульсы постоянной амплитуды, периодичность которых определяется модулирующим сигналом. Эти импульсы интегрируются внешней RC-цепью ($R3/C3$) для извлечения звукового информационного сигнала. На рис. 17.11 показан частотный детектор на основе ИС CA-3089.

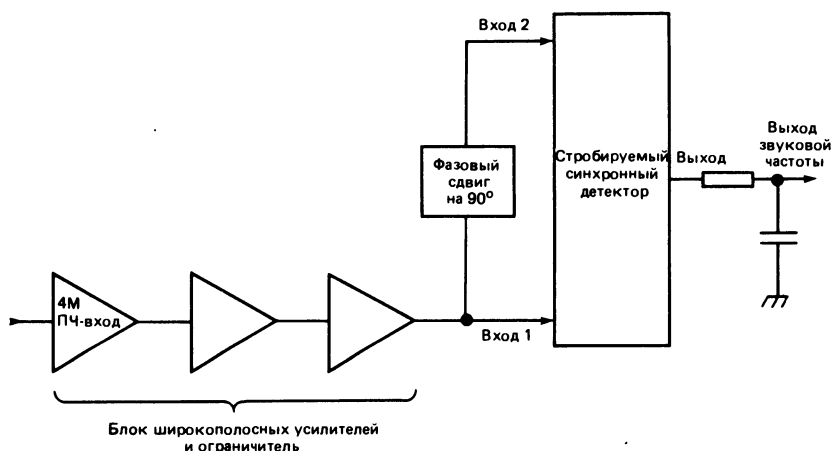


Рис. 17.9. Блок-схема интегрального квадратурного детектора.

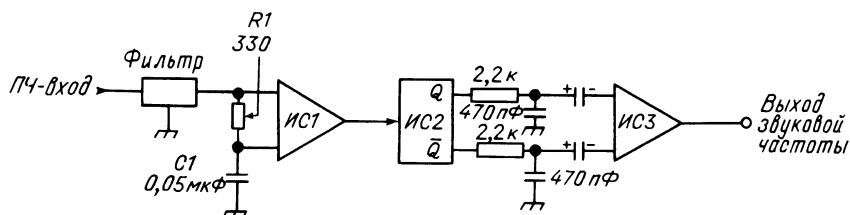


Рис. 17.12. Цифровой ЧМ-детектор. (Номиналы указаны для частоты 10,7 МГц.)

чальной настройки и дрейфа настраиваемых контуров, свойственных другим схемам.

Фильтр FL1 (рис. 17.12) является основным полосовым фильтром в цепи УПЧ ЧМ-сигналов. В радиовещательных приемниках полоса пропускания составляет 200 кГц, в приемниках другого назначения полоса обычно меньше и определяется девиацией частоты принимаемых сигналов. ИС1 содержит усилительные и ограничительные каскады. ИС2 - это ТТЛ-ждущий мультивибратор, который выдает выходной импульс при подаче на вход запускающего импульса от ИС1.

Основной особенностью цифрового детектора является то, что импульсы, генерируемые ждущим мультивибратором, имеют одинаковые амплитуды и длительности, а частота их повторения изменяется в зависимости от девиации ЧМ-сигнала на выходе каскада ПЧ. ИС2 имеет два комплементарных выхода. Оба сигнала подаются на RC-интегрирующую цепь для получения звукового сигнала, поступающего на вход выходного дифференциального усилителя.

Кристаллические дискриминаторы

На рис. 17.13 показана схема типичного кристаллического частотного детектора. Такие схемы основаны на зависимости импе-

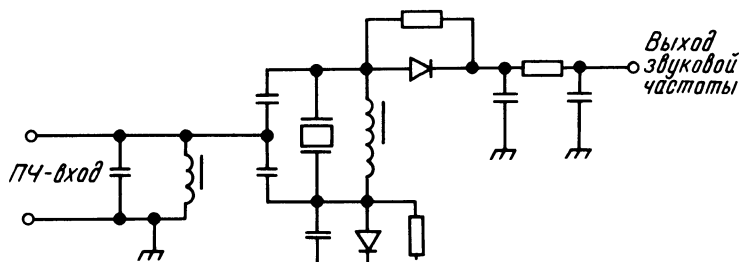


Рис. 17.13. Кристаллический дискриминатор.

данса пьезокристаллического резонатора от частоты. Некоторые кристаллические дискриминаторы имеют внутреннюю настройку, другие требуют наличия внешнего LC-контура или конденсатора переменной емкости для настройки на резонанс с внутренней катушкой индуктивности.

НАСТРОЙКА ЧМ-ПРИЕМНИКОВ

Настройка ЧМ-приемников может производиться с помощью генератора качающейся частоты (предпочтительный метод) или с помощью генератора немодулированных гармонических сигналов. В этом разделе мы рассмотрим оба метода, примененные к различным детектирующим схемам.

Настройка с помощью генератора качающейся частоты

Типичная схема для настройки ЧМ-приемника с помощью генератора качающейся частоты (ГКЧ) показана на рис. 17.14а. Генератор качающейся частоты модулирует сигнал ЧМ-радиопередатчика. Генератор опорных сигналов создает метки на экране осциллографа, которые позволяют определить частоту в любой точке осциллограммы. Сигналы обоих генераторов объединяются сумматором в один общий ЧМ-сигнал, поступающий на вход приемника. Непосредственное соединение двух генераторов вызвало бы рассогласование импедансов и воздействие сигналов друг на друга, что привело бы к искажению амплитудно-частотной характеристики. В некоторых специализированных настроечных генераторах каскады качающейся и опорной частоты, а также сумматор выполнены в едином корпусе.

НАСТРОЙКА КАСКАДА ПЧ. В инструкциях по настройке ЧМ-приемников обычно указываются точки для подачи внешнего сигнала с выхода сумматора. При настройке каскадов ПЧ эти точки не всегда совпадают с антенным входом. Чаще сигнал подается на вход УПЧ или оконечный смеситель входного каскада. Хотя успех более вероятен, если следовать инструкциям большинство приемников можно настроить с помощью описанной ниже процедуры.

Если в приемнике используется резонансный LC-трансформатор на выходе высокочастотных каскадов или на входе УПЧ ЧМ-сигналов, то для подачи тестового сигнала применяется специальный зонд. Зонд представляет собой короткий отрезок изолированного провода, соединенного с кабелем от генератора, который вводится в трансформатор (рис. 17.14б). Если трансформатор не имеет необходимого "окна" или если в приемнике отсутствует LC-трансформатор (т. е. используются кристалличе-

ские фильтры), сигнал следует подавать на базу или затвор смесителя или аналогичную точку (рис. 17.14в) через дисковый керамический конденсатор емкостью 0,001 мкФ.

Выходная частота ГКЧ должна соответствовать промежуточ-

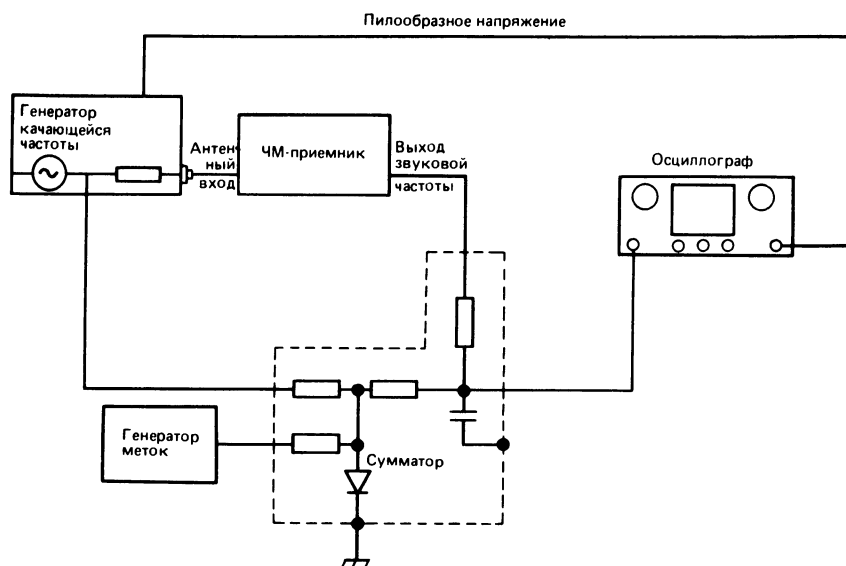


Рис. 17.14а. Схема настройки с помощью генератора качающейся частоты.

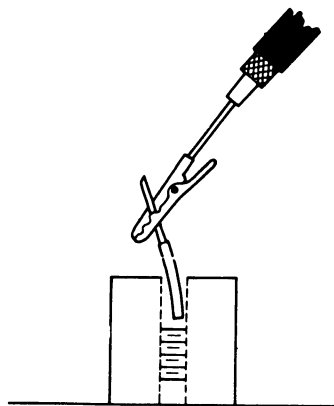


Рис. 17.14б. Ввод сигнала с помощью зонда.

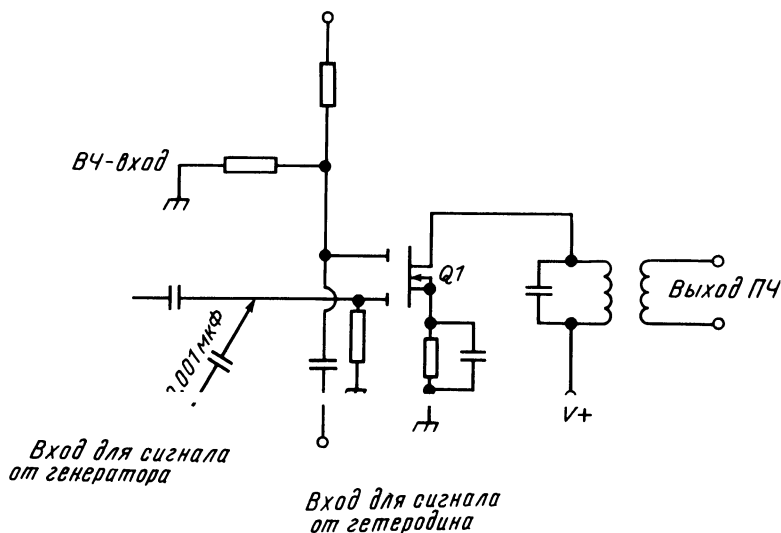


Рис. 17.14в. Ввод сигнала в смеситель.

ной частоте приемника. В радиовещательных ЧМ-приемниках и большинстве приемников для радиосвязи промежуточная частота составляет 10,7 МГц; в телевизионных приемниках промежуточная частота звукового сигнала составляет 4,5 МГц; в некоторых связанных приемниках используются промежуточные частоты 455 кГц, 1,65 МГц, 6,5 МГц и другие вплоть до 10,7 МГц. Девиация или полоса качания в генераторе должна быть несколько меньше, чем типичная девиация сигналов, принимаемых приемником. Для настройки радиовещательных приемников (девиация 75 кГц) генератор должен обычно иметь девиацию 22,5 кГц; при настройке связанных приемников используйте девиацию, составляющую от 1/3 до 3/4 от используемой в системе. Частота звуковой модуляции, если она регулируется, должна быть от 400 до 1000 Гц. Уровень сигнала качающейся частоты должен быть достаточным для подавления шумов (т. е. приемник должен работать в режиме ограничения).

На рис. 17.15 показана упрощенная блок-схема ЧМ-приемника. Соедините вход высокоомного вольтметра, работающего в режиме измерения потенциалов обеих полярностей, с точкой А. (Большинство ламповых и транзисторных вольтметров могут быть настроены на такой режим с помощью регулятора нуля.) Подав на вход контрольный сигнал, как описано выше, добей-

тесь нулевого показания вольтметра подстройкой вторичной обмотки трансформатора детектирующей цепи. По одну сторону от правильного положения вольтметр покажет положительное напряжение, а по другую - отрицательное.

Предостережение: Если ферритовые сердечники трансформаторов ПЧ или детектирующих каскадов не поддаются перемещению, не пытайтесь сделать это силой. Одна капля масла, например WD-40, освободит их. Либо если они покрыты воском для защиты от вибраций аккуратно и быстро расплавьте его с помощью паяльника (будьте осторожны - не повредите катушку!).

После того как детектор настроен, уменьшайте уровень ВЧ-сигнала, пока на выходе не появится слабый шум. Подсоедините вольтметр переменного тока или осциллограф к выходному громкоговорителю и добейтесь максимального сигнала подстройкой резонансных контуров УПЧ (если они есть). Если чувствительность возросла настолько, что приемник вошел в режим ограничения, снова уменьшите уровень ВЧ-сигнала. Другой спо-

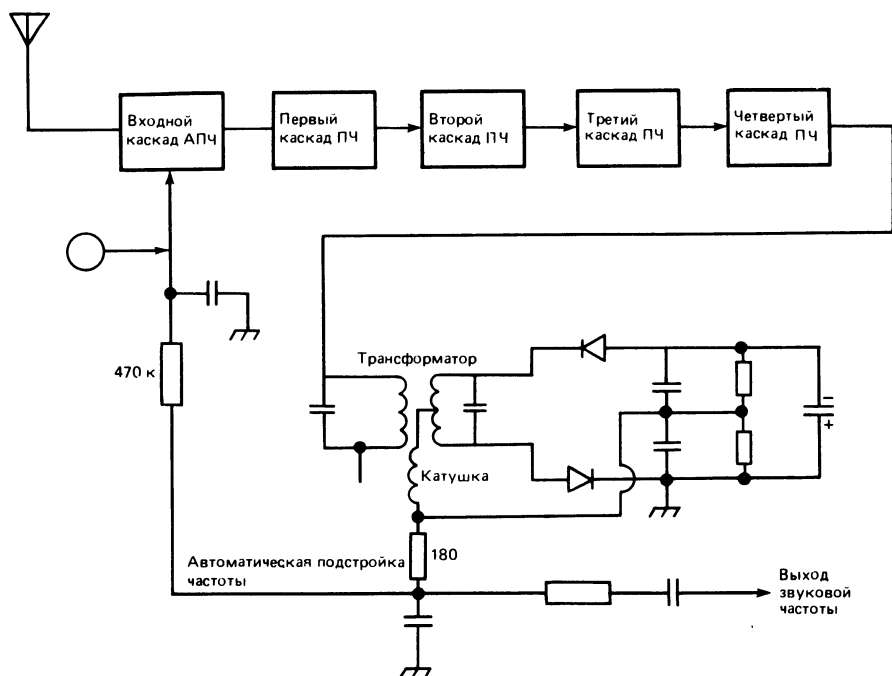


Рис. 17.15. Блок-схема ЧМ-приемника.

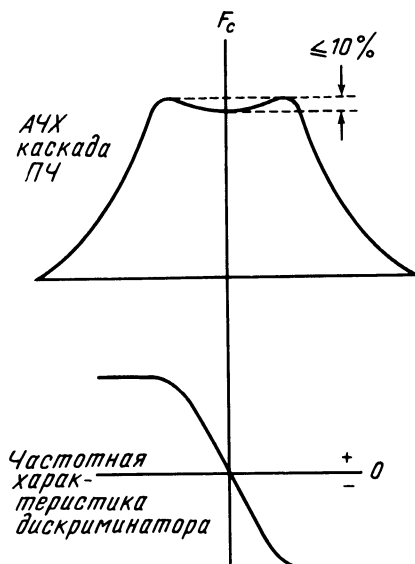


Рис. 17.16. Ширина полосы и АЧХ дискриминатора.

соб: подсоедините осциллограф для наблюдения АЧХ (рис. 17.16). “Провал” в центре характеристики не должен превышать 10% полной высоты. Замечание: Провал на центральной частоте нежелателен. В идеале АЧХ каскадов ПЧ должна быть плоской, 10% - это допустимое отклонение. Не уподобляйтесь технику, который настраивал приемник с неравномерностью АЧХ 1-3% на провал 10%, считая, что это “норма”.

НАСТРОЙКА ВХОДНЫХ КАСКАДОВ. Для настройки входных каскадов ЧМ-приемника необходимо подать на антенный вход определенный сигнал. Частота сигнала должна совпадать с одной из калиброванных частот настроенного лимба (если приемник перестраивается), или с частотой одного из каналов (в случае связного приемника).

После подачи сигнала настройте гетеродин, добившись нулевого напряжения в точке А (рис. 17.15) тщательной регулировкой подстроечного конденсатора (или в некоторых случаях сердечника катушки резонансного контура).

Затем настройте усилитель высокой частоты и антенный колебательный контур на максимальный выходной сигнал. При этом следите за амплитудно-частотной характеристикой на экране осциллографа. Метки помогут контролировать от-

клик на определенных частотах. Лучше пожертвовать небольшой долей усиления в пользу правильной формы АЧХ.

Входные каскады любого приемника подвержены воздействию неблагоприятных эффектов, связанных с влиянием распределенной емкости и индуктивности, но в ОВЧ- и УВЧ-диапазонах это особенно сказывается. Чтобы преодолеть эту проблему, необходимо использовать неметаллические настроечные инструменты. Не пользуйтесь обычными отвертками для регулировки сердечников катушек и подстроечных конденсаторов. Если для обеспечения доступа к подстраиваемым элементам пришлось сдвинуть некоторые компоненты схемы, то после настройки оставьте их на новых местах, чтобы не расстроить схему.

При настройке входных каскадов ОВЧ/УВЧ-приемников не следует торопиться, иначе можно пропустить максимум - эти схемы имеют низкую добротность и широкую АЧХ. Небольшие подстроечные конденсаторы, обычно используемые на этих частотах, изменяют свои электрические свойства при вращении обкладки только в пределах 180 градусов, однако механически верхнюю обкладку можно повернуть на 360 градусов. Это приводит к появлению двух пиков, что иногда сбивает с толку.

Обычно при настройке ОВЧ/УВЧ-входных каскадов их защитный кожух не снимают, если возможно. Распределенная емкость кожуха может полностью расстроить приемник, если настройка произведена при снятом кожухе.

Настройка без генератора качающейся частоты

Настройка с помощью ГКЧ - наилучший, но не единственный метод настройки ЧМ-приемников. При отсутствии ГКЧ или генератора ЧМ-сигналов можно добиться достаточно хороших результатов даже для высококачественных систем с помощью генератора немодулированных гармонических сигналов.

Соответствующее оборудование не является сложным. Подойдет любой немодулируемый генератор или кварцевый осциллятор. Если имеется генератор АМ-сигналов, то выключите модуляцию. Генератор должен иметь хорошую кратковременную стабильность и малую утечку ВЧ-сигнала через корпусные разъемы. Понадобится также вольтметр постоянного тока. При настроечных работах лучше использовать аналоговые, а не цифровые вольтметры, так как при подстройке катушки или конденсатора ищутся специфические точки максимума/минимума напряжения, которые трудно заметить на цифровом приборе.

При настройке входных каскадов некоторых приемников имеет смысл использовать эквивалентную антенну или фиксиро-

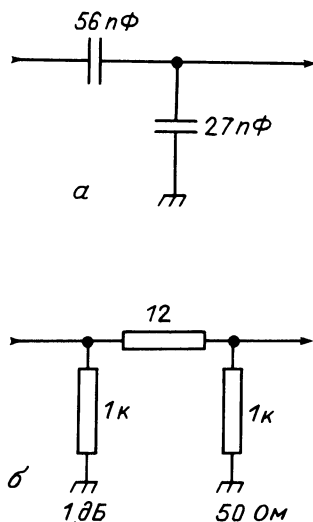


Рис. 17.17. а - эквивалентная антенна, б - фиксированный аттенуатор.

ванный аттенуатор (рис. 17.17) между генератором и антенным входом. Эквивалентная антенна согласует импедансы, а аттенуатор сглаживает эффекты, связанные с рассогласованием импедансов.

Схема настройки (рис. 17.18) дает удовлетворительные результаты для большинства радиовещательных ЧМ-приемников и связанных приемников. Как и в случае использования ГКЧ, сигнал в приемник подается через зонд или непосредственно на вход смесителя. Подсоедините высокоомный вольтметр постоянного тока к точке Z на рис. 17.19. Добейтесь нулевого показания подстройкой вторичной обмотки трансформатора в детекти-

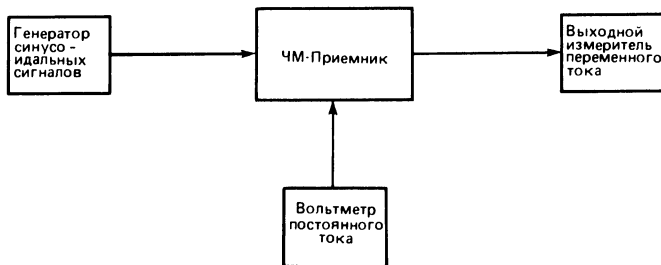


Рис. 17.18. Настройка ЧМ-приемника без использования ГКЧ.

рующей цепи. Здесь подойдет вольтметр, работающий в режиме измерения потенциалов обеих полярностей. Как и в предыдущем методе, напряжение будет изменяться между положительными и отрицательными значениями около точки правильной настройки.

Имеются два фактора, пренебрежение которыми приводит к трудностям при поиске нулевой точки. Это перегрузка УПЧ, которая в некоторых приемниках возникает из-за действия системы АРУ. Идентификация нулевой точки может затрудняться и тем, что визуальный эффект от подстройки очень мал по сравнению с полной шкалой вольтметра. Систему АРУ можно либо заблокировать фиксацией в определенной точке, либо отключить. Во многих случаях в инструкциях к прибору по его настройке указывается на необходимость блокировки системы АРУ.

Единственный способ избежать перегрузки при настройке - уменьшить уровень ВЧ-сигнала от генератора. В большинстве инструкций указывается, что в оптимальном случае уровень сигнала должен немного превышать уровень, соответствующий режиму подавления шумов сильным сигналом. По мере настройки может возникнуть необходимость уменьшения уровня входного сигнала.

НАСТРОЙКА КАСКАДОВ ПЧ. Для настройки ПЧ-трансформаторов подсоедините вольтметр к точке А (рис. 17.19). Другая точка подключения - вход ограничительного каскада (если он используется), поэтому требуется уменьшение емкости. В обоих

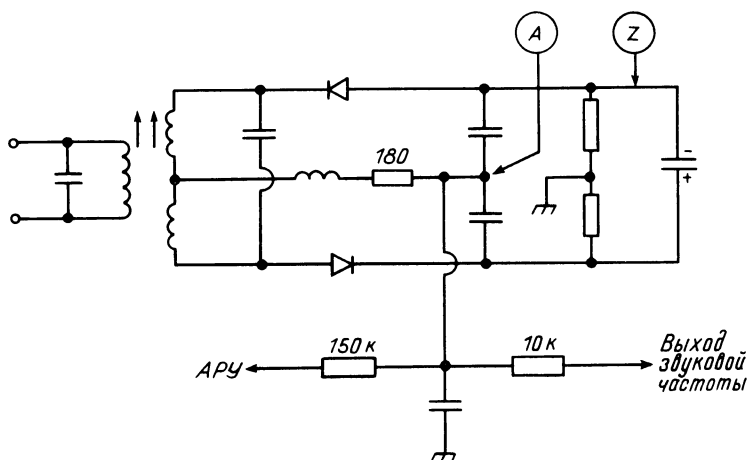


Рис. 17.19. Тестовые точки в дробном детекторе

случаях правильная настройка ПЧ-трансформаторов соответствует максимальному показанию вольтметра.

При подключении детекторной головки к входу ограничителя подстройка ограничительного каскада не влияет на показания вольтметра. Поэтому для настройки ограничительного каскада подсоедините вольтметр к какой-либо точке вторичной обмотки трансформатора в детектирующей цепи. Используйте только высокоомный вольтметр с демодулятором или детекторной головкой.

При настройке ПЧ-трансформаторов источник сигнала подсоединяется так же, как и в предыдущих случаях. Во избежании перегрузки следите, чтобы уровень ВЧ-сигнала только немного превышал уровень, необходимый для создания режима подавления шумов.

В большинстве случаев не рекомендуется использовать в качестве тестового сигнал от передающей радиостанции. Трудно найти сигнал от радиостанции, который является стабильным и оптимальным. Исключение может быть сделано, если приемник и передатчик объединены в общую систему. Не пытайтесь использовать свой слух в качестве “детектора” - он не очень хорош для этой цели.

Продвигайтесь от выхода детектирующей цепи к входу приемника. Сначала настраивайте вторичную, а затем первичную обмотку каждого трансформатора. После того как сделан один “проход”, повторите процедуру еще раз (чтобы исключить взаимное влияние этапов настройки).

Интегральный квадратурный детектор, используемый во многих связанных приемниках, требует специального метода настройки без ГКЧ (предыдущие методы относились к приемникам с дробным детектором или дискриминатором Фостера - Сили). В приемниках с интегральным квадратурным детектором, оконечный каскад УПЧ и ограничитель выполнены как часть ИС. Схема на рис. 17.20 является типичной и метод ее настройки отличается от метода для обычных детекторов. Очевидное отличие - применение ВЧ-детекторной головки для контроля уровня сигнала. Немодулированный сигнал частотой 10,7 МГц подается на базу транзистора в смесителе или через зонд на вход УПЧ ЧМ-сигнала. Детекторная головка вольтметра подсоединяется к точке М (рис. 17.20). Затем производится настройка на максимум с помощью ПЧ-трансформатора.

Для настройки фазовой катушки отсоедините детекторную головку от вольтметра, переключите его в режим измерения переменного потенциала и подсоедините к входу громкоговорителя (можно использовать и осциллограф). Понижайте уровень сигнала от генератора, пока не появится шумовой фон. При

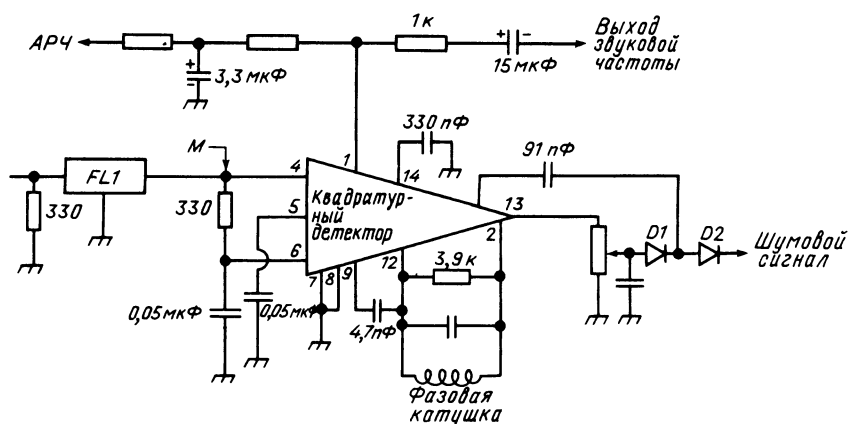


Рис. 17.20. Схема интегрального квадратурного детектора.

полной перенастройке фазовой катушки обнаруживается два максимума в уровне шума. Правильная настройка соответствует минимуму между двумя пиками и лежит примерно посередине.

НАСТРОЙКА ВХОДНЫХ КАСКАДОВ выполняется как в случае применения ГКЧ. Однако многие ОВЧ/УВЧ-генераторы не имеют должного качества. Дешевые генераторы этих диапазонов для получения сигналов выше 30 - 40 МГц часто работают на 2-й и 3-й гармониках, что приводит к сильной нестабильности, неточности настроечного лимба и низким уровнями выходных сигналов. На этих частотах можно использовать кварцевые осцилляторы, особенно в случае связанных приемников.

Настройка гетеродина производится так же, как с применением ГКЧ. Однако в этом случае правильная настройка контролируется по подавлению шума на выходе приемника в результате подачи постоянного гармонического сигнала на антенный вход.

ИСТОЧНИКИ ПИТАНИЯ ПОСТОЯННОГО ТОКА

ОСНОВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ

Выход радиооборудования из строя часто связан с неполадками в источниках питания постоянного тока. Одна мастерская, занимавшаяся ремонтом приемопередатчиков, вела статистику неисправностей. Было обнаружено, что источники питания постоянного тока, являющиеся малой (и наименее сложной) частью всей схемы, давали 45% поломок, связанных с необходимостью замены элементов. Источник питания постоянного тока включает несколько основных элементов или узлов: трансформатор, выпрямитель, фильтр, стабилизатор напряжения.

ТРАНСФОРМАТОР имеет два назначения. Основное - преобразование переменного сетевого напряжения 110 или 220 В в напряжение, требуемое в оборудовании. Обычно трансформатор используется для повышения напряжения в ламповых схемах либо в мощных ВЧ-усилителях и для понижения в полупроводниковых схемах. Другое назначение - электрическая развязка оборудования от сети питания переменного тока.

ВЫПРЯМИТЕЛЬ преобразует двунаправленный переменный ток в однонаправленный пульсирующий ток.

ФИЛЬТР сглаживает пульсации тока, приближая его настолько возможно к постоянному.

СТАБИЛИЗАТОР НАПЯЖЕНИЯ стабилизирует выходное напряжение при изменении входного напряжения и выходного тока.

ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ВЫПРЯМИТЕЛИ: ВЫБОР И ПРИМЕНЕНИЕ

Молниевые разряды приводят к скачкам напряжения в сетях питания переменного тока и взрывам выпрямителей в электронном оборудовании. Хотя не все из них столь эффективно "уходят из жизни", основная доля поломок в электронном оборудовании связана с силовыми полупроводниковыми выпрямителями.

В одних случаях это является следствием высоковольтных переходных процессов в источниках питания, в других инженер-прекритировщик переоценил возможности выпрямителя, а потребитель вынужден за это расплачиваться. Один ОБП-приемопередатчик был известен своей ненадежностью. Однако оказалось, что все поломки связаны с питанием от сети переменного тока. В подвижном режиме он работал вполне надежно, а в стационарном режиме выходил из строя через несколько месяцев (обычно в пределах 90-дневной гарантии). Все дело было в полупроводниковых выпрямителях - их возможности были завышены. Правильная замена полупроводникового выпрямителя устранила проблему, избавив потребителя от дорогостоящих ремонтов. После этого он решил, что мы - единственные специалисты по радиооборудованию в окрестности 100 км.

ЧТО ТАКОЕ ВЫПРЯМИТЕЛЬ?

Выпрямитель в источнике питания постоянного тока преобразует переменный сетевой ток таким образом, чтобы сделать его пригодным для потребления устройствами, работающими на постоянном токе. Для большинства электронных схем переменное питание непригодно. Выпрямитель преобразует двунаправленный переменный ток в однонаправленный. Хотя когда-то для этой цели в промышленности использовались механические переключатели и вакуумные лампы, все современные схемы сделаны на основе полупроводниковых выпрямителей с *pn*-переходом.

Современные полупроводниковые выпрямители - это "хорошо забытое старое". Первые модели появились еще на заре радиотехники и электроники. Но наиболее распространенные современные выпрямители на основе кремниевых диодов появились около 25 лет назад. В конце 50-х годов выпрямители типа "шляпки" на 500 мА стали заменять устаревшие селеновые элементы. Многие техники просто подключали кремниевый выпрямитель параллельно вышедшему из строя селеновому, пока не обнаружилось, что это вызывает больше проблем, чем решает.

Диодный выпрямитель на основе *pn*-перехода (рис. 18.1) состоит из кремниевой пластины, легированной примесями и имеющей две области проводимости: *p*-типа и *n*-типа. В области *n*-типа заряд переносится отрицательно заряженными электронами, в области *p*-типа - положительно заряженными дырками.

На рис. 18.1,а показан случай обратного смещения. В этом случае отрицательный полюс источника питания V соединен с областью *p*-типа, а положительный - с областью *n*-типа. В результате положительные носители заряда перемещаются от *pn*-

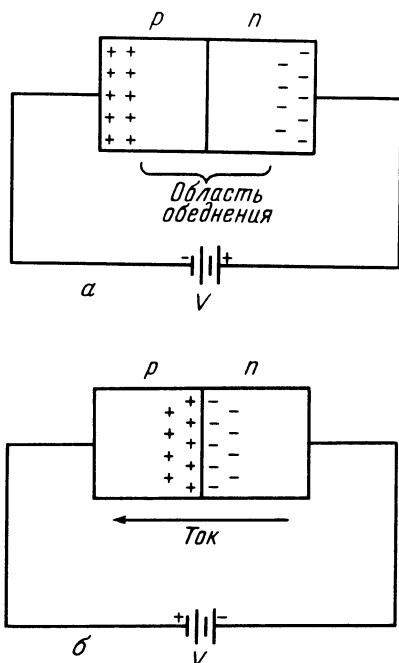


Рис. 18.1. Диодный выпрямитель на основе pn -перехода.

перехода к отрицательному электроду, а отрицательные - к положительному. В окрестности pn -перехода образуется обедненная область, не содержащая носителей заряда, поэтому электрический ток через переход отсутствует или очень мал. Теоретически этот ток равен нулю, но на практике всегда существует небольшой ток утечки (чем меньше, тем лучше).

Прямое смещение показано на рис. 18.1,б. Здесь полярность источника питания противоположна предыдущему случаю (рис. 18.1,а). Положительный электрод соединен с областью p -типа, а отрицательный - с областью n -типа. Вследствие отталкивания зарядов носители тока в областях p - и n -типа перемещаются от электродов питания к pn -переходу. Обедненная зона исчезает, положительные и отрицательные носители заряда сближаются. Поскольку заряды противоположного знака притягиваются, по цепи идет ток.

Из вышеприведенного анализа можно сделать вывод, что выпрямительный диод может преобразовать двунаправленный переменный ток в однонаправленный, потому что он пропускает ток только в одном направлении.

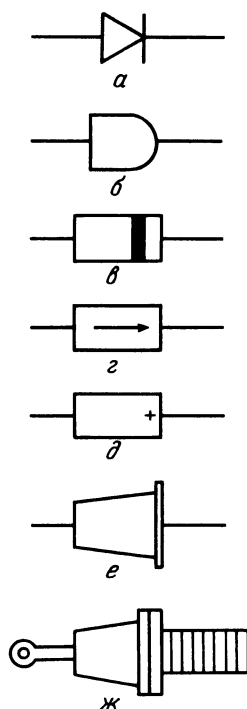


Рис. 18.2. Схемный символ и корпуса полупроводниковых диодов.

На рис 18.2 показан стандартный схемный символ для обозначения полупроводникового диода, а также формы корпусов диодов. Входной электрод, к которому прикладывается переменный потенциал, является анодом. Выходной электрод, из которого вытекает постоянный ток, является катодом. Аноды и катоды диодов, изображенных на рис. 18.2,б - 18.2,ж, ориентированы так же, как у символического диода на рис. 18.2,а. Выпрямители, представленные на рис. 18.2,б - 18.2,д, заключены в пластмассовые или эпоксидные корпуса и, наверное, знакомы большинству читателей. Катод обычно маркируется закруглением (рис. 18.2,б), линией (рис. 18.2,в), стрелкой (рис. 18.2,г) или знаком "плюс" (рис. 18.2,д).

Диод, показанный на рис. 18.2,ж, представляет устаревшую, сейчас не используемую модель "шляпка". Если не оговорено особо, такой диод может выдерживать ток до 500 мА, а диоды, изображенные на рис. 18.2,б - 18.2,д способны пропускать ток 1 А и более (при больших размерах).

Диод со шляпкой (рис. 18.2,е) является сильноточным он

может выдерживать токи более 6 А (50 - 100 А - не проблема). Эти диоды монтируются с помощью специального винта, который является одновременно электродом и расположен по одну сторону от диода. По другую сторону расположен электрод для припайки. Если особо не оговорено, то распаиваемый электрод является анодом, а винтовой - катодом. Иногда бывают исключения. Диоды с обратной полярностью имеют либо маркировочную стрелку, которая указывает катод, либо букву R после серийного номера (например, INxxxxR).

ХАРАКТЕРИСТИКИ ДИОДНЫХ ВЫПРЯМИТЕЛЕЙ

Полупроводниковые выпрямители имеют несколько основных характеристик: максимально допустимый прямой ток, ток утечки, импульсный прямой ток, максимальная температура перехода, максимально допустимое обратное напряжение.

Максимально допустимый прямой ток - максимальное значение постоянного прямого тока, поддерживаемого диодом. Для популярной серии диодных выпрямителей IN400X максимально допустимый прямой ток составляет 1 А. Ток утечки - максимальный ток, протекающий через обратносмещенный диод в отсутствие лавинного пробоя. В идеальном диоде ток утечки равен нулю, а в реальном диоде хорошего качества очень мал. Импульсный прямой ток - это ток, который может привести к повреждению диода. Обычно он существенно превышает максимальный прямой ток. Иногда ошибочно считают, что это рабочий ток диода. Импульсный прямой ток определяется как максимальный кратковременный ток, не повреждающий диод. Под кратковременностью подразумевается временной отрезок, соответствующий одному циклу сетевого тока.

Максимальная температура перехода - это максимально допустимое значение для *p-n*-перехода. Реальная температура зависит от прямого тока и от того, как корпус и окружающая среда отводят внутреннее тепло. Хотя типичный диапазон температур от +125 до +150° Цельсия, при конструировании стараются, чтобы температура была как можно ниже. В одном руководстве указано максимальное значение +110°.

Несколько лет назад одна торговая компания предлагала различные электронные детали, в том числе диоды, рассчитанные на максимальное обратное напряжение 1000 В и прямой ток 1 А. Эти диоды оказались очень ненадежными. Они не могли работать в цветных телевизорах, если только не сохранялась полностью длина выводов. Позже выяснилось, что они были рассчитаны на ток 500 мА. Нечестный торговец изменял

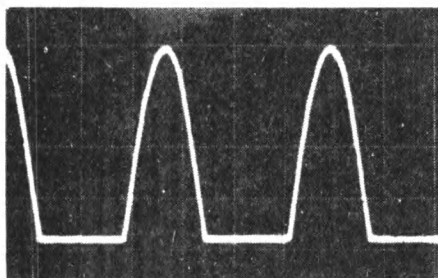
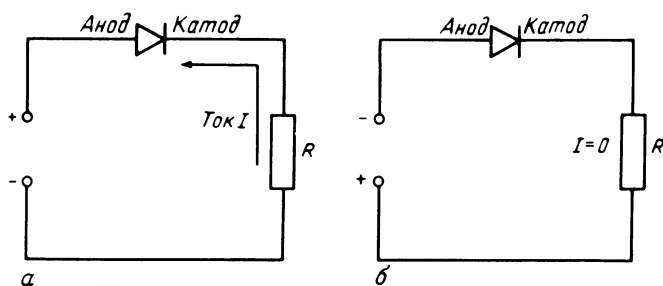


Рис. 18.3. а, б - схема однополупериодного выпрямителя, в - однополупериодная волна на выходе выпрямителя.

маркировку с помощью фломастера. Так что будьте внимательны!

Максимально допустимое обратное напряжение - это максимальное обратное напряжение, которое не повреждает диод. Эта характеристика обычно является ограничивающим параметром при конструировании источников питания, хотя часто на нее не обращают внимания. Позже мы познакомимся с тем, как делать выбор на практике.

ВЫПРЯМИТЕЛЬНЫЕ СХЕМЫ

На рис. 18.3 показана простая схема однополупериодного выпрямителя на полупроводниковом выпрямительном диоде. На рис. 18.3,а диод смещен в прямом направлении - положительный полюс источника питания соединен с анодом. В этом случае через нагрузку R протекает ток I . Противоположный случай представлен на рис. 18.3,б. Здесь отрицательный полюс источника питания соединен с анодом, диод имеет обратное смещение и ток в цепи отсутствует.

Почему схема, представленная на рис. 18.3, называется од-

нополупериодным выпрямителем, становится ясным из рис. 18.3,в. Здесь показан график зависимости тока через выходную нагрузку от времени при переменном синусоидальном токе на входе выпрямителя. От момента T_1 до T_2 диод находится под прямым смещением и ток течет через нагрузку. В промежутке времени $T_2 - T_3$ диод находится под обратным смещением и тока в цепи нет. Период синусоидальной волны длится от момента T_1 до T_3 , т. е. используется только половина волны. Выходная волна, показанная на рис. 18.3в, называется однополупериодной пульсирующей волной постоянного тока. Слово "пульсирующая" указывает, что строго говоря это не есть постоянный ток.

Однополупериодный выпрямитель дешев, однако приводит к потере энергии, так как используется только половина волны переменного тока на входе. Повысить эффективность можно с помощью двухполупериодной выпрямительной схемы, в которой используется энергия всей волны. На рис. 18.4а показана типичная схема такого выпрямителя на основе трансформатора с центральным выводом во вторичной обмотке. Центральный вывод обычно имеет нулевой потенциал (в большинстве случаев он заземляется), и поэтому потенциалы нижнего и верхнего выводов вторичной обмотки всегда имеют противоположные знаки. Во время одного полупериода потенциал точки А положителен относительно центрального вывода, а точки В отрицателен. В следующем полупериоде ситуация меняется на противоположную. Соответственно во время одного полупериода диод D_1 смещен в прямом направлении, а диод D_2 в обратном. Во время следующего полупериода диод D_1 смещен в обратном направлении, а диод D_2 - в прямом.

Проследим работу схемы на рис. 18.4а за один полный период переменного тока. Во время первого полупериода потенциал в точке А положителен, диод D_1 смещен в прямом направлении и пропускает ток, диод D_2 смещен в обратном направлении. Ток I_1 течет от центрального вывода через нагрузку R , диод D_1 и возвращается в трансформатор через точку А. Во время следующего полупериода ток I_2 течет от центрального вывода через нагрузку R , диод D_2 и возвращается в трансформатор через точку В. Итак, токи I_1 и I_2 одинаковы, генерируются во время противоположных полуциклов и текут через нагрузку R в одном направлении. Таким образом, мы получили однонаправленный ток через нагрузку R во время обоих полупериодов синусоидальной волны переменного тока. Результирующая волна тока показана на рис. 18.4б и называется двухполупериодной пульсирующей волной постоянного тока.

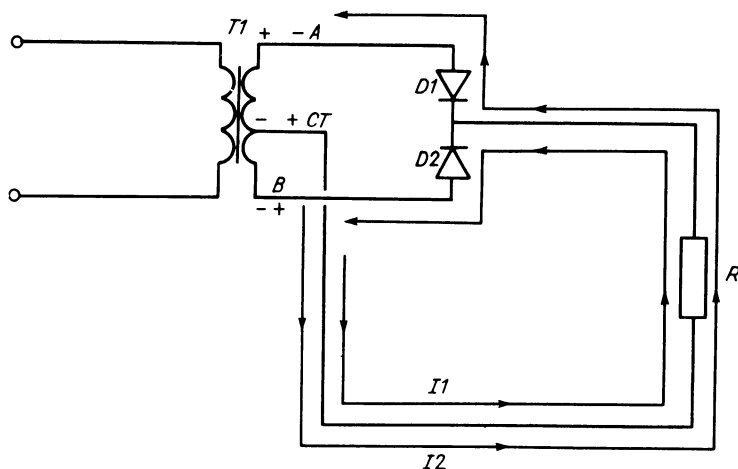


Рис.18.4а. Схема двухполупериодного выпрямителя.

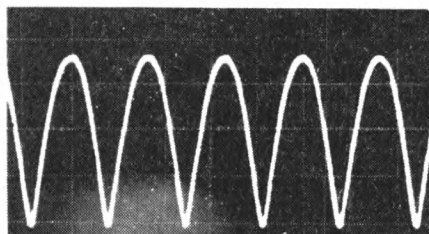


Рис.18.4б. Двухполупериодная волна на выходе выпрямителя.

Можно обойтись без трансформатора с центральным выводом, если использовать двухполупериодную мостовую выпрямительную схему (рис. 18.5а). В этой схеме требуется вдвое больше диодов, но применяется более простой трансформатор и принцип работы сходен с предыдущей схемой. Во время одного полуцикла потенциал точки А положителен, а точки В отрицателен. Ток I_1 течет от точки В, через диод D3, нагрузку R, диод D4 и возвращается в трансформатор через точку А. Во время следующего полуцикла потенциал точки В положителен, а точки А отрицателен. В этом случае ток I_2 течет от точки А, через диод D3, нагрузку R (в том же направлении, что I_1), диод D2 и возвращается в трансформатор через точку В.

В некоторых случаях можно использовать четыре дискретных диода $D1 - D4$ для создания мостового выпрямителя. Однако в современном оборудовании чаще используется интегральный мостовой выпрямитель, который выполнен в едином корпусе с четырьмя выводами. На рис. 18.56 показаны два обозначения для интегральных мостовых выпрямителей.

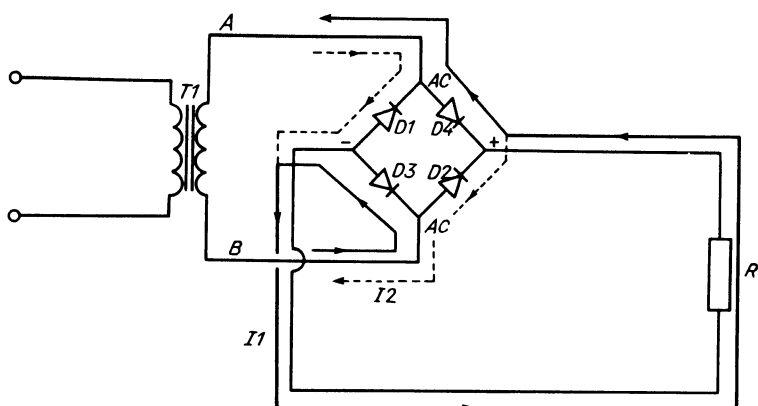


Рис. 18.5а. Схема двухполупериодного мостового выпрямителя.

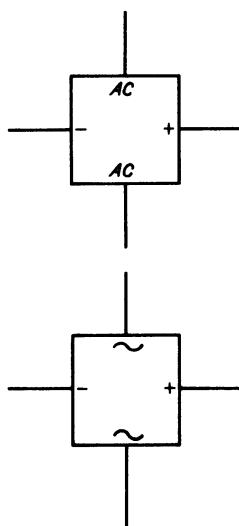


Рис. 18.5б. Обозначения для интегральных мостовых выпрямителей.

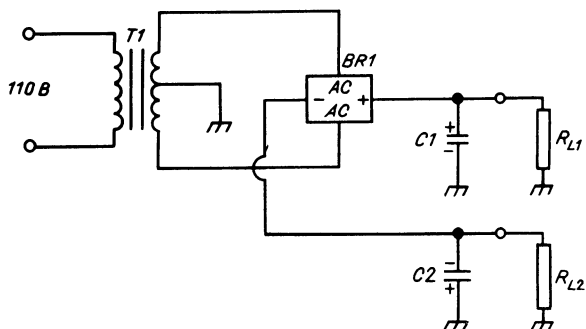


Рис. 18.5в. Биполярный источник питания.

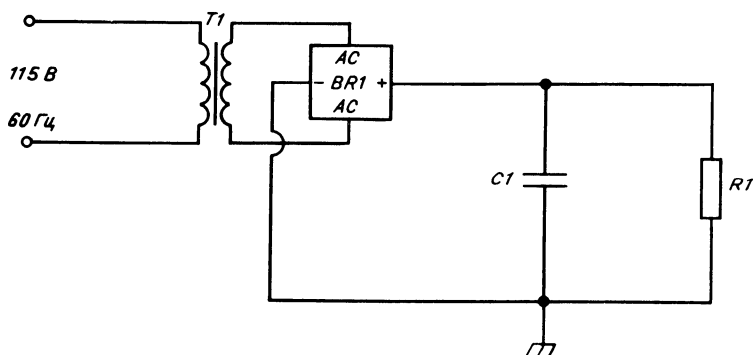


Рис. 18.6а. Схема выпрямителя с фильтрующим конденсатором.

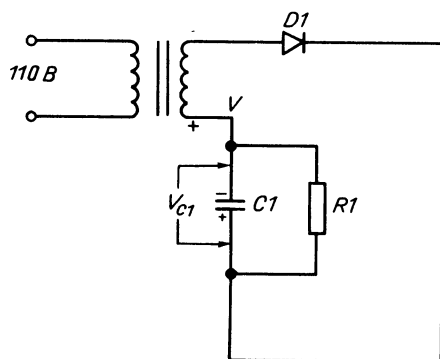


Рис. 18.6б. Видоизмененная схема.

На рис. 18.5в показан биполярный выпрямитель. Эта схема часто применяется в настоящее время, так как во многих видах оборудования используется биполярное питание. ОУ и некоторые КМОП-схемы требуют питания ± 12 В. Биполярный источник питания с двухполупериодным выходным током можно сделать на основе интегрального мостового выпрямителя и трансформатора с центральным выводом. Центральный вывод является общим (или заземленным); положительный потенциал создается на положительном выводе интегральной мостовой схемы, отрицательный - на отрицательном.

Пульсирующий постоянный ток в большинстве случаев так же бесполезен для питания, как и переменный. Однако можно отфильтровать пульсирующий ток и преобразовать его в близкий к постоянному. Тема фильтрации выходит за рамки настоящей главы, но следует хотя бы кратко рассмотреть простейший фильтр в источнике питания, чтобы подобрать выпрямитель по назначению. На рис. 18.6а представлена схема простого источника питания с фильтрующим конденсатором C_1 , шунтирующим нагрузку R_1 , что позволяет преобразовать пульсирующий ток в близкий к постоянному. Конденсатор заряжается до потенциала, соответствующего пиковому напряжению, которое в 1,414 раза превышает среднеквадратичное.

ВЫБОР ВЫПРЯМИТЕЛЬНЫХ ДИОДОВ

При отборе диодов для источника питания наиболее важны два параметра: максимально допустимые прямой ток и обратное напряжение. Если эти параметры выбраны правильно, то, как правило, выпрямитель работает надежно.

Максимально допустимый прямой ток диода должен быть по крайней мере равен максимальному току через нагрузку источника питания. Это очевидно, однако на практике необходимо иметь запас надежности с учетом разброса параметров диодов и возможного изменения параметров нагрузки. Выбор диода с максимально допустимым прямым током выше тока нагрузки существенно повышает надежность. Эмпирически известно, что максимально допустимый прямой ток должен превышать расчетное значение тока нагрузки в 1,5 - 2 раза или более, если такой диод имеется. Хотя выбор диода с максимальным прямым током (например, 100 А для цепи с током 1 А) является расточительным, обычно этот параметр должен быть как можно более высоким. Правило о превышении в 1,5 - 2 раза позволяет получить разумный минимальный запас прочности.

Выбор максимально допустимого обратного напряжения немого сложнее. В чисто резистивных цепях без фильтров этот

параметр должен превышать максимальное пиковое значение приложенного переменного потенциала (1,414 от среднеквадратичного). Если требуется 20%-ный запас надежности, максимально допустимое обратное напряжение должно в 1,7 раза превышать среднеквадратичное значение напряжения.

В большинстве выпрямителей используются фильтрующие цепи (рис. 18.6б), и это вносит свои коррективы. На рис. 18.6б изображена простая схема с емкостной фильтрацией, видоизмененная для наглядности анализа. Конденсатор C_1 заряжен до максимального пикового значения, а его полярность неизменна. Вторичная обмотка трансформатора соединена последовательно с конденсатором и их потенциалы складываются. Когда потенциал V трансформатора положителен, он компенсируется потенциалом конденсатора и обратное напряжение на диоде равно нулю. Но, когда потенциал V отрицателен, два отрицательных потенциала V и V_{C_1} складываются. Результирующее напряжение превышает пиковое значение в два раза, что примерно в 2,83 раза выше среднеквадратичного значения приложенного напряжения. Для 20%-ного запаса надежности (а это неплохо) максимально допустимое обратное напряжение должно превышать среднеквадратичное значение в 3,4 раза (или более).

ПОДКЛЮЧЕНИЕ ВЫПРЯМИТЕЛЬНЫХ ДИОДОВ

В большинстве случаев, особенно в низковольтных источниках питания, диоды подключаются согласно вышеприведенным схемам. Тем не менее на рис. 18.7а показано “правильное” подключение полупроводникового выпрямительного диода. Резистор R_1 , подключенный последовательно диоду, ограничивает прямой ток. Во многих схемах, особенно с емкостными фильтрами, в момент включения происходят броски тока. Это может повредить диод, что предотвращается резистором R_1 . Сопротивление R_1 составляет обычно 5 - 20 Ом. Часто можно избежать применения этого сопротивления повышением максимально допустимого прямого тока диода (например, выбрав его вдвое превышающим ток нагрузки). Во многих схемах роль последовательно подключенного резистора играет сопротивление вторичной обмотки трансформатора.

Конденсатор C_1 на рис 18.7а используется для отвода от диода высоковольтных переходных всплесков напряжения, которые могут повредить *pn*-переход. В самом деле, высоковольтные броски напряжения часто приводят к повреждениям. Параллельно подключенный конденсатор помогает решить эту проблему. Рабочее напряжение конденсатора должно быть не меньше максимально допустимого обратного напряжения диода.

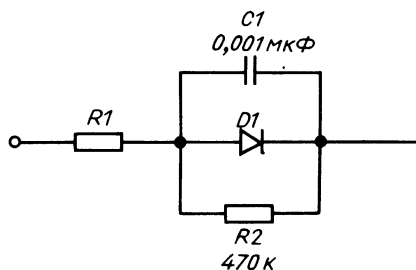


Рис. 18.7а. “Правильное” подключение полупроводникового выпрямительного диода.

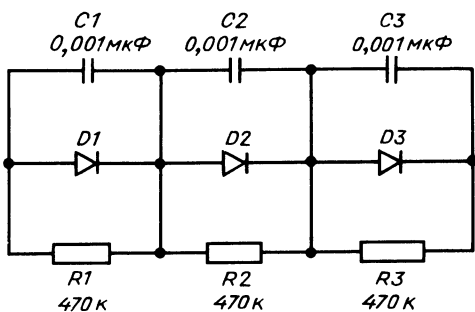


Рис. 18.7б. Диодный мост для высоковольтных источников питания.

Включая даже в низковольтные схемы диоды с максимально допустимым обратным напряжением 1000 В, можно значительно снизить вероятность повреждений от воздействия переходных процессов и избежать необходимости использования дополнительных конденсаторов. Конденсатор также не нужен, если применять металлоксидные варисторы для подавления переходных всплесков, подключенные параллельно клеммам переменного питания.

На рис. 18.7б показан метод увеличения максимально допустимого обратного напряжения. Если максимально допустимое обратное напряжение всех диодов одинаково, то для всей схемы оно повышается в 4 раза. Как правило, в таких схемах используются диоды, рассчитанные на 1000 В, так что для всей схемы максимально допустимое напряжение составит 4000 В.

Конденсаторы в схеме на рис. 18.7б выполняют ту же функцию, что и в схеме на рис. 18.7а, а резисторы имеют другое назначение. Они уравнивают напряжения прямого смещения на диодах. Для диодов, рассчитанных на 1000 В, требуются сопро-

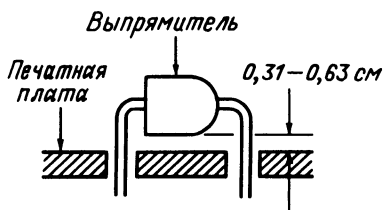


Рис. 18.8. Правильный монтаж диода на печатной плате.

тивления 470 кОм, 1 Вт. Номинал по мощности определяется не рассеиваемой сопротивлением мощностью, а рабочим напряжением.

На рис. 18.8 показан метод монтажа на печатной плате диодов с осевыми выводами. Такой монтаж применяется всегда, за исключением работы в условиях сильных вибраций, когда требуется повышенная устойчивость оборудования. Зазор между диодом и платой необходим для циркуляции воздуха (это охлаждает диод) и предотвращения нагрева печатной платы.

В устаревшем оборудовании, попадающем в ремонт, часто используются редкие и дорогие ламповые выпрямители. Почти во всех случаях их можно заменить полупроводниковыми диодами. Если речь идет о маломощном выпрямителе, то диод можно просто подсоединить к ламповой панели. В других случаях могут потребоваться специальные внешние платы, например, при монтаже схемы, показанной на рис. 18.7б. Такой подход стал популярным несколько лет назад в связи с заменой ртутных ламповых выпрямителей (866А, 872 и т.п.), а затем стал широко использоваться в источниках питания для радиопередатчиков.

СТАБИЛИЗАТОРЫ НАПЯЖЕНИЯ

Стабилизатор напряжения представляет собой устройство, которое поддерживает постоянный уровень выходного напряжения при определенных изменениях параметров схемы. Некоторые электронные схемы либо вообще не могут работать, либо работают в неправильных режимах, либо могут преждевременно выйти из строя, если питание постоянного тока не стабилизировано.

Есть по крайней мере две причины, вызывающие изменение выходного напряжения источника питания постоянного тока. Наиболее очевидная - допустимые колебания сетевого переменного напряжения. Нормальное значение сетевого напряжения в США - 110 или 115 В, но оно редко бывает таким. Обычно

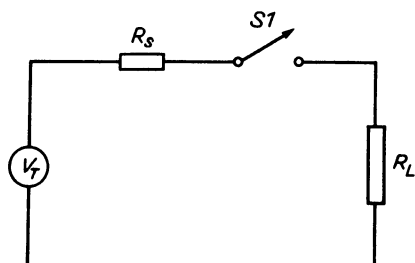


Рис. 18.9. Проблема стабилизации напряжения связана с наличием внутреннего сопротивления источника питания.

оно изменяется в пределах от 105 до 125 В, хотя иногда падает до 95 В (к счастью, это случается редко).

Другая причина - изменение токовой нагрузки. Идеальный источник постоянного питания имеет нулевое внутреннее сопротивление (идеальный источник напряжения), но это никогда не достигается на практике - все источники питания имеют нулевое внутреннее сопротивление. Влияние внутреннего сопротивления источника на выходное напряжение можно рассмотреть на примере схемы, показанной на рис. 18.9. Идеальный источник напряжения обозначен V_T , а R_S - реальное внутреннее сопротивление. Если отключить нагрузку R_L , вольтметр покажет некоторое значение напряжения. При замкнутом ключе $S1$ через R_L потечет ток, что приведет к падению напряжения на сопротивлении R_S , равному IR_S . Напряжение на нагрузке R_L будет равно $V_T - IR_S$.

Стабильность источника питания характеризуется коэффициентом стабильности, который определяется на основе схемы на рис. 18.9:

$$\text{Reg} (\%) = (V - V_0) / V,$$

где V - напряжение при разомкнутой цепи, V_0 - выходное напряжение при подключенной нагрузке.

СТАБИЛИЗАТОРЫ НАПЯЖЕНИЯ НА СТАБИЛИТРОНАХ

Полупроводниковые стабилитроны являются простейшими стабилизаторами напряжения. На рис. 18.10а показано условное их обозначение, а на рис. 18.10б - типичная вольт-амперная характеристика. Обратите внимание, что при положительном потенциале стабилитрон работает как любой диод с *pn*-переходом. Ток ограничивается током утечки при потенциале от нуля до потенциала *pn*-перехода (примерно 0,6, - 0,7 В для кремниевого



Рис. 18.10а. Условное обозначение стабилитрона.

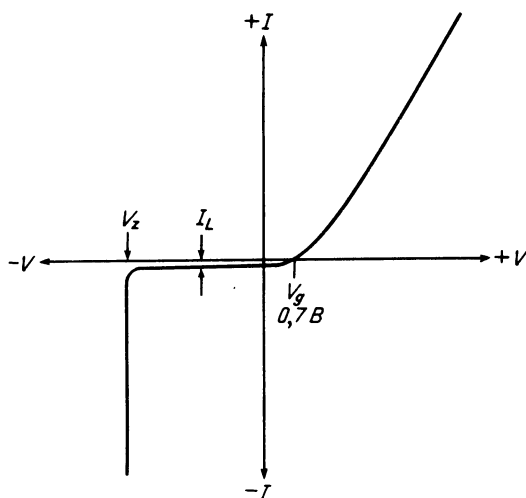


Рис. 18.10б. Вольт-амперная характеристика стабилитрона.

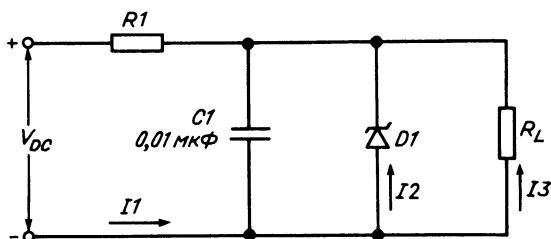


Рис. 18.10в. Схема стабилизации напряжения на стабилитроне.

диода), а выше быстро возрастает примерно по закону Ома.

Ток ограничивается током утечки в области обратного смещения, т. е. там, где потенциал анода отрицателен относительно катода) до тех пор, пока обратное смещение не достигнет

критической точки - точки пробоя V_Z . Здесь обратный ток диода резко возрастает. Хотя потенциал пробоя может изменяться, для многих практических приложений он достаточно стабилен вне зависимости от изменения потенциала. Таким образом, стабилитрон можно использовать для стабилизации напряжения.

Обычная схема стабилизации напряжения на стабилитроне приведена на рис. 18.10в. Напряжение V_{DC} - напряжение на фильтрующем конденсаторе в источнике питания постоянного тока, R_L - нагрузка, $R1$ - последовательно включенный резистор, ограничивающий ток в режиме пробоя диода, $D1$ - стабилитрон. Заметим, что выходное напряжение V совпадает с напряжением на стабилитроне V_Z . Из закона Кирхгофа следует: $I1 = I2 + I3$, где $I3$ - ток нагрузки, а $I2$ - ток стабилитрона.

Расчет стабилизатора включает четыре этапа: 1) выбор рабочего напряжения стабилитрона исходя из параметров источника питания, 2) выбор сопротивления $R1$ и определение рассеиваемой им мощности, 3) вычисление мощности, рассеиваемой стабилитроном, 4) выбор стабилитрона, удовлетворяющего п. 1 и 3.

Существует три общих набора условий, в которых может работать стабилитрон:

Условие I. Переменное входное напряжение V_{in} , постоянный ток нагрузки $I3$.

Условие II. Постоянное входное напряжение, переменный ток нагрузки.

Условие III. Переменное входное напряжение, переменный ток нагрузки.

РАСЧЕТ ДЛЯ УСЛОВИЯ I

1. Выберите напряжение V_Z исходя из практических условий.

2. Вычислите ток нагрузки $I3$ (т. е. $V_Z/R1$).

3. Вычислите сопротивление $R1$:

$$R1 = (V_{in\ min} - V_Z) / 1,1 I3.$$

4. Вычислите мощность, рассеиваемую диодом:

$$P_{D1} = ((V_{in\ max} - V_Z)^2 / R1) - I3 V_Z.$$

5. Вычислите мощность, рассеиваемую резистором $R1$:

$$P_{R1} = P_{D1} + I3 V_Z.$$

При подборе сопротивления и стабилитрона выбранные стандартные номиналы (например, 0,5, 1, 5 Вт) должны превышать расчетные. Для создания запаса надежности это превышение должно быть не менее 50%.

РАСЧЕТ ДЛЯ УСЛОВИЯ II

1. Выберите напряжение V_Z исходя из практических условий.

2. Вычислите максимальный ток нагрузки I_3 .

3. Вычислите сопротивление $R1$:

$$R1 = (V_{in} - V_Z) / 1,1 I_3.$$

4. Вычислите мощность, рассеиваемую резистором (см. условие I).

5. Вычислите мощность, рассеиваемую диодом (см. условие I).

РАСЧЕТ ДЛЯ УСЛОВИЯ III

1. Выберите напряжение V_Z исходя из практических условий.

2. Вычислите максимальный ток нагрузки I_3 .

3. Определите максимальное ожидаемое входное напряжение V_{in} .

4. Вычислите сопротивление $R1$ так же, как в п. 3 условия I.

5. Вычислите мощность, рассеиваемую диодом (см. условие I).

6. Вычислите мощность, рассеиваемую резистором (см. условие I).

ОГРАНИЧЕНИЕ. Стабилитрон не является идеальным стабилизатором напряжения. Область его применения ограничивается на практике слабыми и умеренными рабочими токами. При высоких токах лучше использовать одну из схем стабилизации (они будут рассмотрены ниже), в которых стабилитрон является источником опорного напряжения для сильноточных элементов. Когда требуется прецизионная стабилизация напряжения или повышенная термостабильность, необходимо использовать специальные стабилитроны с напряжением запрещенной зоны, также называемые опорными диодами.

ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫЕ СТАБИЛИЗАТОРЫ НАПЯЖЕНИЯ

Ограничение стабилитронов по току можно преодолеть с помощью последовательно включенного транзистора ($Q1$ на рис. 18.11а). Высокий ток регулируется транзистором, а стабилитрон задает потенциал базы. Номинальное выходное напряжение составит $V_Z - V_{BE}$. Максимальный выходной ток приблизительно равен произведению тока базы I_B и коэффициента бета в транзисторе $Q1$.

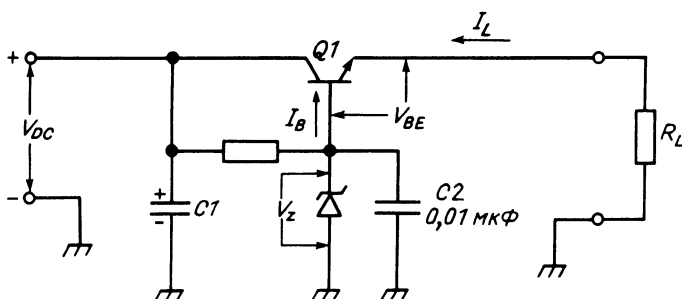


Рис. 18.11а. Последовательный стабилизатор напряжения.

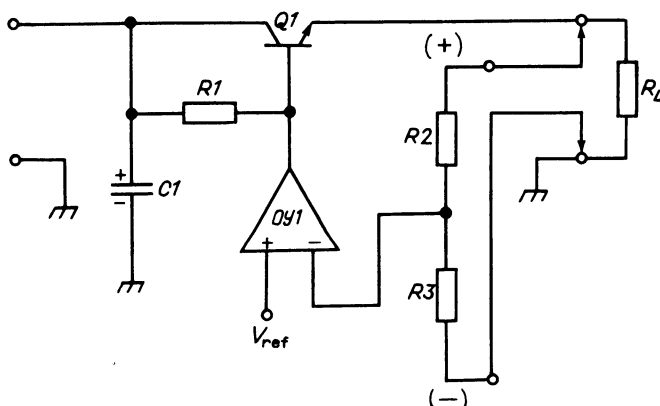


Рис. 18.11б. Последовательный стабилизатор напряжения с обратной связью.

Другим примером является стабилизатор с обратной связью (рис. 18.11б). В этой схеме часть выходного напряжения и опорный потенциал подаются на дифференциальные входы усилителя ОУ в цепи обратной связи. Когда потенциалы $V(\text{OY1})$ и V_{ref} различны, усилитель повышает смещение базы, увеличивая выходное напряжение. Стабильное значение выходного напряжения определяется потенциалом V_{ref} .

Схема на рис. 18.11б имеет одно полезное свойство в случае сильноточных источников питания, особенно если напряжение прикладывается к точкам, отстоящим от нагрузки на несколько сантиметров. Делитель напряжения $R1/R2$ подает часть выходного напряжения на усилитель ОУ1. Положительная и отрицательная шины делителя напряжения не связаны с основными токоведущими шинами. Это позволяет подключить эти шины непосредственно к тем точкам цепи, где должно поддерживаться

точное значение выходного напряжения. Например, в цифровых ТТЛ-схемах требования к стабильности потенциала +5 В не такие жесткие, как в печатных платах микрокомпьютеров. Если подключить плюсовую шину к шине +5 В печатной платы, а минусовую - к заземляющей шине, то цепь обратной связи будет поддерживать заданное напряжение на печатной плате, а не на выходе источника питания! Этот метод позволяет устранить проблемы, связанные с падением напряжения на сопротивлении подводящих проводов.

ТРЕХВЫВОДНЫЕ ИНТЕГРАЛЬНЫЕ СТАБИЛИЗАТОРЫ НАПЯЖЕНИЯ

Стабилизатор напряжения для небольших токов (до 5А) легко реализуется на основе интегральных трехвыводных стабилизаторов. Схема с трехвыводным интегральным стабилизатором показана на рис. 18.12, а типичные выводы корпусов таких стабилизаторов - на рис. 18.13. Конденсатор С1 - обычный фильтрующий конденсатор, который должен иметь емкость 1000 мкФ на 1 А тока нагрузки (некоторые авторы настаивают на 2000 мкФ/А). Конденсатор С1 используется для сглаживания переходных процессов при внезапных повышении потребляемого тока (например, в цифровых схемах) и должен иметь емкость примерно 100 мкФ на 1 А тока нагрузки. Конденсаторы С2 и С3 служат для защиты от переходных помеховых импульсов. Обычно они имеют емкость от 0,1 до 1 мкФ и должны монтироваться как можно ближе к корпусу стабилизатора ИС1.

Диод D1 не всегда изображается на схемах, но очень полезен, если используется конденсатор С4. В его отсутствие при выключении схемы конденсатор С4 разрядится через стабилизатор, что может привести к повреждению. При токе стабилизатора 2 А диод должен быть рассчитан на ток 1 А; при более высоких токах стабилизатора ток диода тоже должен быть повышен. Для большинства источников питания, рассчитанных на токи меньше 1 А, подойдут легко доступные диоды 1N4002, 1N4003, 1N4004, 1N4007.

Несколько типов корпусов трехвыводных интегральных стабилизаторов напряжения показаны на рис. 18.13. Корпуса Н-типа применяются при токах до 100 мА, К-типа - до 1 А, Т-типа - до 750 мА.

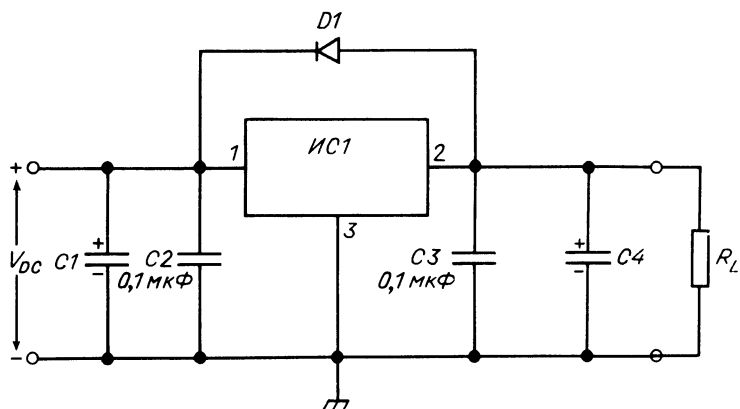


Рис. 18.12. Трехвыводной интегральный стабилизатор напряжения.

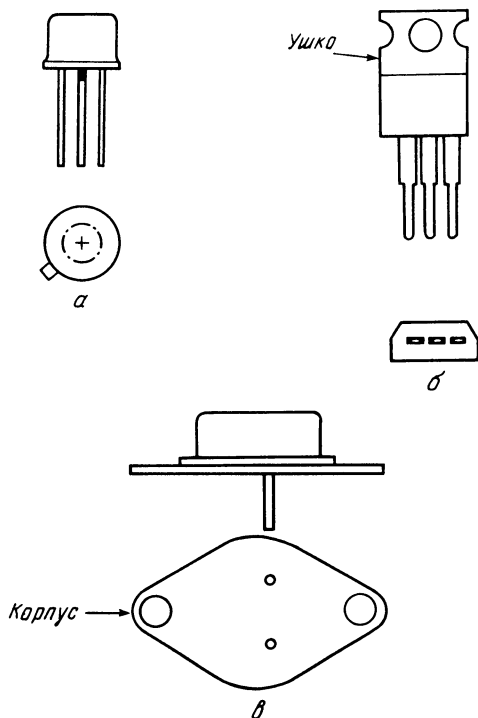


Рис. 18.13. Корпуса интегральных стабилизаторов: а - Н-корпус, б - Т-корпус, в - К-корпус.

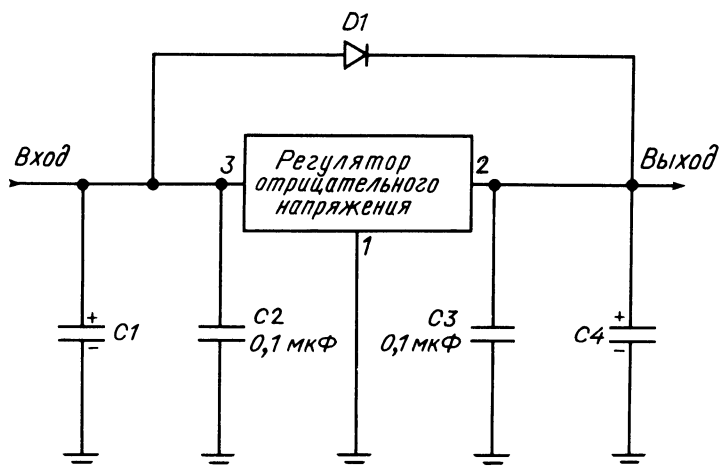


Рис. 18.14. Трехвыводной интегральный стабилизатор отрицательного напряжения.

Есть два основных семейства интегральных регуляторов. Некоторые маркируются символом 78xx, где на 3-й и 4-й позиции записывается уровень фиксированного выходного напряжения. Например, 7805 соответствует 5 В, а 7812 - 12 В. Используется также серия LM-340у-xx. Здесь на позиции у записывается тип корпуса (Н, К или Т), а на позиции xx - напряжение. Таким образом, маркировка LM-340K-05 означает стабилизатор в К-корпусе (типа ТО-3), рассчитанный на ток 1 А с фиксированным выходным напряжением 5 В, LM-340T-12 - регулятор в пластмассовом корпусе ТО-220 от мощного транзистора, рассчитанный на ток 750 мА при фиксированном выходном напряжении 12 В.

Стабилизаторы отрицательного напряжения маркируются символами 79xx и LM-320у-xx. Типичная схема их подключения показана на рис. 18.14. Обратите внимание, что диод имеет противоположную ориентацию, так же как и полярности конденсаторов C1 и C4. Расположение выводов также отличается. Часто стабилизаторы отрицательного напряжения выходят из строя из-за рассеянности техников, забывших об этом маленьком различии!

Минимальное входное напряжение интегрального стабилизатора превышает выходное на 2,5 В, т. е. для стабилизатора с фиксированным выходным уровнем +5 В минимальное входное напряжение составляет 7,5 В. Рассеиваемая мощность пропорци-

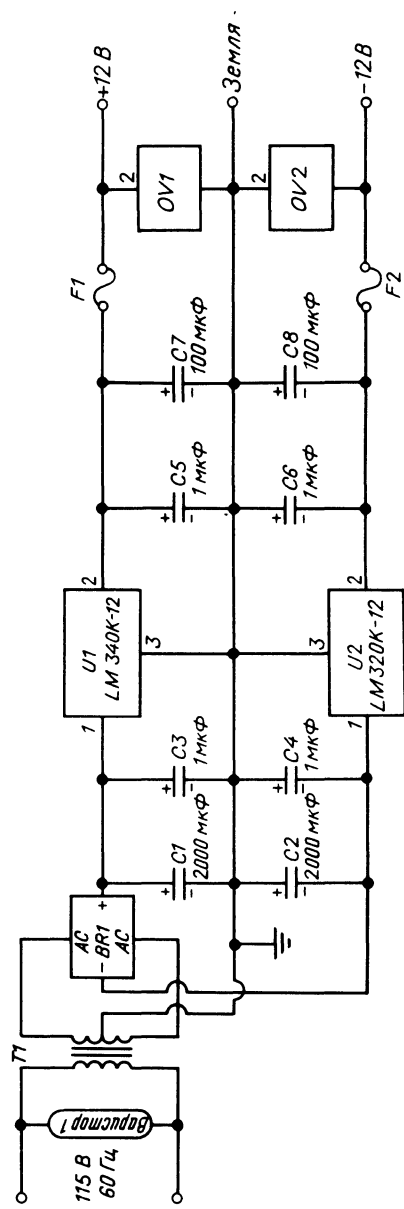


Рис. 18.15. Биполярный стабилизированный источник питания.

ональна разности входного и выходного потенциалов. Для стабилизатора, рассчитанного на 1 А, рассеиваемая мощность составит 2,5 Вт при минимальном уровне входного напряжения. Чем выше напряжение, тем больше рассеиваемая мощность. Рекомендуется использовать входное напряжение как можно более близкое к минимальному. Для источников питания с входным напряжением +5 В, используемых в цифровых схемах, трансформатор питания цепей накала на 6,3 В вполне достаточен. Если при этом используется двухполупериодный выпрямитель с фильтрующим конденсатором большой емкости, постоянное входное напряжение составит +8 В.

На рис. 18.15 показана схема биполярного стабилизированного источника питания постоянного тока. Здесь используется интегральный мостовой выпрямитель на 1 А (помните о максимально допустимом обратном напряжении!). Центральный вывод вторичной обмотки трансформатора Т1 задает нулевой опорный потенциал и, таким образом, мостовая схема образует пару двухполупериодных выпрямителей с общим источником переменного тока. В схеме используются устройства для защиты от перенапряжения OV1 и OV2 на случай замыкания стабилизаторов U1 или U2.

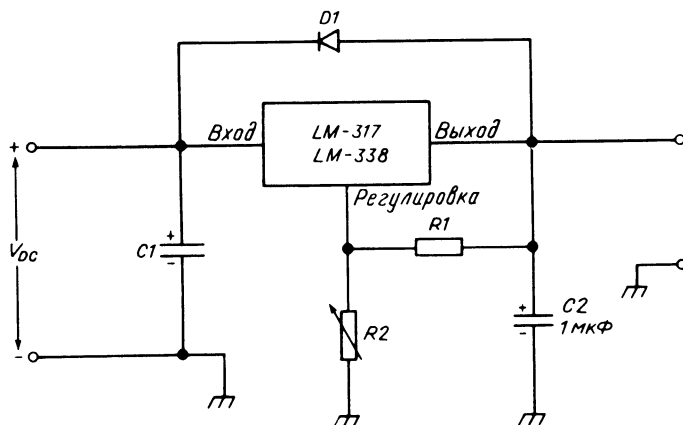


Рис. 18.16. Регулируемый источник питания на основе интегральных стабилизаторов напряжения LM-317 и LM-338.

РЕГУЛИРУЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ПИТАНИЯ С ИНТЕГРАЛЬНЫМИ СТАБИЛИЗАТОРАМИ НАПЯЖЕНИЯ

Стабилизаторы напряжения LM-317 и LM-338 позволяют получать токи от 1,5 до 5 А соответственно при напряжениях до +32 В. На рис. 18.16 показана типичная схема на основе этих стабилизаторов. Входное напряжение должно быть на 3 В выше максимального выходного. Выходное напряжение задается отношением сопротивлений R_1 и R_2 , т. е.

$$V_{\text{out}} = 1,25 \text{ В} (R_2/R_1 + 1).$$

В примере, взятом из справочника фирмы National Semiconductor, $R_1 = 120 \text{ Ом}$, а в качестве R_2 установлен потенциометр на 5 кОм. В результате выходное напряжение регулируется от 1,2 до 25 В при входном напряжении 28 В. Диод D_1 может быть 1N4002 - 1N4007, а для стабилизатора LM-338 подойдет любой диод на 3 А.

ЗАЩИТА ОТ ПЕРЕНАПЯЖЕНИЯ

Схема питания, показанная на рис 18.17, называется тиристорной схемой автоматического шунтирования выхода источника питания и применяется для защиты цепей, питающихся от стабилизированных источников постоянного тока в случае отказа стабилизации. Однооперационный триодный тиристор, подключенный параллельно выходным клеммам, вызывает расплавление предохранителя, если выходное напряжение превышает заданный уровень. Рассмотрим в качестве примера источник питания на +5 В. Диод D_1 является стабилитроном с потенциалом пробоя, немного превышающим заданное выходное напряжение. В большинстве случаев для защиты в источнике питания на +5 В можно выбирать потенциал пробоя от 5,6 до 6,8 В.

Диод D_2 - это однооперационный триодный тиристор. Он находится в закрытом состоянии (т. е. имеет высокое сопротивление в обоих направлениях), пока не появится ток в цепи управляющего электрода. Тогда тиристор открывается и работает как обычный диод с *pn*-переходом.

Ток управляющего электрода тиристора D_2 задается цепью вокруг диода D_1 . Когда напряжение на выходе источника питания превысит потенциал пробоя стабилитрона D_1 , через него потечет ток, создавая падение напряжения на резисторе R_2 . Это напряжение создает ток через резистор R_1 и управляющий электрод тиристора D_2 . Тогда тиристор переходит в проводящее состояние и замыкает шины питания. Часто последовательно шине питания подключен плавкий предохранитель, который расплавляется при открытии тиристора. Иногда предохранитель

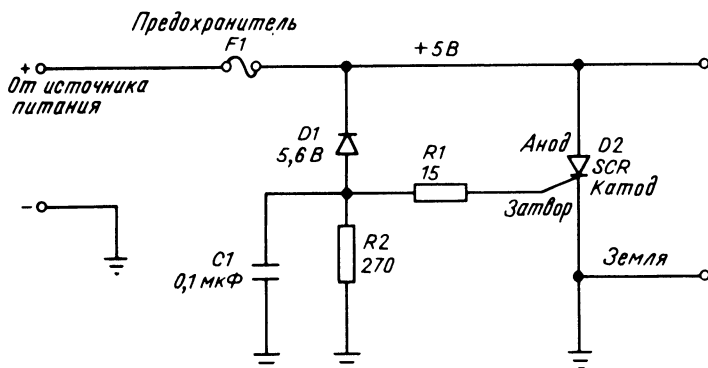


Рис. 18.17. Тиристорная схема автоматического шунтирования выхода источника питания для защиты от перенапряжения.

стоит в плюсовой шине стабилизатора напряжения, но иногда вообще отсутствует. В таких цепях тиристор D2 должен быть рассчитан на очень большие токи, так как через них пойдет ток короткого замыкания источника питания. Это снизит выходной потенциал почти до потенциала земли, пока схема не будет выключена.

Эта схема достаточно эффективна. Несколько видов неисправностей источников питания могут привести к перенапряжению. Данная схема является дешевым защитным устройством.

Фирма Lambda Electronics предлагает для защиты от перенапряжения несколько устройств в интегральном исполнении (рис. 18.18). Уровни токов 2, 6, 12, 20 и 35 А при напряжении 5, 6, 12, 15, 18, 20, 24, 28 и 30 В. Для этих устройств применяется несколько видов корпусов, которые также указывают уровень тока. Транзисторный корпус ТО-66 используется

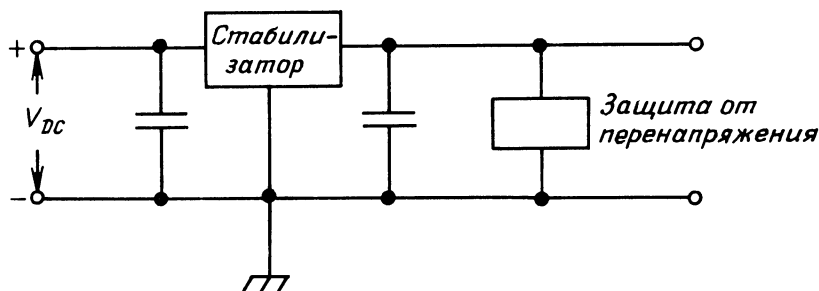


Рис. 18.18. Устройство защиты от перенапряжения фирмы Lambda Electronics.

при токах 2 А, а ТО-3 при токах 6 А. При более высоких токах используются эпоксидные корпуса. Защитные устройства фирмы Lambda имеют следующую маркировку: L-y-OV-xx, y - уровень тока в амперах, а xx - напряжение в вольтах. Таким образом, L-6-OV-5 - это устройство на 5 В, 6 А.

ОГРАНИЧЕНИЕ ТОКА

Замыкание на выходе источника питания тоже может вывести его из строя. При отсутствии защиты это может нарушить электрическую цепь. В источник питания можно ввести дополнительную схему, задающую пороговое значение тока, выше которого питание отключается. Пример такой схемы приведен на рис. 18.19.

Транзистор Q1 регулирует ток источника питания, а Q2 контролирует его величину. Некоторые интегральные стабилизаторы напряжения можно использовать в такой схеме, если у них есть "чувствительный" вывод (иногда такая схема встраивается в трехвыводной стабилизатор).

Резистор R2 используется как индикатор силы тока. Падение напряжения на нем создает прямое смещение транзистора Q2, пропорциональное току:

$$V(R2) = I_{\text{out}} R2.$$

Напряжение прямого смещения, переводящего кремниевый транзистор в режим насыщения, составляет около 0,6 В. Когда напряжение $V(R2)$ превышает это значение, транзистор Q2 оказывается под прямым смещением и замыкает переход база-эмиттер транзистора Q1, что приводит к отсечке мощного транзистора. Отсюда

$$R2 = 0,6 / I_{\text{out max.}}$$

Рассмотрим практический пример. Пусть низковольтный источник постоянного тока дает максимальный ток 10 А. Тогда

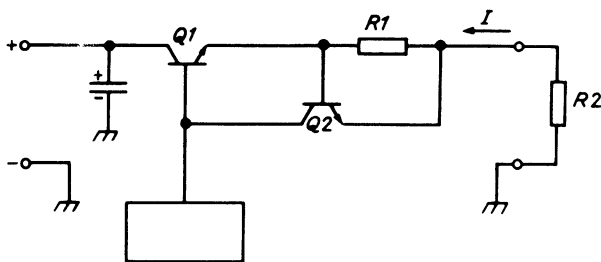


Рис. 18.19. Схема ограничителя выходного тока.

$$R_2 = 0,6/1 = 0,6/10 = 0,06 \text{ Ом.}$$

Такой резистор (60 мОм) трудно найти. Но его можно сделать самому, намотав из хорошей проволоки или создав с помощью параллельно соединенных сопротивлений-предохранителей. Например, сопротивления-предохранители на 0,33 Ом часто используются в автомобильных приемниках и звуковых усилителях мощности. Пять таких сопротивлений, соединенных параллельно, дадут результирующее сопротивление 60 мОм. Есть много сопротивлений-предохранителей от 0,09 до 1,5 Ом, из которых можно изготовить требуемое сопротивление.

ВЫХОДНЫЕ ИНДИКАТОРЫ

Один из первых вопросов, на который необходимо дать ответ при ремонте, это вопрос о питающем постоянном напряжении. С учетом того что источники питания часто выходят из строя, полезно иметь индикатор напряжения. Для этой цели некоторые фирмы помещают светодиоды на печатных платах, на выходах источников питания или на передней панели прибора. Светодиод на передней панели прибора служит одновременно индикатором и подсветкой.

На рис. 18.20 показана типичная схема выходного индикатора. Светодиод и резистор R_1 , ограничивающий ток, подключены параллельно выходу источника питания. Яркость светодиода определяется его током и поэтому обратно пропорциональна сопротивлению R_1 . Для наиболее распространенных светодиодов номинальный ток обычно составляет от 10 до 15 мА (или от 0,01 до 0,015 А). Сопротивление подбирается согласно закону Ома:

$$R = V_{\text{out}}/0,015.$$

При выходном напряжении +5 В используйте сопротивление

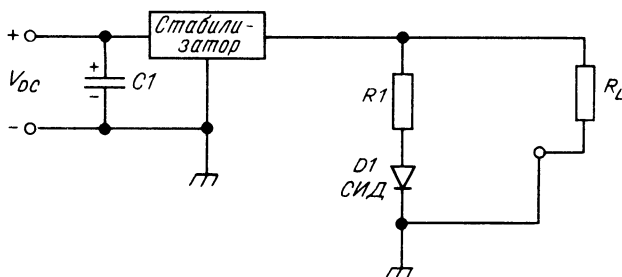


Рис. 18.20. Выходной индикатор.

330 Ом, а при +12 В - 820 Ом. Для других значений напряжения сопротивление изменяется пропорционально.

ИНДИКАТОРЫ РАЗРУШЕНИЯ ПЛАВКИХ ПРЕДОХРАНИТЕЛЕЙ

В этом разделе мы рассмотрим три типа индикаторов разрушения плавких предохранителей: 1) в цепи сетевого переменного тока, 2) в источнике постоянного тока, 3) в катере моего друга. Сеть переменного тока показана на рис. 18.21,а. Здесь плавкий предохранитель F1 включен последовательно с первичной обмоткой силового трансформатора. Индикатором разрыва служит неоновая лампочка NE-2. Последовательно с лампочкой подключен резистор R1. Некоторые фирмы поставляют неоновые лампочки вместе с сопротивлением. Комплект рассчитан на переменное напряжение 120 В. В нормальном состоянии лампа не горит, так как предохранитель замыкает лампу и резистор. Но если предохранитель расплавится, а ключ S1 замкнут, то на лампе и резисторе появляется разность потенциалов и лампа загорается.

Простая схема для источника питания постоянного тока показана на рис. 18.21,б. Здесь ситуация аналогична предыдущей, только лампа заменена на светодиод. Кроме того, необходим второй резистор на случай, если стабилизатор также выйдет из строя. Вообще говоря, полное сопротивление (оно определяется так же, как в предыдущем разделе) должно быть поделено поровну между R1 и R2.

В третьем варианте пара светодиод-резистор (рис.18.21в) подключена параллельно каждому предохранителю. Светодиод помещается рядом с соответствующим предохранителем. Когда происходит замыкание и предохранитель перегорает, загорается светодиод. Из-за большого различия рабочих токов светодиода и лампы накаливания схема срабатывает, когда предохранитель выходит из строя без замыкания (например, в результате старения).

ЗАЩИТА ОТ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ

Специалисты утверждают, что несколько раз в день по сетям переменного электропитания проходят электрические импульсы амплитудой до 1500 В и длительностью от 20 до 500 мкс. Этот факт не имел особого значения до тех пор пока широкое распространение не получили цифровые электронные приборы,

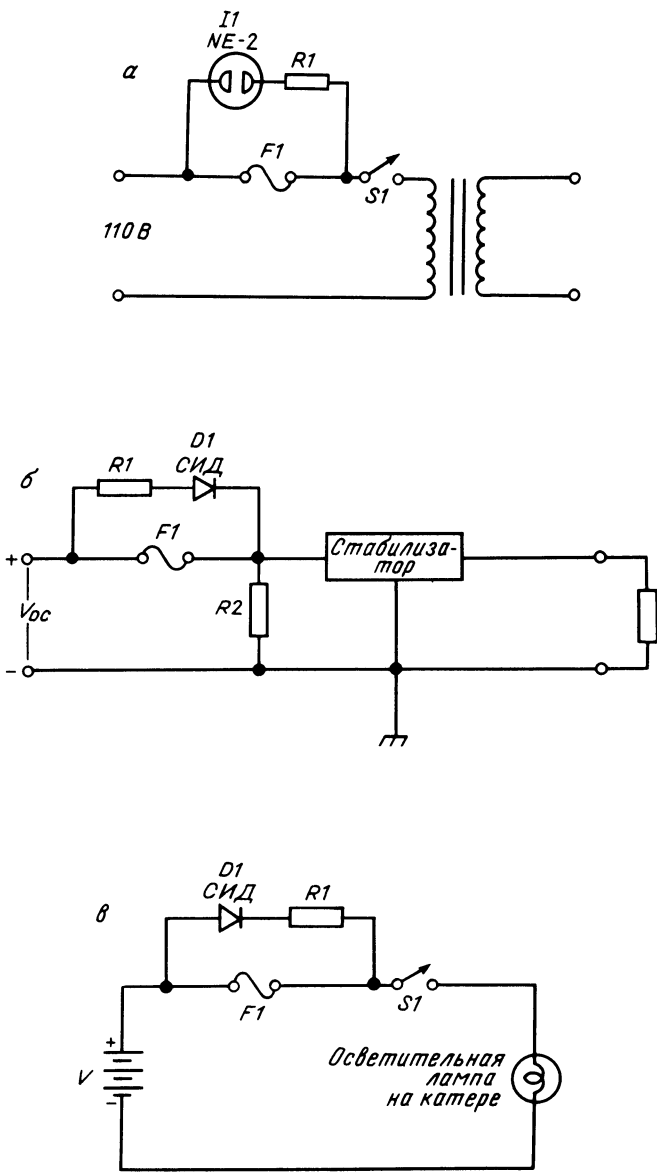


Рис. 18.21. Индикаторы разрушения плавких предохранителей.

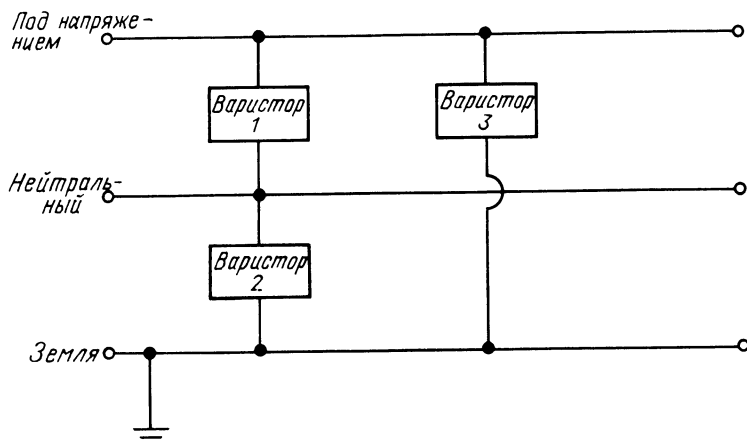


Рис. 18.22. Применение металлоксидных варисторов для защиты от переходных процессов.

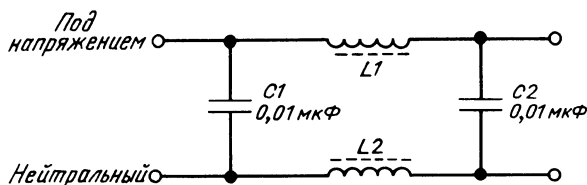


Рис. 18.23. LC-фильтр для защиты от электромагнитных помех.

включая компьютеры. Такие импульсы могут воздействовать на цифровые схемы. В результате схема будет неправильно функционировать или вообще выйдет из строя. Например, если в компьютере иногда происходят сбои в ходе выполнения проверенной программы, то причиной этого могут быть переходные процессы в сети переменного тока.

На рис. 18.22 показана схема с металлоксидным варистором, соединенным параллельно с сетевыми шинами. Обычно достаточно одного варистора, но в особенно серьезных случаях рекомендуется использовать и дополнительные варисторы. Эти устройства производятся фирмой General Electric (и другими фирмами) и могут быть смоделированы парой стабилизаторов, подключенных навстречу друг другу и имеющих напряжение пробоя около 180 В. Назначение варистора - отсекал переходные импульсы амплитудой выше 180 В.

Иногда возникает необходимость применения LC-фильтров нижних частот в сетях переменного тока. В случае мощных переходных импульсов, когда варистор недостаточен, или в при-

сутствии мощных ВЧ-полей (если рядом установлен радиопередатчик), или когда цифровой прибор создает радиопомехи, может пригодиться фильтр, показанный на рис. 18.23. Такой фильтр следует устанавливать как можно ближе к точке ввода силового электропитания в прибор. Фильтр следует размещать “ниже” плавкого предохранителя, так как в конденсаторах может возникнуть замыкание, которое приведет к пожару, если цепь не будет вовремя разомкнута предохранителем.

Некоторые фирмы производят экранированные фильтры, специально предназначенные для этих целей. Иногда такой фильтр встроен в разъем питания на шасси прибора, и это - одно из лучших решений.

УНИВЕРСАЛЬНЫЕ ТРАНСФОРМАТОРЫ

В наше время международная торговля приобрела широкий размах, и поэтому источники питания должны работать при обоих напряжениях переменного тока - 110 и 220 В. На рис. 18.24 показан трансформатор с составной первичной обмоткой, удовлетворяющей этому требованию. Если две первичные обмотки соединены параллельно (рис. 18.24,а), то трансформатор выдает номинальное выходное напряжение при сетевом напряжении 110 В. При последовательном соединении обмоток трансформатор работает при входном напряжении 220 В (рис. 18.24,б).

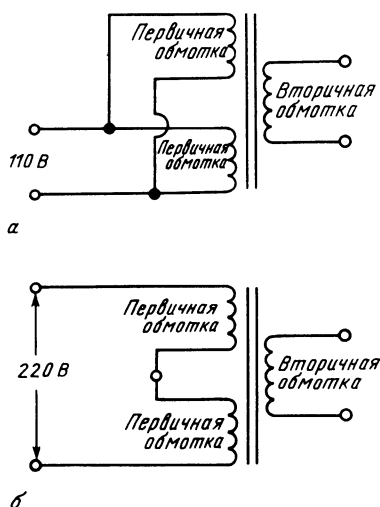


Рис. 18.24. Трансформатор с двойной первичной обмоткой, рассчитанный на входные напряжения 110 и 220 В.

Такой трансформатор можно изготовить на основе двух согласованных трансформаторов, вторичные обмотки которых соединяются последовательно или параллельно. Если выходное напряжение равно нулю или близко к нулю, поменяйте местами провода одной из вторичных обмоток. Дело в том, что два напряжения взаимно компенсируют друг друга. Этот прием можно использовать для замены устаревших частей оборудования и продления срока службы.

ПОИСК НЕИСПРАВНОСТЕЙ В ИСТОЧНИКАХ ПИТАНИЯ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Прежде всего будьте осторожны! В источниках постоянного тока могут использоваться высокое переменное и постоянное напряжения, которые могут привести к смертельному исходу при случайном контакте с ними. Соблюдайте правила техники безопасности.

Перед включением внимательно осмотрите источник питания. Понюхайте, нет ли запаха, выделяемого подгоревшими трансформаторами, резисторами и т. д. Обратите внимание на выделение черного “вара” из трансформаторов, что может свидетельствовать о коротком замыкании. Осмотрите фильтрующие конденсаторы. Осмотрите фильтрующие конденсаторы. Сухие оксидные конденсаторы могут иметь вспученные или разрушенные корпуса, могут обнаружиться подтеки сухого или клейкого вещества вокруг герметизированных швов. Такие конденсаторы следует заменить, даже если они работают (все равно скоро выйдут из строя!). Масляные конденсаторы следует осмотреть на наличие утечки масла или вспучивания. Помните! Неското-

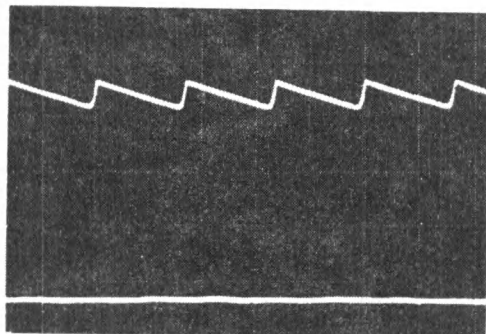


Рис. 18.25. Сигналы на выходе источника питания, наблюдаемые на осциллографе.

рые сухие оксидные конденсаторы старых моделей содержат высокоактивное канцерогенное вещество. Местное пожарное управление или экологическая служба дадут рекомендации, как утилизировать такой конденсатор. Некоторые трансформаторы также содержат канцерогенное вещество. Ни в коем случае не касайтесь его в подозрительных случаях.

Если перегорел предохранитель, то нужно либо заменить его из имеющегося запаса предохранителей, либо замкнуть цепь параллельно перегоревшему предохранителю. Включите источник питания и приготовьтесь замерить постоянное выходное напряжение. Это особенно важно в стабилизированных источниках питания. Если есть осциллограф, посмотрите форму сигнала на выходе выпрямителя и стабилизированном выходе (на рис. 18.25 показана нормальная форма сигналов). Будьте внимательны! Большинство осциллографов не рассчитаны на постоянное входное напряжение выше 600 В.

ГЛАВА 19

ПОИСК И УСТРАНЕНИЕ НЕИСПРАВНОСТЕЙ В АНТЕННЫХ СИСТЕМАХ: ОБОРУДОВАНИЕ И МЕТОДЫ

В этой главе мы рассмотрим некоторые методы и приборы для проверки антенных систем при их установке и в случае выхода их из строя. Антенные системы служат для приема и излучения радиосигналов, и в связи с этим рекомендуется вспомнить содержание гл. 2, где рассматриваются измерители ВЧ-мощности.

Базовая схема, показанная на рис. 19.1, включает несколько основных элементов: передатчик, фильтр нижних частот (ФНЧ), устройство для согласования импедансов и коаксиальное реле, если радиоприемник отделен от передатчика и антенны. Элементы схемы соединены между собой линиями связи, являющимися в большинстве случаев коаксиальными кабелями.

Фильтр нижних частот и согласующее устройство можно рассматривать как дополнительные элементы, но некоторые проектировщики считают их стандартными элементами, особенно в системах ВЧ и нижнего ОВЧ-диапазонов. ФНЧ предназначен для устранения гармоник в выходном сигнале, которые могут создавать помехи для других систем, а также для теле- и радиоприемников, находящихся поблизости. ФНЧ пропускает только те частоты, которые лежат ниже некоторого уровня отсечки. Согласующее устройство устраняет рассогласования, ведущие к высокому КСВН в передатчике. Оно часто используется в системах радиосвязи ОНЧ-, СВ- и ВЧ-диапазонов, а также в АМ-радиовещательных станциях. Согласование приводит и к дополнительному подавлению гармоник, что улучшает качество выходного сигнала по сравнению с тем случаем, когда используется только ФНЧ.

Еще одно назначение согласующего устройства - достижение максимального уровня излучаемой ВЧ-мощности. Современные полупроводниковые оконечные усилители не приспособлены для работы в режиме высокого КСВН. Кроме того, в них применяются фиксированные ФНЧ для каждого диапазона, а не широкополосные П-образные схемы, характерные для ламповых ра-

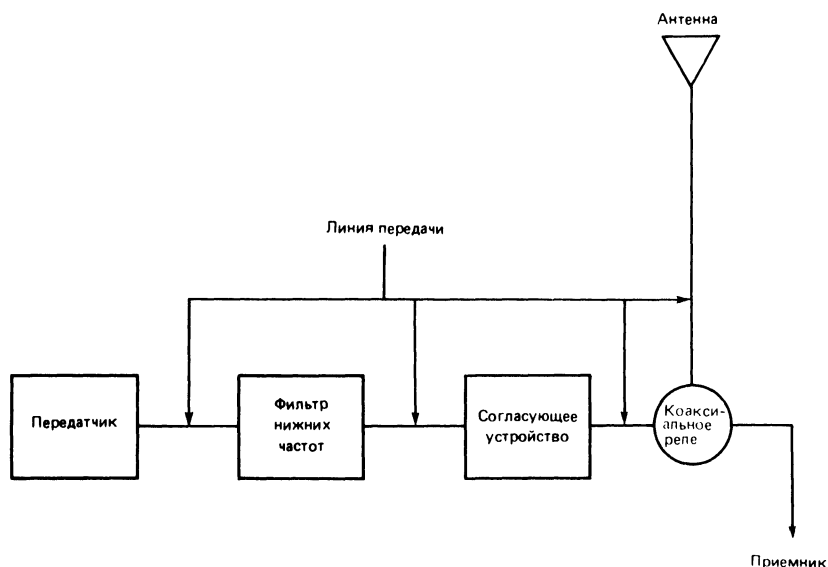


Рис. 19.1. Система передатчик/антенна.

диопередатчиков. В схему полупроводниковых передатчиков обычно входит система автоматической регулировки нагрузки, которая снижает выходную мощность при возникновении высокого КСВН. Пороговое значение КСВН составляет около 1,5:1, а при более высоких значениях (выше чем 2,5:1 или 3:1) передатчик выключается. Внешнее реле приемник/передатчик не используется в большинстве современных систем, так как приемник и передатчик размещаются в общем корпусе. Оно использовалось раньше, когда требовалось подключить к антенне отдельный приемник. Кроме того, во многих современных приборах на полупроводниковых элементах в качестве переключателей приемник/передатчик используются $p\bar{n}$ -диоды.

ЛИНИИ СВЯЗИ

Линия связи - это не просто провод, по которому ВЧ-сигнал поступает на антенну, а сложная схема, имитирующая бесконечную LC-цепь. Важным параметром линии связи является характеристический импеданс Z_0 , также называемый волновым сопротивлением и равный квадратному корню из отношения погонной емкости и индуктивности. Наибольшая ВЧ-мощность поступает по линии связи в антенну в том случае, когда линия

связи имеет чисто резистивную нагрузку с сопротивлением, равным ее волновому сопротивлению.

Мы не имеем возможности подробно остановиться на теории линий связи, а интересующемуся читателю рекомендуем обратиться к любой книге по теории антенн. Тем не менее следует рассмотреть некоторые общие моменты. На рис. 19.2 представлена модель линии связи, где Z_0 - волновое сопротивление, R_2 - нагрузочный импеданс антенны, R_1 - выходной импеданс передатчика. В правильно сконструированной системе все три импеданса должны быть равны ($Z_0 = R_1 = R_2$) или согласованы с помощью согласующей цепи.

Чтобы понять, почему наши приборы дают те или иные показания, следует рассмотреть распределение электрического потенциала вдоль линии связи. На рис. 19.3 проиллюстрировано несколько возможных ситуаций. По вертикальным осям на графиках отложены напряжения, а по горизонтальным - длина линии связи, выраженная в длинах волн передаваемого сигнала. Когда система согласована ($Z_0 = R_2$), напряжение постоянно вдоль всей линии связи (рис. 19.3а). В таких случаях говорят, что линия ровная. Если импедансы Z_0 и R_2 различны, то напряжение изменяется вдоль линии связи в зависимости от длины волны (рис. 19.3б). В рассогласованных линиях не вся мощность излучается антенной, часть ее возвращается в передатчик. Падающая и отраженная волны складываются в каждой точке алгебраически, образуя стоячую волну. Мы можем изобразить графически максимумы V_{\max} и минимумы V_{\min} напряжения. Запомним эти графики, мы вернемся к ним при рассмотрении проблемы КСВН.

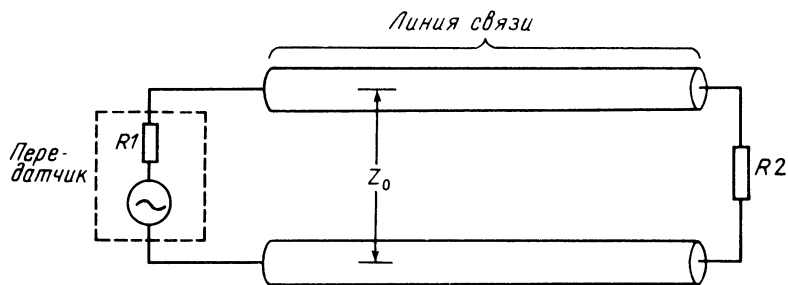


Рис. 19.2. Модель линии связи.

В двух специальных случаях получаются одинаковые результаты. Вся мощность отражается назад в передатчик (т.е. не излучается), если выход подающей линии связи закорочен или разомкнут. График распределения потенциала в разомкнутой

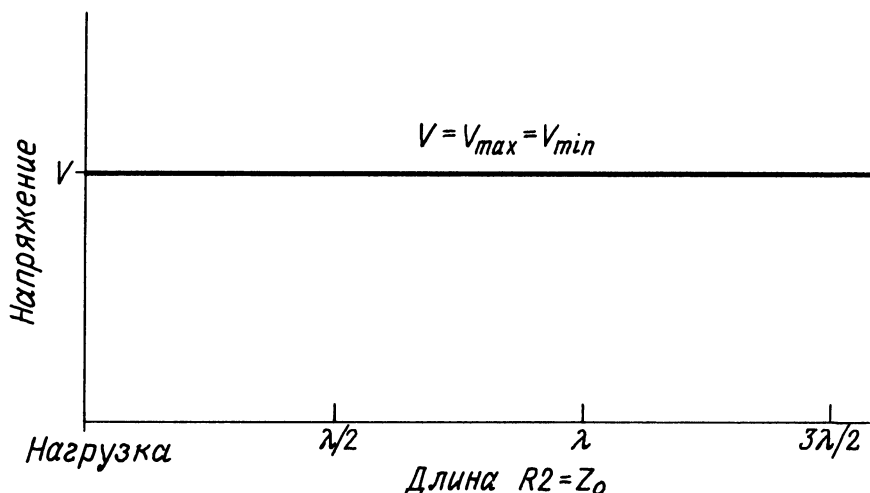


Рис. 19.3а. Распределение потенциала в согласованной (ровной) линии связи.

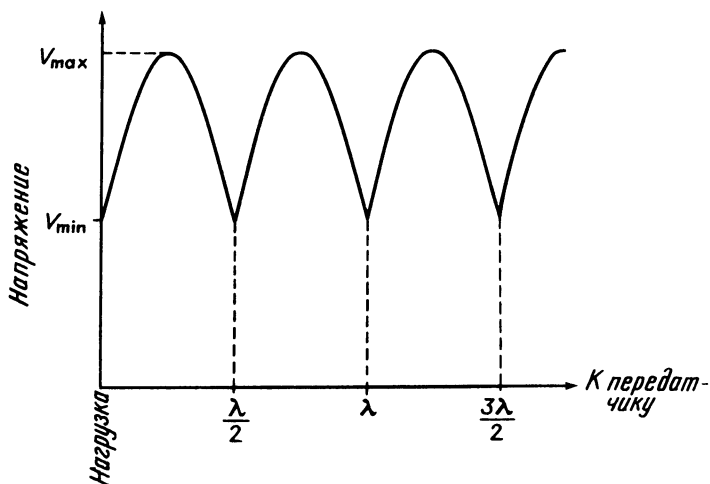


Рис. 19.3б. Распределение потенциала в рассогласованной линии связи.

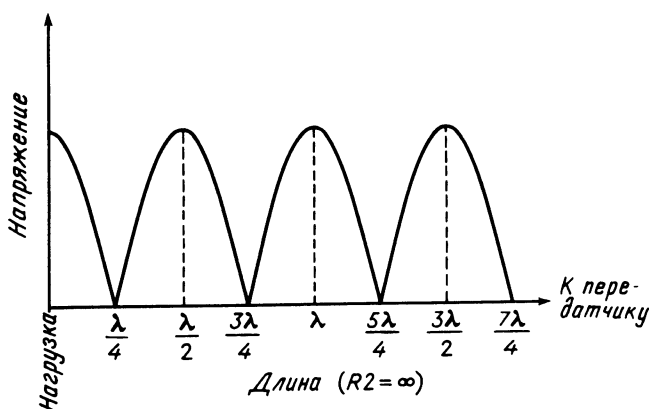


Рис. 19.3в. Распределение потенциала в разомкнутой линии связи.

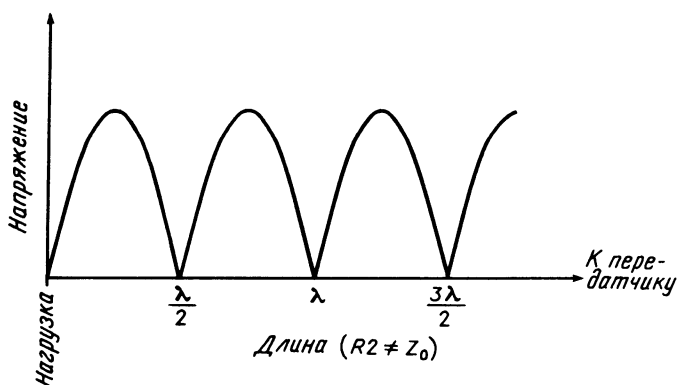


Рис. 19.3г. Распределение потенциала в замкнутой линии связи.

линии связи (R_2 бесконечно) показан на рис. 19.3в, а в закороченной линии связи - на рис. 19.3г. Обратите внимание, что графики очень похожи, но координаты минимумов ($V_{\min} = 0$) сдвинуты относительно друг друга на 90° (т.е. на четверть длины волны).

ВЫЧИСЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА СТОЯЧЕЙ ВОЛНЫ

КСВН можно вычислить из простых соображений. Даже если нет специального прибора для измерения КСВН, его можно определить. Если импеданс антенны R_2 не равен импедансу линии связи Z_0 , то КСВН можно вычислить из следующих соотношений:

$$\text{КСВН} = Z_0/R_2 \text{ при } Z_0 > R_2,$$

$$\text{КСВН} = R_2/Z_0 \text{ при } Z_0 < R_2.$$

Можно также измерить мощность падающей и отраженной волн и вычислить КСВН по формуле

$$\text{КСВН} = [1 + (P_r/P_f)^{1/2}] / [1 - (P_r/P_f)^{1/2}],$$

где P_r - мощность отраженной волны, P_f - мощность падающей волны.

КСВН можно также вычислить по минимальному и максимальному напряжениям (или токам):

$$\text{КСВН} = V_{\max}/V_{\min}.$$

Наконец, если можно измерить амплитуду напряжения падающей и отраженной волны, то КСВН можно вычислить по формуле

$$\text{КСВН} = (V_f + V_r) / (V_f - V_r),$$

где V_f - амплитуда напряжения падающей волны, V_r - амплитуда напряжения отраженной волны.

Последнее соотношение, базирующееся на параметрах падающей и отраженной волн, является основой современных измерителей КСВН и ВЧ-мощности.

ИЗМЕРИТЕЛЬ РЕЗОНАНСНОЙ ЧАСТОТЫ

Одним из наиболее распространенных приборов для определения резонансной частоты антенны является измеритель резонансной частоты на транзисторном генераторе. В основе работы прибора лежит тот факт, что энергия генератора может поглощаться расположенным рядом резонансным контуром. Когда индуктор

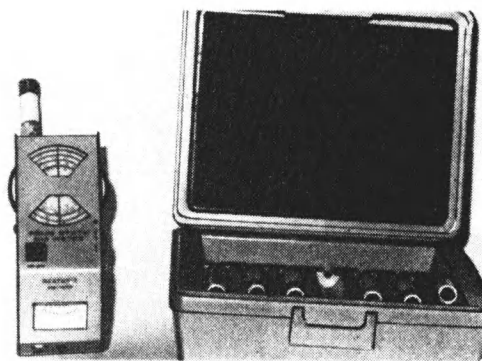


Рис. 19.4. Измеритель резонансной частоты антенны.

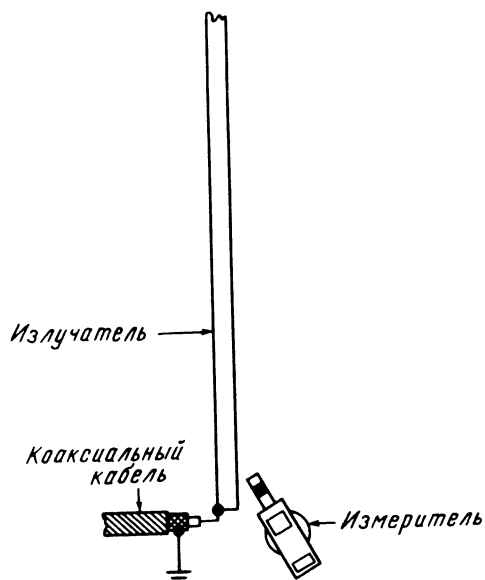


Рис. 19.5а. Измерение резонансной частоты антенны.

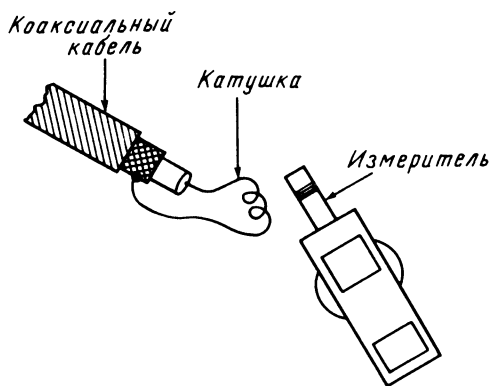


Рис. 19.5б. Использование переходной катушки для создания связи между измерителем и линией связи.

измерителя (рис. 19.4) подносится к резонансному контуру, а генератор работает на резонансной частоте, небольшая часть энергии перекачивается в контур. Эта потеря энергии регистрируется индикатором прибора.

Антенна является резонансным устройством и может рассмат-

риваться как аналог резонансного LC-контура. На рис. 19.5а показан один из способов измерения резонансной частоты вертикального антенного излучателя. Индуктор подносится непосредственно к основанию излучателя. На рис. 19.5б показан способ измерения при затрудненном доступе к излучателю. В этом случае с входу линий связи, соединяемому с входом передатчика, подсоединяется катушка из двух-трех витков, к которой затем подносится индуктор.

С этими измерителями связаны две проблемы, которые следует учитывать для более эффективного использования прибора. Резонансный отклик прибора является очень резким и его можно “проскочить”. Ситуация усложняется тем, что показания прибора являются сравнительно инерционными. Поэтому прибор следует перестраивать медленно, и тогда можно заметить резкий отклик в резонансной точке.

Другая проблема связана с калибровкой шкалы. Недорогие измерители зачастую имеют грубую и неточно откалиброванную шкалу. Поэтому, лучше калибровать и отслеживать выходные сигналы генератора по радиоприемнику.

МОСТОВЫЕ СХЕМЫ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ИМПЕДАНСОВ

Иногда при наладке и ремонте антенных систем бывает необходимо измерить импеданс антенны. Это можно сделать с помощью аналога хорошо известного моста Уитстона. На рис. 19.6а показана общая схема измерительного моста. Ток измерительного прибора будет равен нулю, когда $Z1/Z2 = Z3/Z4$. Если в одно из плеч моста подключена антенна, то можно измерить ее импеданс, добившись нулевого тока подстройкой других плеч. Типичный пример измерительной схемы приведен на рис. 19.6б. Антенна, подсоединенная к точке J2, образует одно из плеч моста, а резистор R2 - другое. Сопротивление R2 должно лежать в пределах 50 - 75 Ом в зависимости от ожидаемого импеданса антенны. Хорошим компромиссом является значение 68 Ом, позволяющее работать с антеннами обоих типов. Другие два плеча моста образованы конденсаторами C1A и C1B, которые являются единым дифференциальным конденсатором. Конденсатор C1 настраивается таким образом, что показания измерительного прибора обращаются в нуль, а затем считывается импеданс антенны со шкалы. Таким образом, с помощью одного прибора можно подобрать сопротивление, равное импедансу системы.

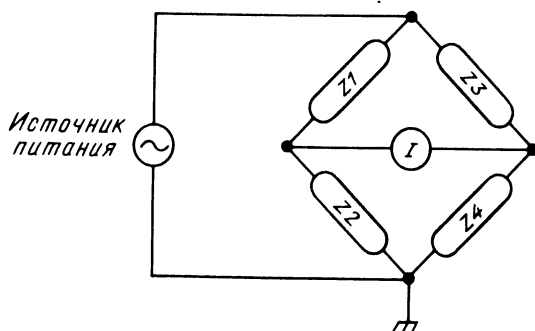


Рис. 19.6а. Общая схема моста Уитсона.

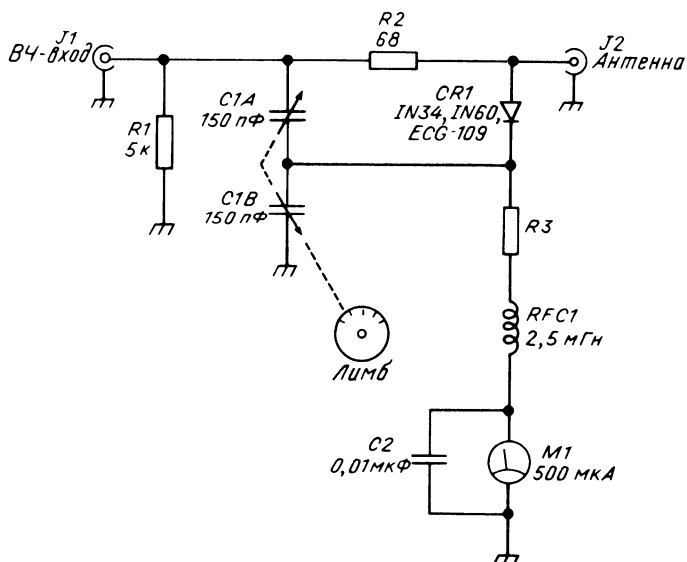


Рис. 19.6б. Мостовая схема для измерения импеданса антенны.

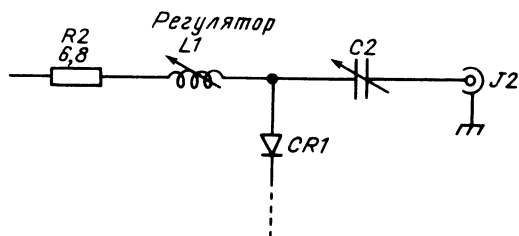


Рис. 19.6в. Настроечная цепь для мостовой схемы.

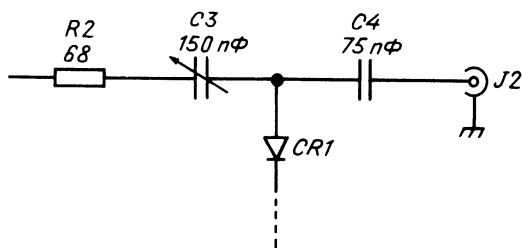


Рис. 19.6г. Настроечная цепь для мостовой схемы.



Рис. 19.6д. Коммерческий мостовой измеритель антенных имедансов.

Калибруется прибор довольно просто. Безындуктивные композиционные сопротивления от 10 до 1000 Ом подсоединяются к контакту J2. Устанавливается нулевое показание измерительного прибора и нагрузочное сопротивление отмечается на шкале.

С помощью базовой схемы, представленной на рис. 19.6б, можно измерить только активную часть импеданса. Модификация схемы в соответствии с рис. 19.6в и 19.6г позволит измерять реактивную составляющую импеданса. На рис. 19.6д пред-

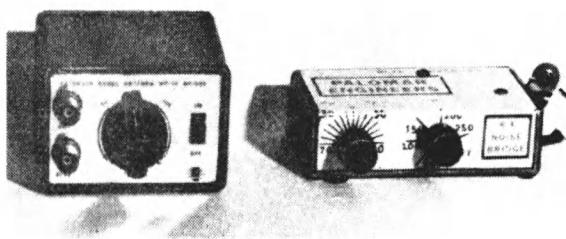


Рис. 19.7. Шумовые измерительные мосты фирм Omega-T и Palomar Engineers.

ставлен мостовой измеритель антенных импедансов, производимый фирмой Leader Instrument.

ШУМОВОЙ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ МОСТ

В этом разделе мы рассмотрим прибор, который обычно ассоциируется с оборудованием исследовательских лабораторий но оказывается, что он полезен и в работах по техническому обслуживанию аппаратуры связи. Этот прибор - ВЧ-шумовой измерительный мост. Им часто пренебрегают, хотя он очень полезен и дешев.

Несколько фирм производят дешевые шумовые измерители: Omega-T, Palomar Engineers и Heath Company. Модели первых двух показаны на рис. 19.7. Прибор фирмы Omega-T имеет почти кубический корпус с минимальным набором регуляторов и парой коаксиальных байонетных разъемов ("антенна" и "приемник". Шкала откалибрована в омах, а измеряется только активная часть импеданса. Прибор фирмы Palomar Engineers внешне выглядит менее привлекательно, но имеет те же возможности плюс возможность грубого измерения реактивной части импеданса. Недавно в эту серию приборов вошла модель HD-1422 фирмы Heath Company (хотя здесь перед измерением требуется дополнительная сборка схемы).

Специалистам давно известно, что шумовой измерительный мост находит широкое применение, особенно при работах с приборами ВЧ-и ОВЧ-диапазонов. Его применение вовсе не ограничивается тестированием антенн, хотя это основное назначение прибора. Если специалисты по двухсторонней связи (включая коммерческую) производят в основном измерения характеристик антенн, резонансных контуров и резонаторов, то специалисты по бытовой технике найдут другие приложения.

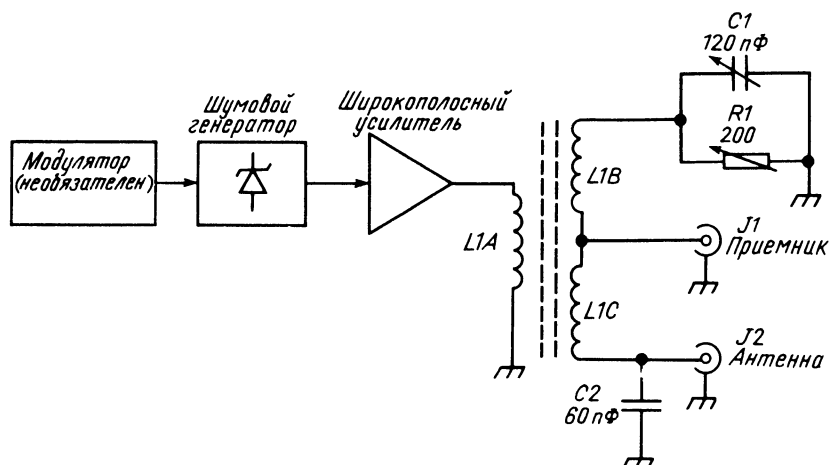


Рис. 19.8. Схема антенного шумового моста.

На рис. 19.8 приведена блок-схема прибора, состоящего из четырех плеч. Индуктивные плечи (L1B и L1C) образованы обмотками трансформатора, намотанными поверх обмотки L1A, и ферритового сердечника. Шумовой сигнал подается в схему через первичную обмотку L1A. Настраиваемыми элементами схемы является 200-омный потенциометр R1 и конденсатор переменной емкости C1 на 120 пкФ. Потенциометр задает диапазон измерения активной части импеданса (от 0 до 200 Ом), а конденсатор - реактивной. Конденсатор C2 в тестовом плече используется для уравнивания измерительного конденсатора. При наличии конденсатора C2 мост уравновешен, когда установлено среднее значение емкости C1. Схема позволяет измерять индуктивные и емкостные реактивные сопротивления, которым соответствует изменение емкости конденсатора C1 выше или ниже "нулевой" точки (среднего значения). Когда мост уравновешен, измеряемый импеданс в тестовом плече определяется величинами R1 и C1.

Стабилитрон в режиме обратного смещения, приводящего к пробое, обычно генерирует значительную шумовую мощность. Хотя шум доставляет много неприятностей в других случаях, в мостовом измерителе он полезен - чем шире шумовой спектр, тем лучше работает схема. Расширению спектра способствует модуляция прямоугольными импульсами с частотой 1 кГц. Усилитель увеличивает амплитуду сигнала до необходимого уровня.

Детектор, используемый в измерителе, представляет собой перестраиваемый приемник, перекрывающий рабочий диапазон

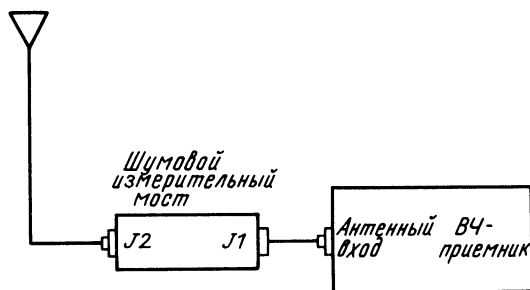


Рис. 19.9. Применение шумового моста для измерения характеристик антенны.

частот. Предпочтителен АМ-демодулятор, хотя приемники сигналов постоянной амплитуды (код Морзе) или ОБП-приемники иногда могут быть полезны. Качество приемника полностью определяется требуемой точностью измерения рабочей частоты тестируемого прибора.

ИЗМЕРЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ АНТЕНН

Наиболее распространенным применением шумового измерительного моста является определение импедансов и резонансных частот ВЧ-антенн. Соедините приемный разъем измерителя с антенным входом приемника ВЧ-сигналов с помощью короткого отрезка коаксиального кабеля (рис. 19.9). Отрезок должен быть как можно короче, а его характеристический импеданс должен соответствовать импедансу антенного кабеля. Затем соедините коаксиальный антенный кабель с антенным входом измерителя. Теперь все готово для измерения характеристик антенны.

Определение импеданса

Установите потенциометр измерителя в положение, соответствующее импедансу антенного кабеля (50 или 75 Ом для большинства систем). Конденсатор переменной емкости установите в среднее положение (нуль). Затем настройте приемник на ожидаемую резонансную частоту F_{exp} антенны. Включите измеритель и настройтесь с помощью регулятора громкости приемника на шумовой сигнал.

Настройтесь с помощью переменного резистора R на минимальный уровень шума. Затем добейтесь минимума с помощью конденсатора переменной емкости C. Повторив эти операции несколько раз, добейтесь минимального уровня шумового сигнала (регуляторы влияют друг на друга).

Точно настроенная на резонанс антенна должна иметь нулевое реактивное сопротивление, а активное сопротивление - 50 или 75 Ом. В реальных антеннах реактивное сопротивление может отличаться от нуля, а активное сопротивление - от 50 или 75 Ом. Есть методы согласования, позволяющие преобразовать реальное активное сопротивление в 50 или 75 Ом, соответствующие характеристическому импедансу кабеля. Возможные варианты показаний прибора:

1. Если активное сопротивление близко к нулю, то возможно замыкание в кабеле. Если активное сопротивление близко к 200 Ом, то возможен обрыв в кабеле.

2. Если прибор показывает индуктивный импеданс, то антенна слишком длинная. Емкостный импеданс свидетельствует о том, что антенна слишком короткая.

Короткую или длинную антенну следует отрегулировать на нужную длину. Чтобы найти правильную длину, необходимо определить реальную резонансную частоту F_r . Для этого установите регулятор емкости в нулевое положение и медленно перестраивайте приемник (вниз по частоте, если антенна слишком длинная, вверх - если короткая), пока не добьетесь минимального сигнала. Минимум легко пропустить, если у антенны высокая добротность, а перестройка приемника ведется слишком быстро. Не удивляйтесь, если резонансная частота оказалась сдвинутой. Коэффициент сдвига определяется отношением ожидаемой резонансной частоты F_{exp} к реальной F_r , умноженным на 100.

Резонансная частота

Соедините антенну, шумовой мост и приемник, как в предыдущем случае. Настройте приемник на ожидаемую резонансную частоту, т.е. на $468/F$ для полуволновой и $234/F$ для четвертоволновой антенны. Переменное сопротивление установите на 75 или 50 Ом, что соответствует сопротивлению идеальной антенны и линии связи. Регулятор емкости установите на нуль. Включите прибор и слушайте шумовой сигнал.

Медленно перестраивая регулятор емкости в окрестности нуля, определите положение, соответствующее минимальному шумовому сигналу. Затем верните регулятор в нулевое положение и перестройте приемник на минимальный шумовой сигнал. Приемник следует перестраивать в область более низких частот, если антенна имеет индуктивный импеданс, и в область более высоких частот при емкостном импедансе.

Неидеальная антенна имеет импеданс отличный от 50 или 75 Ом, поэтому минимальный уровень шума достигается при

подстройке регуляторов R и C. Может удивить, как сильно отличаются характеристики дипольных и других антенн от расчетных, если они не расположены в “свободном пространстве” (т.е. расположены близко к поверхности Земли).

ДРУГИЕ РАБОТЫ

Шумовой мост имеет множество применений. С его помощью можно измерять емкости и индуктивности, характеристики последовательных и параллельных резонансных контуров, а также линий связи.

Длина линии связи

При некоторых работах с антеннами и измерениях требуются кабели длиной четверть или полдлины волны на заданной частоте. Иногда отрезок коаксиального кабеля заданной длины необходим для других целей. Например, эквивалентная нагрузка, применяемая при проверке и ремонте эхолотов, есть нечто иное, как длинный отрезок закороченного коаксиального кабеля, который возвращает отраженный сигнал через временной интервал, соответствующий определенной глубине. Следующий метод поможет определить необходимую длину с помощью мостового измерителя:

1. Подсоедините замыкающую перемычку к тестовому плечу и добейтесь минимального сигнала с помощью регуляторов R и X. (Оба регулятора должны находиться в окрестности “нулевых” положений.)

2. Удалите замыкающую перемычку.

3. Подсоедините отрезок кабеля к тестовому плечу (длина кабеля должна превышать расчетную).

4. Если требуется четвертьволновой отрезок, укорачивайте кабель, пока не добьетесь минимального сигнала на заданной частоте. Аналогично действуйте, если требуется полуволновый отрезок, за исключением того, что выход кабеля следует замыкать во время каждого измерения.

Коэффициент скорости линии связи

Коэффициентом скорости линии связи называется десятичное число, выражающее отношение скорости электромагнитной волны в кабеле к скорости света. Обычно он обозначается буквой V. Например, если коэффициент скорости равен 0,80, это означает, что скорость распространения сигнала по кабелю составляет 0,80 (или 80%) скорости света.

Так как длина электромагнитной волны зависит от скорости ее распространения в среде, коэффициент скорости часто необходим для различных вычислений. Например, полуволновой отрезок кабеля имеет физическую длину $150 V/F$ (МГц), выраженную в метрах. К сожалению, реальное значение V часто отличается от справочных данных. С помощью мостового измерителя можно определить реальное значение коэффициента V для любого отрезка коаксиального кабеля:

1. К одному концу кабеля подсоедините байонетный разъем, другой конец замкните.

2. Измерьте длину кабеля L в метрах.

3. Установите регуляторы сопротивления и емкости в измерителе в нулевое положение.

4. Настройтесь с помощью приемника на абсолютно минимальный шумовой сигнал и определите соответствующую частоту F (в мегагерцах). Коэффициент скорости находится по формуле $V = FL/150$.

ИЗМЕРЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК РЕЗОНАНСНЫХ ЦЕПЕЙ

Индуктивно-емкостный (LC) колебательный контур является аналогом резонансной антенны, и поэтому измерение его характеристик производится таким же методом. Резонансную частоту можно измерить с помощью шумового измерительного моста с точностью 20% (или даже лучше). Эта точность может показаться невысокой, но она выше, чем при измерениях с помощью дешевого генератора, резонансного измерителя или поглощающего измерителя ВЧ-мощности или аналогичных приборов.

Последовательный колебательный контур

Последовательный колебательный контур имеет низкий импеданс при резонансе и высокий на других частотах. Измерение начинается с подсоединения последовательного контура к тестовому входу измерителя. Регулятор сопротивления следует установить на минимальное сопротивление, близкое к нулевому. Регулятор емкости следует установить в среднее положение (отметка ноль). Перестройте приемник в окрестность ожидаемой резонансной частоты и настройтесь на минимальный сигнал. Убедитесь, что это абсолютный минимум, путем перестройки регуляторов R и X . В этой точке частота на шкале приемника и будет резонансной частотой контура.

Параллельный резонансный контур

Параллельный резонансный контур имеет высокий импеданс в резонансе и низкий на других частотах. Измерение производится так же, как для последовательного контура, за исключением способа подсоединения. На рис. 19.10 показан способ индуктивной связи, необходимый для ввода шумового сигнала в параллельный резонансный контур. Если индуктивность имеет коль-

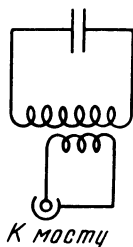


Рис. 19.10. Измерение параметров колебательного LC-контура с помощью шумового мостового измерителя.

цевой сердечник, то связующая индуктивность должна проходить через отверстие в центре и подсоединяться к тестовым разъемам измерителя. После этого действуйте так же, как в случае последовательного колебательного контура.

ИЗМЕРЕНИЯ ЕМКОСТИ И ИНДУКТИВНОСТИ

Для измерений индуктивности и емкости с помощью моста требуются тестовый слюдяной конденсатор на 100 пФ и тестовая индуктивность на 4,7 мкГн соответственно. Идея заключается в применении тестовых элементов для создания последовательного колебательного контура с тестируемыми элементами. Если определена резонансная частота, то неизвестную емкость или индуктивность можно вычислить. В обоих случаях последовательный контур подсоединяется к тестовым разъемам измерителя и далее выполняются операции, описанные выше.

Индуктивность

Для измерения индуктивности подсоедините ее последовательно с емкостью 100 пФ к тестовому входу измерителя. После определения резонансной частоты индуктивность находится из формулы $L = 253/F^2$, где L - индуктивность в микрогенри, F - частота в мегагерцах.

Емкость

Подсоедините тестовую индуктивность к тестовому входу измерителя последовательно с неизвестной емкостью. Установите регулятор сопротивления на нуль, настройте приемник на частоту 2 МГц и настройтесь с помощью регулятора емкости на минимальный сигнал. Не перестраивая мост, настройтесь с помощью приемника на минимальный сигнал. Неизвестная емкость вычисляется по формуле $C = 5389/F^2$, где C - емкость в пикофарадах, F - частота в мегагерцах.

Модификация мостового измерителя

Хотя некоторые не любят модифицировать приборы, иногда это имеет смысл. Например, обычные шумовые измерительные мосты предназначены для тестирования резонансных цепей и антенн. Взяв с помощью разделительного конденсатора часть сигнала из точки, предшествующей входу трансформатора, получаем генератор шума, который можно использовать для тестирования аудио- и видеоусилителей. Можно поступить иначе, подключив широкополосный усилитель к тестовым разъемам, где присутствует слабый шумовой сигнал.

Эквивалентные нагрузки

Эквивалентная нагрузка заменяет антенну при проведении измерений и тестировании. Британские радиоинженеры часто называют эквивалентную нагрузку "искусственной антенной". Эти элементы имеют несколько применений. Оператор подключает эквивалентную нагрузку для предварительной настройки и только после этого подключает антенну.

Другое назначение - ремонт антенных систем. Предположим, что высокий КСВН влияет на работу передатчика (вспомните рис. 19.1). Можно последовательно отсоединять каждый элемент схемы, подсоединяя к его выходу эквивалентную нагрузку. Если КСВН приходит в норму, значит, неисправность локализована в последующих узлах (по направлению к антенне). В конечном итоге неисправный узел (обычно антенна) будет найден.

На рис. 19.11 показана схема простейшей эквивалентной нагрузки, состоящая из одного и нескольких резисторов, соединенных последовательно, параллельно или последовательно-параллельно таким образом, что полное сопротивление равно требуемому импедансу нагрузки. Полная рассеиваемая энергия складывается из энергий, рассеиваемых отдельными элементами. Существенно, что сопротивления должны быть безындуктивными,

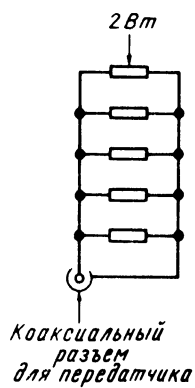
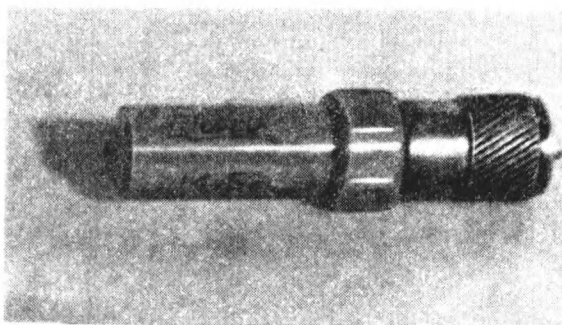
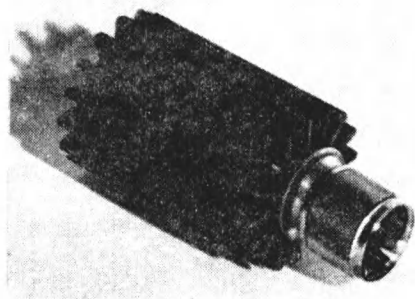


Рис. 19.11. Маломощная эквивалентная нагрузка.



а



б

Рис. 19.12. Коммерческие эквивалентные нагрузки низкой и средней мощности.



Рис. 19.13. Эквивалентные нагрузки высокой мощности. (С любезного разрешения Bird Electronics.)

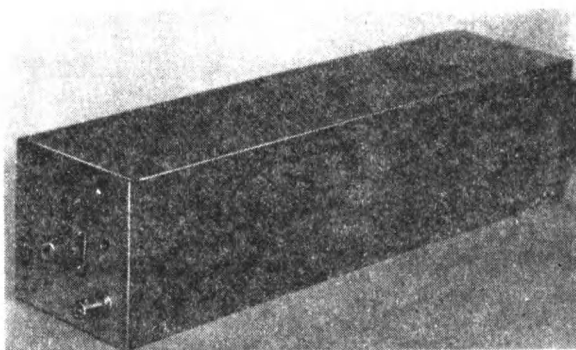


Рис. 19.14а. Эквивалентная нагрузка для радилюбительской аппаратуры.

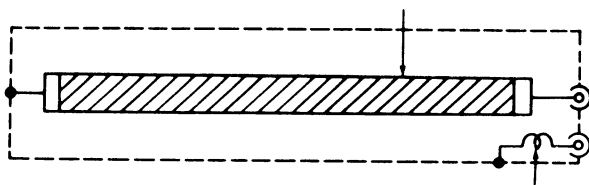


Рис. 19.14б. Вывод сигнала с эквивалентной нагрузки.

и поэтому обычно используются композиционные или металло-пленочные резисторы. При работе на очень низких частотах допускается применение специальных проволочных резисторов со встречной намоткой, имеющих низкую индуктивность. Однако такие резисторы нельзя использовать на частотах выше нескольких сот килогерц.

Несколько типов выпускаемых промышленностью эквивалентных нагрузок представлены на рис. 19.12 - 19.14. Модель, представленная на рис. 19.12а, рассчитана на мощность 5 Вт и обычно применяется при работах с системами коммерческой радиосвязи. Резистор смонтирован прямо в байонетном разъеме PL-259. Эти нагрузки обычно используются на частотах до 300 МГц, хотя некоторые из них имеют рабочий диапазон только до 150 МГц. Более мощная модель показана на рис. 19.12б. Эта нагрузка работает вплоть до нижнего ОВЧ-диапазона и может рассеивать мощность 50 Вт. Я использовал такую нагрузку при ремонте подвижных радиостанций верхнего ОВЧ-диапазона, ОВЧ ЧМ-морских станций и подвижных станций нижнего ОВЧ-диапазона. Эквивалентные нагрузки, рассчитанные на высокую мощность, представлены на рис. 19.13. Эти "коаксиальные резисторы", производимые фирмой Bird Electronics, рассчитаны на мощности 10, 30 и 40 кВт. Они охлаждаются водой, омывающей корпус и отдающей тепло через воздушный радиатор.

Последний пример приведен на рис. 19.14. Внешний вид нагрузки представлен на рис. 19.14а, а электрическая схема - на рис. 19.14б. Длинный безындуктивный резистор 50 Ом может рассеивать в течение нескольких минут 1000 Вт. Если необходимо большее время или мощность, можно использовать вентилятор, расположив его по одну сторону корпуса. Устройство имеет дополнительный байонетный разъем для вывода части сигнала. Разъем соединен с зондом, состоящим из двух витков провода 22-го калибра и расположенным рядом с резистором. Поэтому на зонде наводится сигнал, который можно наблюдать на экране осциллографа или использовать для других целей.

ГЛАВА 20

ПОНЕМНОГУ О РАЗНОМ

Есть несколько вопросов, связанных с главной темой этой книги, которые трудно выделить в отдельную главу. В этой главе мы познакомимся с диодами переменной емкости, переключающими схемами на диодах, выбором точных значений емкости для применения в различных цепях.

ВАРАКТОРНЫЕ ДИОДЫ

Диоды выполняют много различных функций в электронных цепях. Некоторые из них обусловлены свойствами *pn*-переходов, в то время как другие явились полной неожиданностью для технических специалистов. По-видимому, к последней категории относятся диоды, которые используются в современных электронных устройствах в качестве конденсаторов. Специальные диоды повышенной емкости, предназначенные для этих целей, имеют несколько названий, из которых наиболее часто используются варактор (переменная реактивность) и варикап (переменная емкость). Хотя варакторы разработаны специально для использования в качестве электрически управляемого конденсатора, все *pn*-переходы в определенной степени обладают этим свойством. Кремниевые выпрямительные диоды для токов до 1 А, имеющие низкий ток утечки, обычно используются в лабораторных экспериментах, а не в практических схемах.

На рис. 20.1а представлено общепринятое обозначение варакторов в схемах (используются и другие обозначения). В некоторых случаях “конденсатор” в верхней части условного обозначения диода имеет пересекающую его стрелку, указывающую, что конденсатор имеет переменную емкость. Варакторы выпускаются в нескольких разновидностях стандартных диодных корпусов, включая двухэлектродный типа 182 (рис. 20.1,б, вид снизу). Для обозначения катода в некоторых диодах на корпусе делают косой шлиф (фаску). В других случаях геометрия корпуса является разновидностью корпуса диода. Варакторы могут

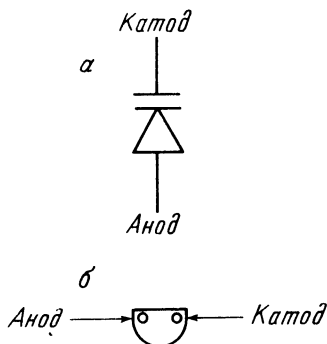


Рис. 20.1. Диод переменной емкости (варактор).

быть почти в любом корпусе для диодов, включая корпуса для выпрямляющих диодов на 50 и 100 А, монтируемых на подставке.

ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ ВАРИКАПОВ

Варикапы представляют собой специально изготовленные диоды на основе pn -перехода, сконструированные таким образом, чтобы усилить управление емкостью pn -перехода обратным напряжением смещения. На рис. 20.2 показано, каким образом формируется эта емкость. pn -переход состоит из двух областей p - и n -типа, расположенных друг против друга (рис. 20.2,а). Когда диод смещен в прямом направлении, носители заряда (электроны и дырки) переносятся к границе перехода, где положительно заряженные дырки и отрицательно заряженные электроны рекомбинируют (этот процесс вызывает прохождение тока). Однако в случае обратного смещения (рис. 20.2,б) заряды удаляются от границы перехода.

На рис. 20.2,а представлен случай, когда обратное смещение мало. В этом случае носители заряда удаляются недалеко от перехода, создавая тонкую изолирующую область обеднения. Эта область представляет собою изолятор, расположенный между областями p - и n -типа, содержащими носители заряда, и эта ситуация обеспечивает образование конденсатора, т. е. наличие двух проводников, разделенных изолятором. На рис. 20.2,б представлен случай, когда обратное смещение увеличено. В этом случае область обеднения расширяется, что эквивалентно увеличению расстояния между обкладками конденсатора.

Варикап не является идеальным конденсатором (как и любой реальный конденсатор). На рис. 20.3 приведена эквивалентная

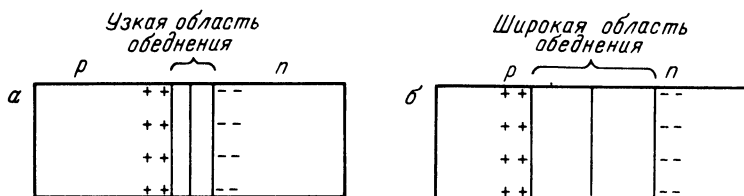


Рис. 20.2. Принцип действия варикапа.

схема варикапа. На рис. 20.3,а приведена полная эквивалентная схема, а на рис. 20.3,б - упрощенная схема, которая тем не менее достаточна для понимания принципа действия варикапов. Схема на рис. 20.3,б предполагает, что некоторыми параметрами, показанными на рис. 20.3,а можно пренебречь из-за их малости.

На рис. 20.4 показана типичная схема для измерения параметров варикапов. К диоду прикладывается изменяемое постоянное напряжение, соответствующее обратному смещению. Последовательный резистор ограничивает ток через диод в тех случаях, когда напряжение превосходит значение лавинного или туннельного пробоя (при таком напряжении диод разрушается), а также изолирует диод от остальной части схемы.

При отсутствии резистора высокого номинала (обычно от 10 кОм до 1 МОм при типичном значении 100 кОм), включенного

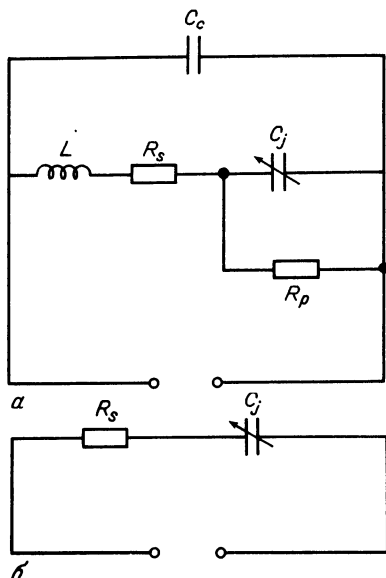


Рис. 20.3. Эквивалентная схема варикапа.

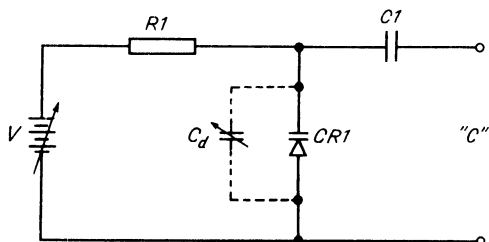


Рис. 20.4. Схема для управления параметрами диода. C^* - эквивалентная емкость, равная $C_1 C_d / (C_1 + C_d)$.

последовательно с источником постоянного напряжения, паразитная и выходная емкости источника смещения будут вносить вклад в емкость варикапа, которая обычно невелика. Емкость на выходе C_1 используется для устранения влияния других цепей на источник постоянного смещения, а также для устранения влияния постоянного смещения в других цепях на диод. Емкость этого конденсатора должна быть очень большой, чтобы устранить ее влияние на емкость диода C_d . Общая емкость этой цепи находится обычным образом как емкость двух последовательно соединенных конденсаторов в соответствии с соотношением $C_t = C_1 C_d / (C_1 + C_d)$.

Источник напряжения для варактора

Емкость варактора является функцией обратного напряжения источника, поэтому рекомендуется использовать маломощные и стабильные источники. Например, если диод используется для управления частотой генератора, следствием нестабильности источника смещения будет дрейф генератора. Кроме обычного дрейфа напряжения постоянного смещения на работу варакторов влияют также шумы. Любые воздействия, которые изменяют напряжение, приложенное к варактору, будут вызывать изменение емкости.

При использовании варакторов необходимо обратить особое внимание на перестраиваемые цепи, в которых управляющее смещение используется непосредственно от основного регулируемого источника мощности без промежуточного регулятора, который служит обычно для регулировки выходного напряжения генератора. Динамические сдвиги в величине нагрузки регулятора, изменения регулируемого напряжения и другие проблемы могут привести к дрейфу частоты местных генераторов, связанному с источниками питания, и не имеют отношения к настройке, несмотря на одинаковые признаки проявления.

Параметры варикапов представляются двумя величинами. Один параметр - номинальное значение емкости при стандартном напряжении (обычно 4 В, однако используются также напряжения 1 и 2 В). Другой параметр - отношение емкостей, ожидаемое при изменении управляющего смещения от 2 до 30 В (что соответствует максимально допустимому напряжению, прикладываемому к диоду). Типичным варикапом является прибор NTE типа 614. В соответствии с NTE Service Replacement Guide and Cross-Reference, прибор типа 614 имеет номинальную емкость 33 пФ при 4 В постоянного обратного смещения и перекрытие по емкости $C2/C30 = 3:1$.

ПРИМЕНЕНИЕ ВАРИКАПОВ

Варикап представляет собой электрически управляемый конденсатор. Другими словами, его емкость является переменной величиной, функцией обратного напряжения смещения. Это свойство варикапов приводит к некоторым их общим применениям, в которых емкость может быть предметом рассмотрения. На рис. 20.5 представлена типичная схема с колебательным контуром, перестраиваемая варикапом. Индуктивно связанная с контуром обмотка L2 служит для подключения радиочастотного сигнала к колебательному контуру в тех случаях, когда схема используется в радиочастотных усилителях и других цепях и для подключения выходов генератора к другим цепям. Принципиальная схема колебательного контура состоит из основной индуктивности L1 и общей емкости, состоящей из последовательно соединенных конденсатора C1 и варикапа CR1. Кроме того, надо

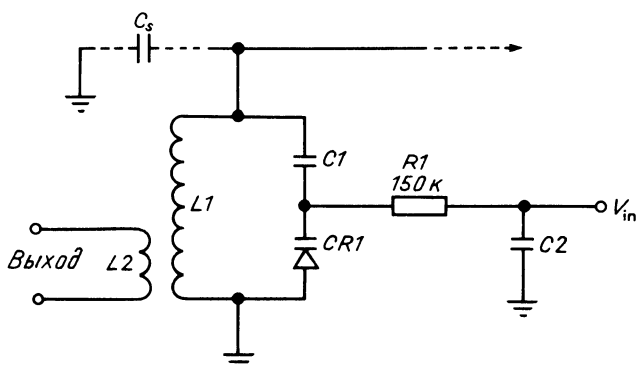


Рис. 20.5. Схема с колебательным контуром, перестраиваемым варикапом.

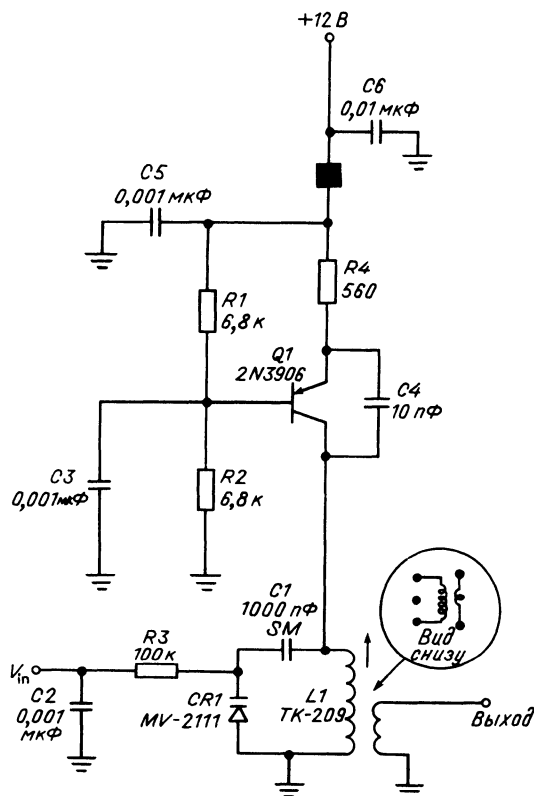


Рис. 20.6а. Генератор, перестраиваемый варикапом.

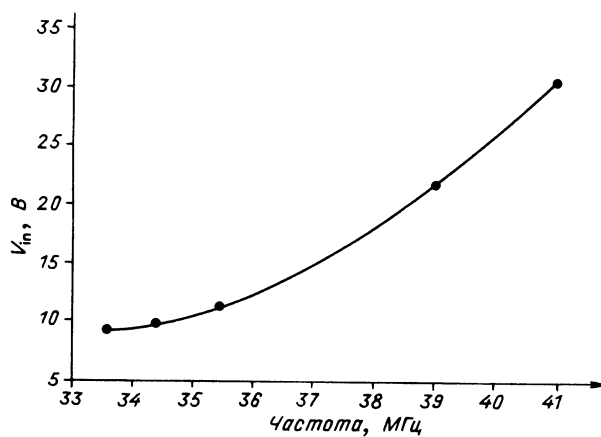


Рис. 20.6б. Кривая перестройки.

учитывать паразитную емкость C_p , которая имеется во всех электронных схемах. Роль разделительного конденсатора и последовательного резистора была обсуждена выше. Конденсатор $C2$ служит для фильтрации управляющего напряжения V_{in} .

В связи с тем что резонансная частота схемы с перестраиваемым колебательным контуром является функцией корня квадратного из произведения емкости на индуктивность, отношение максимальной и минимальной резонансных частот схемы с колебательным контуром, перестраиваемым варикапом, изменяется как корень квадратный из перекрытия варикапа по емкости. Эта величина равна отношению емкостей варикапа при минимальном и максимальном обратном смещении. Вследствие этого кривая перестройки (зависимость напряжения от резонансной частоты) представляет собой параболу.

На рис. 20.6а показана схема, содержащая *pnp*-транзистор, служащий генератором переменной частоты. Индуктивность $L1$ является ненастраиваемой обмоткой радиочастотного трансформатора Токо ТК-209, предназначенного для использования в качестве обмотки для частоты 49 МГц в схемах телевизионных усилителей промежуточной частоты, причем реальная рабочая частота зависит от емкости, включенной параллельно обмотке $L1$. При использовании варикапа фирмы Motorola MV211 (47 пФ при 4 В) в качестве конденсатора $CR1$ схема генерирует на частотах от 33,5 до 40,9 МГц при изменении управляющего напряжения смещения от +8 до +30 В. Генерация прекращается за пределами этого диапазона. Обратите внимание на сходство кривой управляющего напряжения с параболой (рис. 20.6б).

Еще две схемы генераторов, перестраиваемых варикапами, приведены на рис. 20.7. Схема на рис. 20.7,а представляет собой свип-генератор. Он перестраивается LC-контуром и емкость варикапа $CR1$ является только частью емкости колебательного контура. При этом конденсатор переменной емкости C_v используется в качестве основного управляющего конденсатора, а емкость варикапа используется для сдвига результирующей рабочей частоты в соответствии с приложенным к варикапу переменным сигналом. Радиосигнал на выходе будет частотно-модулированным или свип-сигналом в зависимости от того, является ли напряжение V_{in} сигналом звуковой частоты или имеет форму пилообразных импульсов.

На рис. 20.7,б представлен кварцевый генератор малой мощности ЧМ-передатчика. Кварцевый резонатор генерирует на собственной частоте, которая в некоторых пределах зависит от емкости схемы. У кварцевого резонатора всегда указывается калибровочная емкость, при которой гарантируется его резонанс-

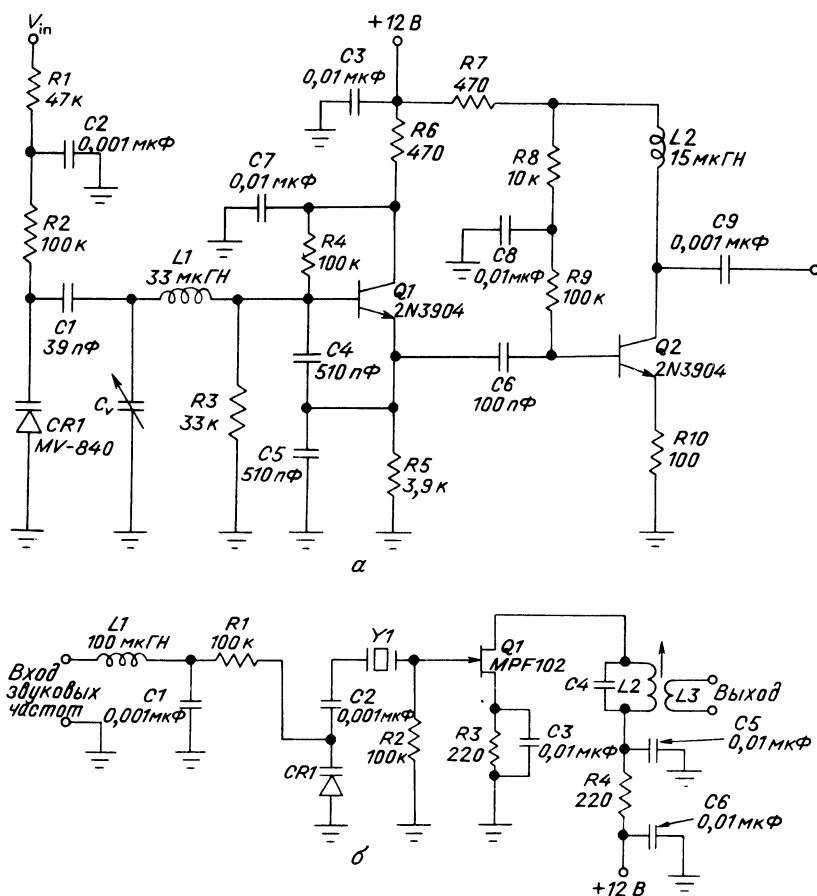


Рис. 20.7. Перестраиваемая варикапом схема генератора переменной частоты (используется также в качестве частотного модулятора).

ная частота. При изменении этой емкости изменяется также частота генерации. Таким образом может быть осуществлена прямая частотная модуляция передатчика с кварцевым резонатором. Варикапы используются также в схемах с модуляцией реактивности. Диапазон линейной модуляции ограничен как свойствами кварцевого резонатора, так и присущей варикапу нелинейностью зависимости емкости от напряжения. Таким образом, типичной является ситуация, когда используется низкая частота генерации, а затем умножители основной частоты повы-

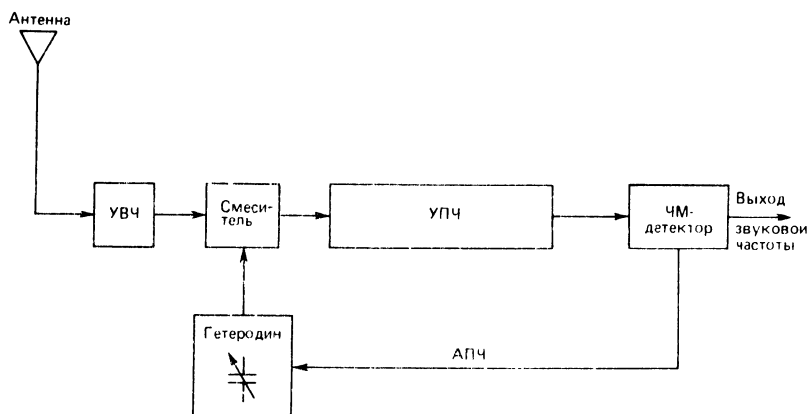


Рис. 20.8. ЧМ-приемник с цепью автоматической подстройки частоты.

шают до соответствующего уровня как рабочую частоту, так и ее девиацию.

ПРИМЕР. ЧМ-передатчик на 165 МГц с требуемой частотой девиации 6 кГц может быть выполнен на кварцевом генераторе, работающем на частоте 6,876 МГц с девиацией частоты 0,25 кГц. Набор умножителей повышает центральную частоту до 165 МГц и ее девиацию до 6 кГц. Традиционная проблема, возникающая при разработке этого передатчика классического типа, состоит в том, что девиация изменяется от канала к каналу, так как не все кварцевые резонаторы работают одинаково. В современных синтезированных передатчиках единственный ЧМ-генератор может обеспечить девиацию частоты для всех каналов.

Одно из приложений представлено на рис. 20.8. Перестраиваемый варикапом генератор переменной частоты используется в качестве гетеродина в ЧМ-приемниках. Детектор ЧМ-сигнала вырабатывает напряжение ошибки, указывающее, как далеко от центра настройки находится система, и обратная связь через линию АРЧ подает напряжение управления на вход системы подстройки генератора. Система АРЧ выводит рабочую частоту гетеродина в состояние, соответствующее центру настройки.

Можно использовать варикап в умножителях частоты. В некоторых микроволновых и ультравысокочастотных устройствах требуются местные генераторы (гетеродины) с очень высокой рабочей частотой. Однако такие сигналы трудно генерировать с помощью первичных генераторов. Поэтому в некоторых схемах используются более низкочастотные генераторы высокой ВЧ и

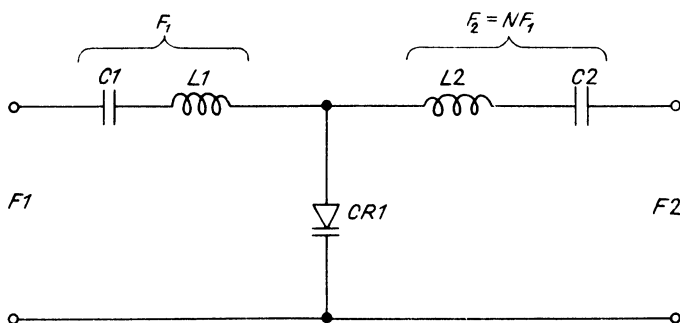


Рис. 20.9. Схема умножителя частоты на варикапе.

сверхвысокой СВЧ частоты для получения сигнала, а затем частота этого сигнала умножается до рабочего значения. Например, широкополосный распределенный связной телевизионный конвертор с преобразованием частоты в более низкую принимает сигнал на частоте 2,145 ГГц и выдает выходной сигнал в УВЧ-диапазоне на частоте 70 МГц. Гетеродин для этого прибора имеет частоту $2145 - 70 = 2075$ МГц. Реализация гетеродина на частоте 340,33 МГц лежит в пределах обычной телевизионной технологии и эта частота может быть умножена в 6 раз до 2045 МГц с помощью схемы с каскадным удвоением и утроением частоты. На рис. 20.9 представлена схема утроения частоты на варикапе. Входная цепь утроителя настроена на входную (основную) частоту с помощью колебательного контура или микрополосковой линии. Выход настроен аналогичным образом, но на гармонику $N F_1$ входной частоты.

Диоды переменной емкости используются для настройки или управления в большинстве современных приемников телевизионных и ЧМ-сигналов. Они также используются в ЧМ-передатчиках, связных приемниках и многих других изделиях. Персонал, обслуживающий электронные устройства, должен извлечь пользу из этого обзора, посвященного описанию варикапов и схем с их использованием.

ВЫБОР ЕМКОСТИ

Конденсаторы хорошо известны всем энтузиастам электроники благодаря широкому использованию в электронных схемах. Даже в полностью цифровых схемах используются конденсаторы для выполнения таких функций, как развязка источников питания, связи триггерных цепочек по входу и т. д. Для многих читателей затруднителен выбор емкости конденсатора для конк-

ретного применения. В этом разделе приведены некоторые правила, позволяющие ответить на вопрос: какую емкость выбрать?

Основной единицей емкости является фарад, однако для большинства целей это слишком большая единица. В электронике используются микрофарады (мкФ), нанофарады (нФ) и пикофарады (пФ). Они связаны с фарадом соотношением

$$1 \text{ мкФ} = 10^{-6}, \quad 1 \text{ нФ} = 10^{-9}, \quad 1 \text{ пФ} = 10^{-12}.$$

Нанофарад широко используется в Европе и находит все большее распространение в США. Некоторые конденсаторы маркируются в нанофарадах, единице, наиболее удобной для цифровых измерителей емкости. Пикофарады иногда называют микромикрофарадами.

КОНДЕНСАТОРЫ

Прежде чем обсуждать применение конденсаторов, рассмотрим, что они собой представляют. Конденсатор - это компонент, накапливающий энергию и состоящий из двух проводников, разделенных слоем диэлектрического (изолирующего) материала. Хотя емкость существует между любыми двумя проводниками, разделенными изолятором, стандартным является конденсатор с параллельными обкладками (рис. 20.10). Емкость конденсатора дается приближенным выражением

$$C = 0,5710 \text{ КА/s},$$

где C - емкость в пикофарадах, K - диэлектрическая проницаемость изолятора, A - площадь обкладок в квадратных сантиметрах, s - зазор между обкладками в сантиметрах.

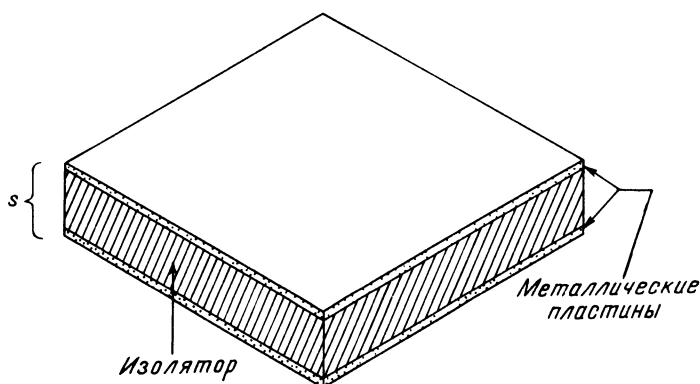


Рис. 20.10. Конденсатор с параллельными обкладками.

Из приведенного выше соотношения следует, что емкость

- 1) прямо пропорциональна площади обкладок,
- 2) прямо пропорциональна диэлектрической проницаемости,
- 3) обратно пропорциональна зазору между обкладками.

Таблица 20.1. Диэлектрическая проницаемость различных материалов

Вакуум	1,000
Сухой воздух	1,0006
Каучук	2 - 3
Бумага	2 - 3
Керамика	3 - 10
Стекло	4 - 7
Слюда	4 - 7
Титанат бария	7500

Диэлектрическая проницаемость является свойством изолирующего материала и непосредственно влияет на емкость конденсатора. Так, для любой заданной емкости диэлектрический материал, используемый в качестве изолятора, будет определять физические размеры конденсатора. Ученые приняли, что диэлектрическая проницаемость абсолютного вакуума равна 1, и диэлектрическая проницаемость всех других материалов устанавливается по отношению к вакууму. Таким образом, материал с $K = 5$ обеспечивает в 5 раз большую емкость, чем вакуум, при тех же размерах обкладок и зазора. В табл. 20.1 представлены диэлектрические проницаемости некоторых известных изолирующих материалов.

Таблица 20.2. Диэлектрическая прочность различных материалов

Материал	В/миль
Воздух	80
Вакуум	10000
Бакелит	500
Стекло	250
Слюда	2000
Бумага	300
Вощеная бумага	1000
Каучук	400
Керамика	80 - 200
Тефлон	1500

При решении проблемы достижения необходимой емкости рассматривают набор факторов: площадь обкладок, расстояние между ними. К сожалению, имеются и другие ограничения.



Рис. 20.11. Многослойный конденсатор.

Наиболее важное из них - не все материалы способны выдерживать высокое напряжение. В табл. 20.2 представлены изолирующие свойства различных материалов, выраженные напряжением пробоя на 1 миль толщины (1 миль = 0,001 дюйма = 0,0025 см).

На рис. 20.11 показан способ достижения большей емкости при меньших размерах электродов. Можно расположить электроды слоями. Общая емкость будет зависеть от общей площади электродов и расстояния между ними. Это конденсатор переменной емкости с воздушным диэлектриком.

Проведем мысленный эксперимент (один из тех, который не захочется реализовать), из которого следует, что энергия запасена в диэлектрике, а не в обкладках. На рис. 20.12 изображен конденсатор, состоящий из трех обычных банок, две из которых сделаны из металла, а одна из пробки (изолятор). Когда конденсатор собран, нажимают кнопку $S1$ и держат до тех пор, пока вольтметр не покажет, что конденсатор полностью заряжен. Тогда кнопка отключается и нужно очень осторожно отделить металлические банки от банки из пробки и соединить металлические банки вместе. Если заряд накоплен в

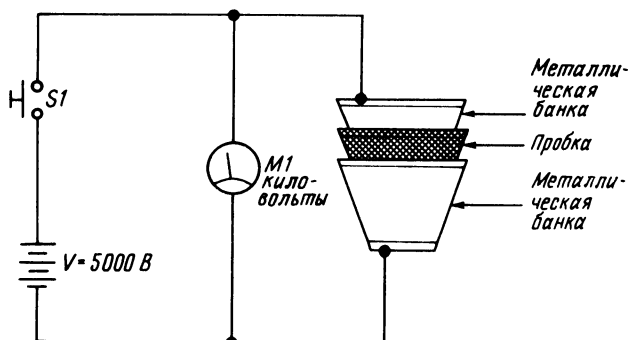


Рис. 20.12. Эксперимент с банками.

обкладках, то эта операция должна его устранить. Однако когда металлические банки снова располагают на банке из пробки, вольтметр покажет постоянное напряжение 5000 В. Значит, заряд был накоплен в диэлектрике, а не в обкладках конденсатора.

ВЫБОР ЕМКОСТИ ДЛЯ ИСТОЧНИКА ПИТАНИЯ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Схема источника питания состоит из трансформатора для установления переменного напряжения, выпрямителя для преобразования его в постоянное пульсирующее напряжение и фильтра для сглаживания постоянного пульсирующего напряжения до почти постоянного. В некоторых случаях используется также стабилизатор напряжения. В источниках питания постоянного тока используется несколько типов сглаживающих фильтров, однако в каждом из них есть конденсатор как элемент, накапливающий энергию. На рис. 20.13 представлены три возможных типа фильтров.

Назначение фильтра состоит в уменьшении пульсаций на выходе выпрямителя. Амплитуда пульсаций служит мерой того, насколько пульсирующий постоянный ток отличается от истинного постоянного тока, и описывается коэффициентом пульсаций. Вообще говоря, коэффициент пульсаций должен быть как можно меньше. Однако на практике требования к пульсациям должны быть ниже, чем для идеальной системы. Например, усилитель мощности широкого назначения может допускать более высокий коэффициент пульсаций от своего источника питания постоянного тока, чем предусилитель проигрывателя или магнитофона с высокой верностью воспроизведения.

В схеме фильтра, представленной на рис. 20.13а, используется так называемый метод грубой силы. Здесь конденсатор большой емкости включается параллельно выходу выпрямителя. Емкость этого конденсатора зависит от требуемого коэффициента пульсаций. Для сетей питания с частотой 60 Гц используются следующие выражения:

$$C \text{ (мкФ)} = 1\,000\,000 / 208 R_1 \text{ г}$$

для источников питания с однополупериодным выпрямителем,

$$C \text{ (мкФ)} = 1\,000\,000 / 416 R_1 \text{ г}$$

для источников питания с двухполупериодным выпрямителем, где C - емкость в микрофарадах, R_1 - сопротивление нагрузки в омах, $г$ - коэффициент пульсаций.

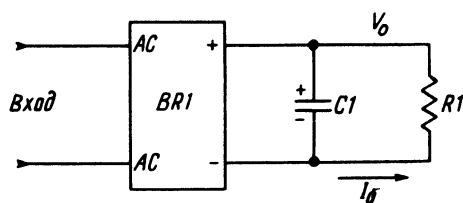


Рис. 20.13а. Простейший фильтр.

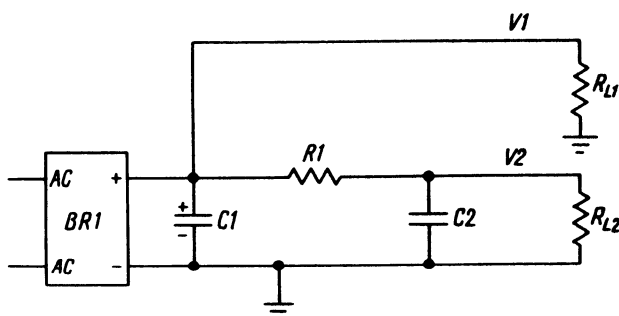


Рис. 20.13б. Схема RC-фильтра.

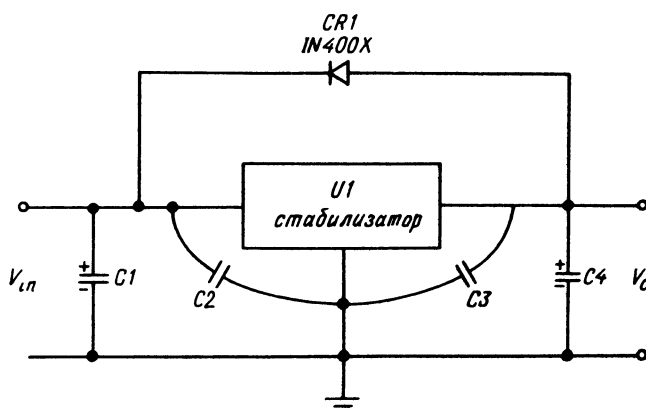


Рис. 20.13в. Схема регулятора напряжения.

ПРИМЕР. Пусть необходим коэффициент гармоник 1,5 (довольно грубое значение) в источнике питания постоянного тока 12 В, который должен обеспечивать выходной ток 3 А от двухполупериодного выпрямителя. Какая емкость необходима для фильтра?

$$C = 1\,000\,000 / 416 R_1 \tau = 1\,000\,000 / 416 (12\text{ В} / 3\text{ А}) \times 1,5 = 1\,000\,000 / 2496 = 4000\text{ мкФ}.$$

Другой вариант фильтра показан на рис. 20.13б. Здесь конденсатор C_1 создает простейший фильтр для нагрузки R_{L1} , а резистор R_1 и конденсатор C_1 образуют звено П-образного RC-фильтра. Хотя фильтр несколько изменяет напряжение, он обеспечивает значительно большее подавление пульсаций, чем простой фильтр из одного конденсатора. В результате можно ожидать, что пульсации выходного напряжения V_2 будут много меньше напряжения V_1 . Выражения для расчета коэффициента пульсаций следующие:

$$r(V_2) = 1 / C_1 C_2 R_1 R_{L2}$$

для источников питания с однополупериодным выпрямителем,

$$r(V_2) = 0,0000025 / C_1 C_2 R_1 R_{L2}$$

для источников питания с двухполупериодным выпрямителем, где $r(V_2)$ - коэффициент пульсаций для напряжения V_2 , C_1 и C_2 - емкость в фарадах, R_1 и R_{L2} - сопротивления в омах.

Последний пример источников питания постоянного тока представлен на рис. 20.13в. В этой схеме используется трехходовая ИС регулятора напряжения типа 7805 LM-340-12 и т. д. Устраняющие шумы конденсаторы C_2 и C_3 могут иметь емкость от 0,1 до 1,0 мкФ. Выходной конденсатор C_4 используется для кратковременной подачи питания во внешнюю цепь, когда внезапная потребность в токе во внешней цепи имеет слишком быстрый характер, чтобы регулятор успел перестроиться. Этот конденсатор должен иметь емкость около 100 мкФ на 1 А входного тока. Емкость конденсатора фильтра C_1 выбирается 1000 мкФ на 1 А. Таким образом, для источника питания постоянного тока на 1 А конденсатор фильтра имеет емкость 1000 мкФ, а выходной конденсатор - емкость 100 мкФ.

Паспортное значение напряжения на конденсаторе должно быть выше, чем максимальное напряжение, при котором обычно используется схема. Это не значит, что конденсатор с рабочим напряжением постоянного тока 16 В можно включить в схему на 15 В. Для определения наихудшей ситуации рассчитайте максимальное прикладываемое напряжение (т. е. когда напряжение в сети переменного тока 126, а не 110 В), добавь-

те 15 % для запаса и затем выберите конденсатор с паспортной емкостью 120 % этого значения.

ПРИМЕР. Пусть выпрямитель имеет пиковое выходное (пульсирующее) напряжение 17,9 В при действующем напряжении в сети переменного тока 110 В. При напряжении в сети 126 В выходное напряжение выпрямителя возрастет до $(126/110) \times 17,9 = 20,5$ В. Добавка 15%-ного запаса дает для худшей ситуации выходное напряжение $1,15 \times 20,5 = 23,6$ В. Умножим это значение на 1,2, чтобы учесть погрешность 20 % паспортного значения рабочего напряжения конденсатора фильтра. Таким образом, необходим конденсатор с рабочим напряжением 28,32 В или выше. Так как рабочее напряжение 35 В является следующим стандартным значением, его можно выбрать для нашей схемы.

ВЫБОР ЕМКОСТИ ДЛЯ СХЕМЫ УСИЛИТЕЛЯ

Для большинства схем полупроводниковых усилителей важен частотный отклик. Например, в усилителе с общим эмиттером на *npn*-транзисторе (рис. 20.14а) имеется конденсатор, шунтирующий эмиттерный резистор 470 Ом. Назначение этого конденсатора - заземление эмиттера по переменному сигналу и сохранение более высокого постоянного напряжения ($I_e \times 470$). Реактивное сопротивление конденсатора C должно быть равно или меньше $1/10$ сопротивления в цепи эмиттера. Таким образом, в рассматриваемом случае нужен конденсатор с реактивным сопротивлением $470/10 = 47$ Ом. Следовательно, емкость должна быть больше или равна величине

$$C \text{ (мкФ)} = 1\,000\,000 / 6,28 X_c F,$$

где C (мкФ) - емкость в микрофарадах, X_c - реактивное сопротивление в омах, F - частота в омах для уровня -3 дБ.

Рассмотрим предусилитель для персонального радиопередатчика, для которого требуется отклик в низкочастотном диапазоне до 300 Гц. В описанном выше случае с резистором в цепи эмиттера на 470 Ом реактивное сопротивление конденсатора должно быть 47 Ом, так что приведенное соотношение дает 11,3 мкФ или выше.

Более общий случай представлен на рис. 20.14б. Здесь показан линейный усилитель (хотя изображен ОУ), который используется для обработки сигнала звуковой частоты и других переменных сигналов. Отклик в области высоких частот на уровне -3 дБ определяется конденсатором C_2 , а в низкочастотной области - конденсатором C_1 . Применяются следующие соотношения:

$$C_1 = 1\,000\,000 / 6,28 R_1 F_1,$$

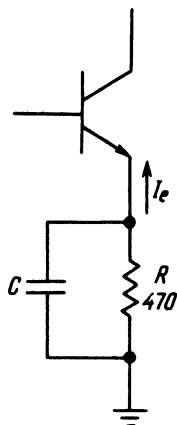


Рис. 20.14а. Выбор блокировочного конденсатора в цепи эмиттера.

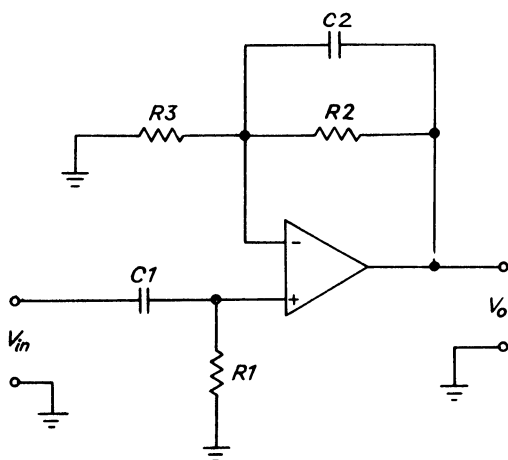


Рис. 20.14б. Частотно-задающие цепи в схеме ОУ.

$$C2 = 1\,000\,000 / 6,28 R2 F2,$$

где $C1$ и $C2$ - в микрофарадах, $R1$ и $R2$ - в омах, $F1$ и $F2$ - в герцах.

ВЫБОР ЕМКОСТИ ДЛЯ КОЛЕБАТЕЛЬНОГО КОНТУРА

Колебательный контур представляет собой частотно-избирательную резонансную схему, которая используется в радиоприемных и радиопередающих схемах и других устройствах. Хотя во многих приложениях требуется решение специальных уравнений, можно рассмотреть общий случай для параллельного резонансного контура, изображенного на рис. 20.15.

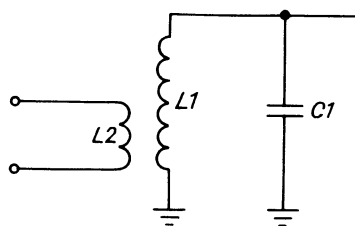


Рис. 20.15. Схема колебательного контура.

Резонанс в колебательном контуре имеет место, когда реактивное сопротивление индуктивности равно реактивному сопротивлению емкости, что возможно только на одной частоте. Индуктивное сопротивление обычно рассчитывается при рассмотрении других проблем, таких, как реактивное сопротивление, необходимое в качестве нагрузки для усилителя, а емкость выбирается из условия обеспечения резонанса с этой индуктивностью на рабочей частоте.

ВЫБОР ЕМКОСТИ ДЛЯ ЦИФРОВЫХ СХЕМ

В цифровых схемах конденсаторы редко используются в цепях сигнала, но почти всегда их используют для развязки источников питания. На практике, особенно для транзистор-транзисторных логических схем (ТТЛ), можно использовать конденсатор емкостью 0,001 мкФ для шины +5 В каждого кристалла, или конденсатор емкостью 0,1 мкФ для каждого второго или третьего кристалла. Сама печатная плата должна быть шунтирована танталовым конденсатором емкостью 10 или 200 мкФ в зависимости от того, какой ток обычно протекает через печатную плату.

Для большинства приложений емкость конденсатора, необходимая в каждом конкретном случае, определяется на основе критериев, приведенных выше.

ДИОДЫ И ПЕРЕКЛЮЧАТЕЛИ

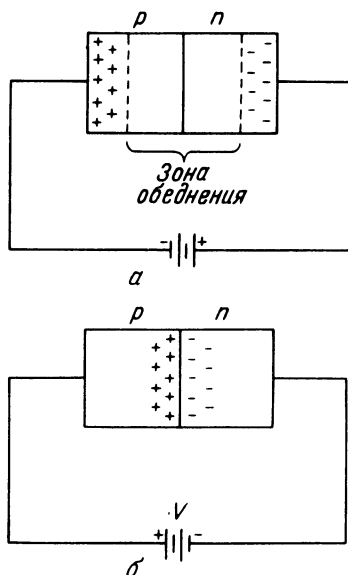
В разнообразных современных электронных устройствах используются диодные переключатели вместо электромеханических переключателей и реле. Некоторые случаи применения довольно очевидны, однако в других случаях необходимо более глубокое понимание внутренних механизмов процессов в диоде, чтобы понять, как работает схема. В этом разделе мы рассмотрим некоторые приложения переключающих диодов.

Диоды с pn -переходами и pin -диоды

Мы рассмотрим обычные диоды с pn -переходами и диоды специального назначения, называемые pin -диодами. Эти диоды состоят из двух областей полупроводникового материала. Одна из них легирована примесью, поставляющей носители с отрицательным зарядом, и называется материалом с электропроводностью n -типа, вторая легирована p -примесью, обеспечивающей носители положительного заряда, и называется материалом с электропроводностью p -типа. Носителями отрицательного заряда являются электроны, а носители положительного заряда называются дырками. Реально дырка - это незанятое место в атомной структуре материала, там где должен быть электрон. Поскольку электрон отсутствует, атом имеет избыточный положительный заряд, равный заряду электрона, но противоположного знака. В pn -переходе диода области материала p - и n -типа соединены между собой вдоль перехода (рис. 20.16).

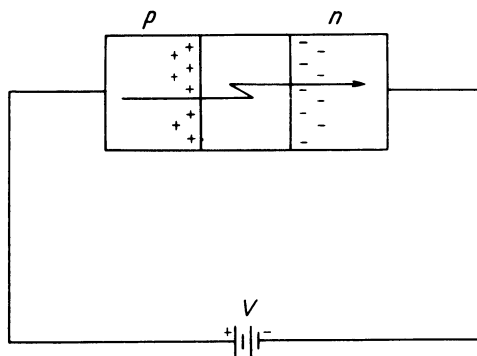
Работа pn -перехода зависит от полярности и амплитуды приложенного напряжения. На рис. 20.16,а pn -переход смещен в обратном направлении. В этом случае положительный вывод источника питания соединен с материалом n -типа, а отрицательный - с материалом p -типа. Поскольку заряды противоположных знаков притягиваются, электроны из материала n -типа вытягиваются в направлении положительного электрода источника питания и обратно. В результате в переходе образуется центральная область, свободная как от положительных так и отрицательных носителей заряда, называемая областью обеднения. Следствием приложения обратного смещения к pn -переходу является отсутствие тока. Область обеднения - хороший диэлектрик и ее сопротивление очень высоко. В идеальном pn -переходе область обеднения препятствует протеканию тока, хотя в реальных диодах очень слабый ток все же протекает.

На рис. 20.16,б диод смещен в прямом направлении. Обратите внимание, что полярность напряжения обратная по сравнению с ситуацией на рис. 20.16,а. В этом случае одноименные заряды отталкиваются, поэтому носители положительных и от-

Рис. 20.16. Стандартный диод с pn -переходом.

рицательных зарядов вытягиваются в направлении перехода. Находясь на очень малом расстоянии друг от друга, они пересекают барьер и рекомбинируют друг с другом. Тогда заряды поступают от источника напряжения и создается ток через переход.

В pin -диоде (рис. 20.17) имеется изолирующая область, расположенная между материалами p - и n -типа. Область i не яв-

Рис. 20.17. Структура pin -диода.

ляется полупроводниковым изолятором, скорее, это слаболегированная область n -типа (чистый кремний трудно получить). Если приложить к pin -диоду прямое напряжение смещения, то носители заряда будут инжектироваться в i -область из областей p - и n -типа. Однако конструкция этого прибора такова, что носители заряда не рекомбинируют немедленно (как в диоде с pn -переходом), а всегда имеется некоторое время задержки до рекомбинации. Вследствие эффекта задержки всегда имеется малое, но конечное количество свободных носителей. Следствием этого является низкое сопротивление i -области.

Переменный радиосигнал может проходить через прибор как через плоский конденсатор. Можно использовать pin -диоды в качестве электронных ключей для радиочастотного диапазона, линий задержки или фазовращателей. В некоторых современных микроволновых устройствах pin -диоды используются в качестве фазовращателей в гигагерцевом диапазоне.

Схемы переключателей на диодах

Как pin -диоды, так и диоды с pn -переходом можно использовать в переключателях последовательного и параллельного типа. На рис. 20.18 представлены два варианта последовательного переключателя на диодах. Диод CR1 включен последовательно с трактом сигнала. Когда диод включен, тракт сигнала имеет низкое сопротивление для прохождения сигнала, а когда диод выключен, сопротивление высокое (что и обеспечивает переключение). На рис. 20.18,а показан вариант схемы, в которой радиочастотный тракт шунтирован по постоянному току (RFC1 и RFC2). Эти приборы имеют высокое общее сопротивление для радиосигнала и низкое для постоянного тока. Когда ключ S1 открыт, постоянное смещение отсутствует, цепь разомкнута и имеет высокое последовательное сопротивление. Когда ключ S1 замкнут, диод смещен в прямом направлении и цепь для прохождения сигнала имеет низкое сопротивление. Отношение сопротивлений в выключенном и включенном состояниях определяет степень изоляции схемы.

На рис. 20.18,б показан вариант схемы, в которой индуктивности RFC1 и RFC2 заменены резисторами. В некоторых схемах в цепях смещения по постоянному току используется как шунтирование частоты по постоянному току, так и резисторы. В обеих схемах разделительный конденсатор изолирует диод от внешних источников постоянного тока и внешние цепи от воздействия переключающего постоянного смещения.

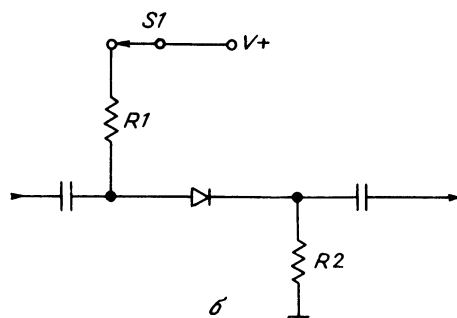
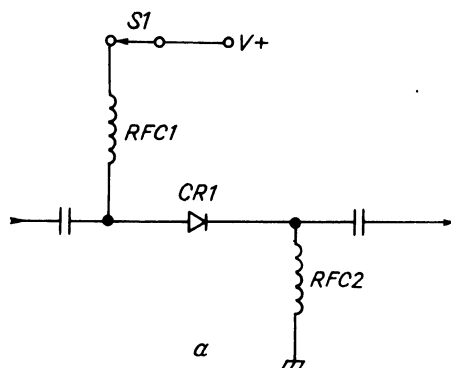


Рис. 20.18. Последовательные переключатели на *pin*-диодах.

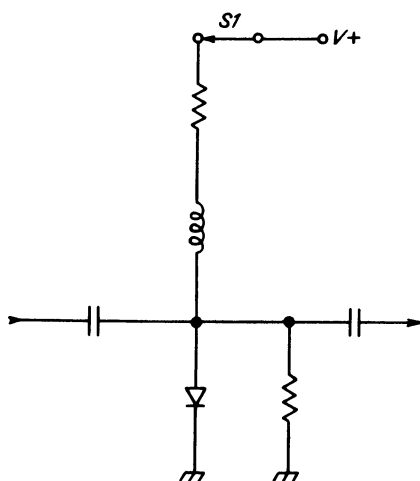


Рис. 20.19. Шунтирующий переключатель на *pin*-диодах.

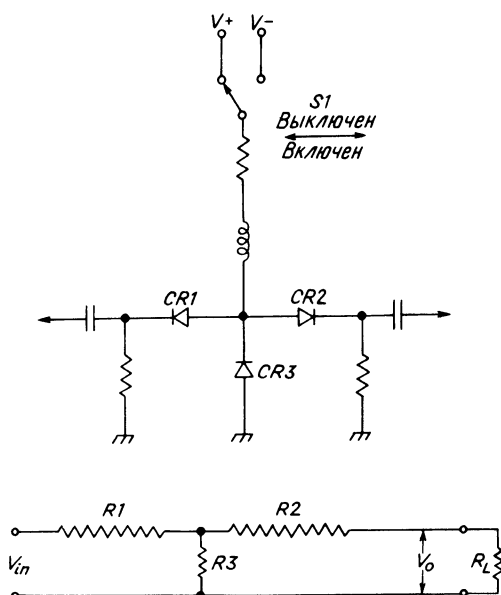


Рис. 20.20. Комбинированный последовательно -параллельный переключатель на *pin*-диодах.

На рис. 20.19 представлена базовая схема шунтирующего переключателя. В этом случае диод включен параллельно тракту сигнала. Когда диод выключен, тракт имеет высокое сопротивление, так что работа схемы не нарушается. Когда диод включен (ключ $S1$ замкнут), состояние линии связи близко к закорачиванию. Эта схема находится во включенном состоянии, когда диод смещен в прямом направлении. Принцип действия этой схемы противоположен принципу действия последовательного переключателя, в котором прямосмещенный диод включает схему.

Комбинированная схема с последовательно-параллельным включением показана на рис. 20.20. В этой схеме $CR1$ и $CR2$ включены последовательно в тракт сигнала, а $CR3$ - параллельно тракту сигнала. $CR1$ и $CR2$ включаются при положительном напряжении смещения, $CR3$ - при отрицательном. Когда ключ $S1$ замкнут, к переходам всех трех диодов прикладывается положительное смещение. При этом $CR3$ сильно обратно смещен и имеет высокое сопротивление. Сигнал проходит от входа к выходу без существенных потерь (большинство *pin*-диодов имеет очень низкое последовательное сопротивление).

Когда ключ $S1$ разомкнут, имеет место обратная ситуация. В этом случае приложенное напряжение отрицательно, $CR1$ и $CR2$ обратно смещены, а значит, имеют высокое последовательное сопротивление. При работе эта схема сильно ослабляет входное напряжение (см. вставку на рис.20.20). Сопротивления $R1$ и $R2$ приблизительно равны и много больше, чем $R3$, таким образом, переключатель в положении “выключено” находится в состоянии с сильным уменьшением коэффициента передачи.

ПРИМЕНЕНИЕ ДИОДНЫХ ПЕРЕКЛЮЧАТЕЛЕЙ

Диоды можно использовать как простые однополюсные группы переключающих и размыкающих контактов в различных схемах, характеристики которых зависят от отношения сдвига фазы к времени задержки диода. Рассмотрим семейство различных устройств, использующих переключатели.

Простая однополюсная группа переключающих контактов на диодах показана на рис. 20.21. Эта схема похожа на прежние технические решения, используемые для передвижных устройств ультракоротковолнового и сантиметрового диапазонов с частотной модуляцией, так как она использовалась для переключения кварцевых резонаторов в многоканальных передатчиках. Транзистор $Q1$ - это транзистор с pn -переходом, используемым в типовом генераторе Миллера и применяемым обычно в таких передатчиках. Каждый кварцевый резонатор и его устанавливаю

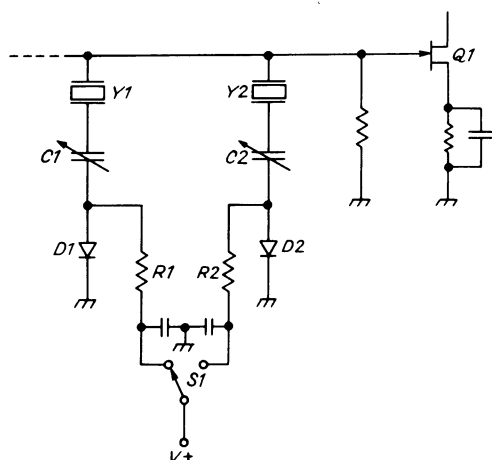


Рис. 20.21. Переключение кварцевых резонаторов с диодами.

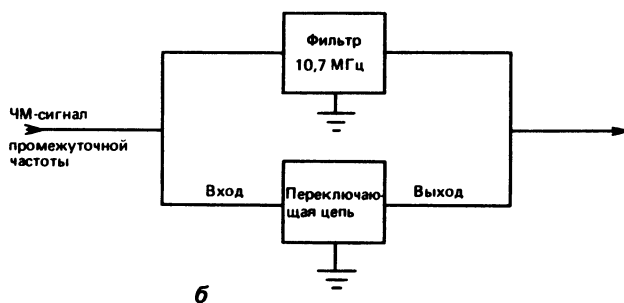
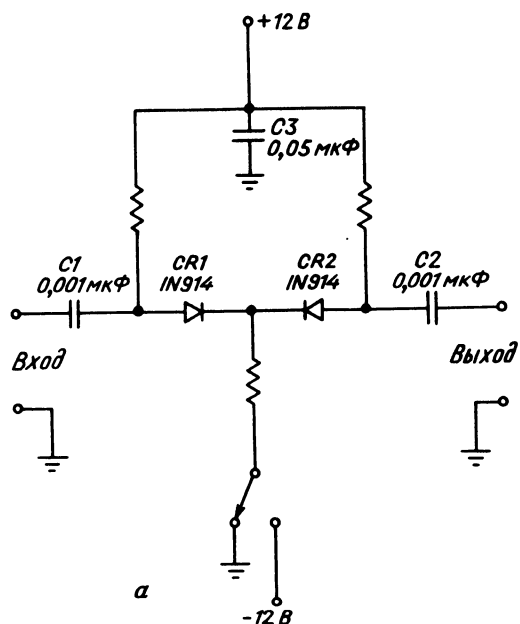
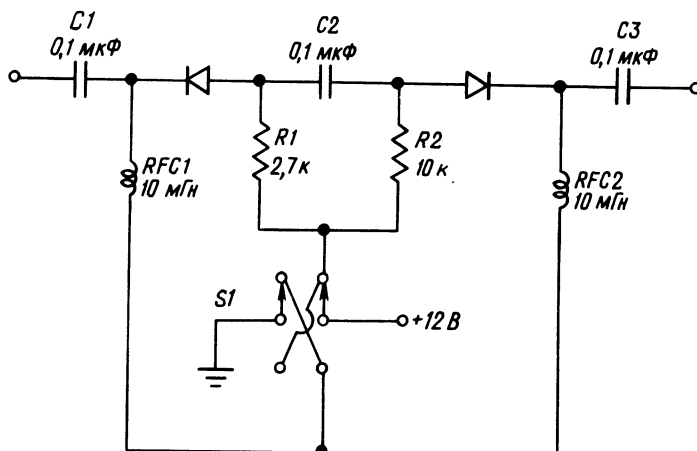
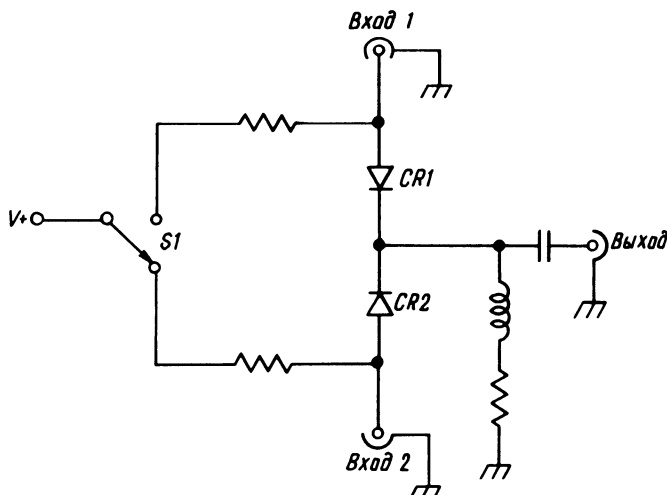


Рис. 20.22а, б. Переключение фильтра диодами.

ший частоту конденсатор соединены последовательно с обычными кремниевыми диодами D1 и D2. Выбор кварцевого резонатора определяется тем, какой из диодов включен в прямом направлении. Когда через переключатель S1 подается постоянное смещение на диод D1, выбирается резонатор Y1. Когда смещение подается на диод D2, выбирается резонатор Y2.

Рис. 20.22в. Тумблер на *pin*-диодах.Рис. 20.22г. Однополюсная группа переключающих контактов на *pin*-диодах.

Однополюсная группа замыкающих контактов представлена на рис. 20.22,а. Здесь также используются обычные кремниевые диоды для высокочастотного сигнала (1N914, 1N4148 и др.). Эта схема использовалась в усилительной цепи ЧМ-сигнала промежуточной частоты для включения или выключения узко-

полосного кварцевого фильтра (рис. 20.22,б). Когда ключ разомкнут, он имеет высокое последовательное сопротивление и сигнал проходит через узкополосный кварцевый фильтр на частоту 10,7 МГц. Но когда ключ замкнут, он имеет низкое последовательное сопротивление и сигнал проходит вне фильтра через низкое шунтирующее сопротивление. В обоих случаях сигнал проходит по тракту наименьшего сопротивления.

В схемах на рис. 20.21 и 20.22 использованы обычные кремниевые диоды для переменного сигнала вместо редких *pin*-диодов. Как это возможно? Дело в том, что диоды имеют существенное омическое сопротивление для малых переменных сигналов, если они сильно смещены в прямом направлении. До тех пор, пока напряжение переменного сигнала очень мало по сравнению с потенциалом прямого постоянного смещения, диод работает линейно (чтобы убедиться в этом, рассмотрим обычную вольт-амперную характеристику диода с *pn*-переходом в области больших напряжений). Вариант этой схемы представлен на рис.20.22 в. Здесь ключ S1 относится к типу однополюсных переключающих контактов и подает на диоды напряжения обоих направлений, обеспечивая при необходимости их включение или выключение. Эта схема используется в ВЧ-передатчиках.

Схема однополюсных переключающих контактов показана на рис. 20.22г. В этом случае имеется два переключателя последовательного типа на одном диоде, соединенных таким образом, чтобы обеспечить подсоединение двух различных входов к общему выходу (или наоборот, так как схема пропускает сигнал в обоих направлениях) в зависимости от положения переключателя S1. Когда S1 находится в положении, показанном на рисунке, диод CR2 смещен в прямом направлении и вход 2 соединен с выходом. Когда ключ находится в другом положении, диод CR1 смещен в прямом направлении. В этом случае вход 1 соединен с выходом.

Последний пример применения переключателей показан на рис. 20.23. В этом случае имеется два *pin*-диода, служащих в качестве переключателя прием - передача в радиопередатчике. Это техническое решение используется от низкочастотного края ультракоротковолнового диапазона до микроволнового и даже сантиметрового диапазона. Здесь показан так называемый безрелейный переключатель прием - передача, и можно убедиться, что цепь на основе *pin*-диодов типа представленной на рис. 20.23 использована для этой цели. Когда ключ S1 разомкнут, диоды CR1 и CR2 обратно смещены (в действительности смещения нет), имеет место высокое сопротивление для прохождения сигнала. Диод CR1 включен последовательно с сигналом передатчика и блокирует его прохождение к антенне. Диод CR2

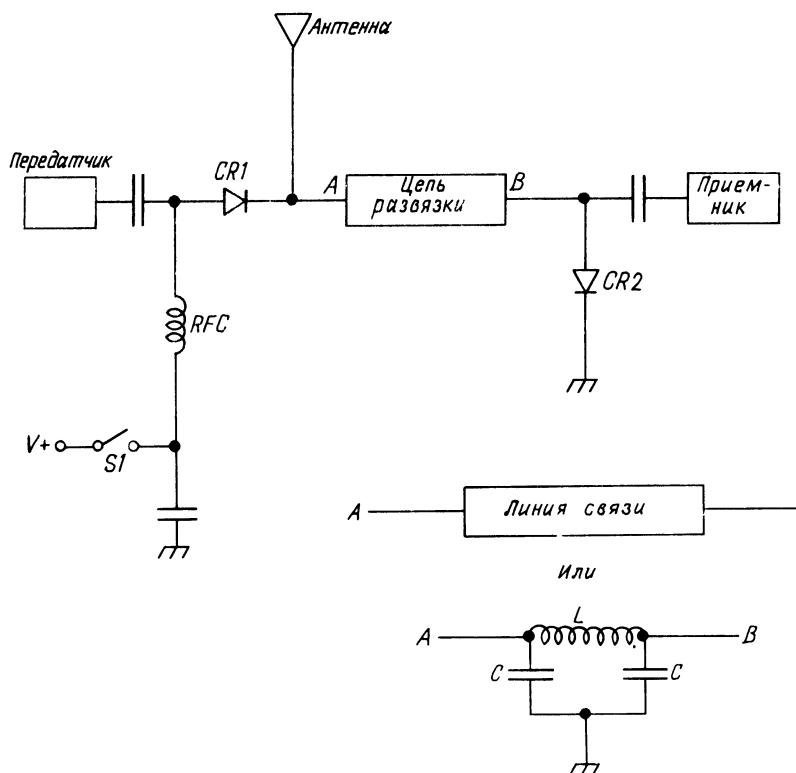


Рис. 20.23. Переключатель передатчик - приемник.

$$L = Z_0 / 6,28 \text{ F}, C = 1 / 6,28 \text{ F } Z_0.$$

включен параллельно входу приемника и вообще не ослабляет входной сигнал приемника. Но когда ключ S1 замкнут, имеет место обратная ситуация: диоды CR1 и CR2 смещены в прямом направлении. Диод CR1 имеет теперь низкое сопротивление и включен последовательно с выходом передатчика, так что передатчик надежно подключен к антенне. Диод CR2, однако, включен параллельно входу приемника, что вызывает закорачивание входа.

Изолирующая цепь может быть выполнена в виде четверть-волновой линии связи или в виде микрополосковой линии на печатной плате, или в виде цепочки П-образного LC-фильтра. Передатчики мощностью до нескольких киловатт разработаны с использованием этого метода переключения. Почти во всех портативных переговорных устройствах коротковолнового и УКВ-диапазона также применяются переключатели на pin-диодах.

ЗАМЕЧАНИЯ ПО ОБСЛУЖИВАНИЮ

Диодные ключи работают в принципе так же, как и другие диоды. Диод с *pn*-переходом может быть проверен сравнением прямого и обратного сопротивлений с помощью омметра, который может сместить диод в прямом направлении (не все цифровые приборы вызывают достаточное смещение). *pin*-диод может быть проверен аналогичным образом. Исправность обоих диодов можно установить путем умозаключения: если при подаче постоянного смещения через переключатель не проходят сигналы или при выключении смещения сигнал не исчезает, то диод может быть неисправен.

ГЛАВА 21

ВЫБОР ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ДЛЯ ЗАМЕНЫ

Каждый специалист, хоть немного связанный с ремонтом или созданием электронного оборудования, столкнется с ситуацией, когда понадобится транзистор, которого нет в наличии или трудно достать. В некоторых случаях стандартную замену можно подобрать по каталогу, в других - решение необходимо принимать самостоятельно. Проблеме взаимозаменяемости транзисторов было посвящено множество дискуссий среди специалистов, однако эта проблема по-прежнему остается. Советы, данные в этой главе, применимые к транзисторам, используемым в оборудовании для радиосвязи, могут иметь и другие приложения.

Основная предварительная посылка состоит в том, что мы имеем дело с радиооборудованием, которое работало нормально и затем вышло из строя. Эта идея очень важна. Многие из излагаемого можно использовать и при конструкторских работах, но иногда эта область инженерной деятельности имеет свои специфические тайны, где советы из стандартных руководств не подходят. Некоторые плохо сконструированные приборы очень критичны к параметрам конкретного транзистора и не работают при замене на аналогичное устройство этой серии.

Существуют даже примеры, когда устройство критично не только к типу элемента, но и к тому, где этот элемент изготовлен. Те, кто работал с ламповыми приборами, помнят очень дорогие приемники ВЧ-диапазона - 51J4 и 51S4, частотная калибровка которых не нарушалась только при условии, если в гетеродине использовались лампы фирмы RCA. По-видимому, это было связано с межэлектродной емкостью. Бывают аналогичные ситуации и в транзисторных приборах. Именно поэтому мы ограничиваем рассмотрение ремонтом работающих и надеемся хорошо сконструированных приборов.

ТОЧНАЯ ЗАМЕНА

Самый простой способ сделать надежную замену с минимальными усилиями - это запросить заменяемый элемент с завода-производителя. К сожалению, это не всегда можно реализовать. Некоторые заводы не поставляют элементы по разовым заявкам, другие требуют за это значительную плату. Иногда завод отсылает в специальные магазины, однако требует при этом неприемлемую оплату. За исключением случая, когда радиодеталь можно выбрать вручную из большого набора аналогичных элементов, эта дорогая практика неприемлема.

СТАНДАРТНАЯ МАРКИРОВКА

Если дефектный транзистор имеет стандартную маркировку 2N, то следует просто взять аналогичный независимо от конкретной фирмы. К сожалению, встречаются “транзисторы оригинального изготовления”, имеющие нестандартную маркировку, которая ничего не говорит никому, кроме изготовителей. Иногда это делается потому, что транзистор специально отобран из других транзисторов 2N-типа и только те транзисторы, которые отобраны аналогично, могут использоваться в приборе. В некоторых случаях это делается для удобства инвентаризации, а в некоторых - потому что изготовители не хотят отдавать доход от замены деталей в другие руки.

КАТАЛОГИ ПО ВЗАИМОЗАМЕНЯЕМОСТИ

Специализированные каталоги взаимозаменяемых радиодеталей кажутся источником точной информации. Их следует использовать всегда, когда это возможно. Но и тут могут подстерегать неожиданности. Теоретически вся информация в каталоге обработана с помощью компьютеров. Тем не менее, добросовестно следуя этим рекомендациям, мы иногда обнаруживаем, что заменяющий элемент имеет недостаточную мощность или рабочее напряжение, слишком узкую ширину полосы, другую форму корпуса и габаритные размеры, что вызывает проблемы размещения. Многие из этих расхождений возникают из-за того, что справочные данные перепечатываются с изданий, содержащих ошибки. Не секрет, что рекомендуемые замены редко проверяются практически. Неплохо проверить разумность рекомендуемой замены, посмотрев спецификации приборов по каталогу и сравнив их с тем, что известно.

Рекомендую вернуть неподошедший транзистор, полученный по каталогу, снабдив его пояснительной запиской. Поставщик может понять намек. Экономическая мощь крупных мастерских

позволяет им требовать замену, а рядовой потребитель не всегда может это себе позволить.

Другая проблема связана с идентификацией. Многие производители используют собственную маркировку полупроводниковых компонентов. Эту проблему можно решить с помощью списка взаимозаменяемых деталей. В некоторых случаях это делается достаточно просто, но что если два изготовителя случайно присвоили одинаковые обозначения совершенно различным элементам? Маловероятно, что это будет учтено в каталоге (хотя иногда случается).

Вспомните старое правило из школьного курса математики: “два элемента, равные порознь третьему, равны между собой”. Оно подходит и для работы с каталогом. Это можно сделать двумя способами. Во-первых, можно определить взаимозаменяемые элементы. Например, если, согласно каталогу, марка транзистора 2N5xxx соответствует марке ZE-234, то мы можем поискать другие транзисторы серии 2N, соответствующие марке ZE-234, и использовать их для замены.

Другой метод особенно полезен, когда вместо стандартной 2N-маркировки применяется заводская. Предположим, в приемопередатчике Wombat Thunderbolt используются транзисторы с маркировкой 8501234. Что это означает? Согласно каталогу, это соответствует марке ZE-234. Этому транзистору соответствует транзистор 2N5xxx. Тогда есть шанс, что инженеры, делавшие Wombat, взяли транзисторы 2N5xxx и “переименовали” их в 8501234. Возможно, это не точный эквивалент, но можно держать пари, что он будет работать, если только 8501234 не является специально отобранным транзистором из серии 2N5xxx (гарантий нет, но тем не менее попытка обоснована).

ПРОБЛЕМЫ С АВТОМОБИЛЬНЫМ ОБОРУДОВАНИЕМ

До сих пор проблема поиска заменяющего транзистора была одинакова для стационарного и передвижного оборудования. Но есть и одно различие, существенное для мобильных приборов, — окружающая температура.

Один из производителей заинтересовался причиной большого числа отказов в первых полупроводниковых автомобильных приемниках и решил исследовать распределение тепла в кабине автомобиля (как возможной причины отказов). Компания попросила инженеров своего радиозавода оставить свои автомобили незапертыми на один день. В этот день температура воздуха была 32°. Средняя температура внутри автомобилей оказалась 71° на сиденье и 82° за приборной доской!

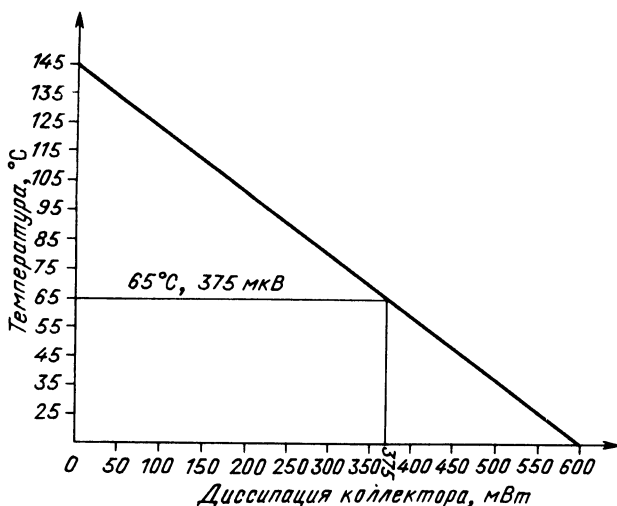


Рис. 21.1. График для допустимой мощности рассеиваемой коллектором.

КОРРЕКТИРОВКА ПАСПОРТНЫХ ДАННЫХ

Публикуемые характеристики транзисторов обычно измеряются при комнатной температуре 25° . Если транзистор используется при более высокой окружающей температуре, то максимально допустимая мощность, рассеиваемая коллектором, должна быть снижена. Это предотвратит возможные поломки. В противном случае транзистор может выйти из строя даже при нормальных электрических режимах.

Типичный график, используемый для корректировки паспортных данных, представлен на рис. 21.1. Обратите внимание, что допустимая мощность, рассеиваемая коллектором, снижается с 550 мВт при 25° до 375 мВт при 65° . Это объясняет, почему транзистор в автомобильном приборе может оказаться неисправным, даже если работал при пониженной мощности. Будьте внимательны в таких ситуациях, особенно если пытаетесь использовать дешевые (“пять-штук-за-доллар”) транзисторы, характеристики которых часто завышены.

СЛОЖНЫЕ СЛУЧАИ

Зачастую маркировка неисправного транзистора ничего не говорит. Тогда, если замена необходима, придется освоить профессию “электронного детектива” и найти ответы на следующие вопросы:

1. Какой транзистор - кремниевый или германиевый?
 2. Какой тип транзистора - *pnp* или *npr*?
 3. Каков его коэффициент усиления?
 4. Какова ширина полосы частот?
 5. Какова максимально допустимая мощность, рассеиваемая коллектором?
 6. Имеются ли специальные требования к монтажу?
- Если удастся ответить на эти вопросы, то легко подобрать замену из имеющегося набора транзисторов.

КРЕМНИЕВЫЙ ИЛИ ГЕРМАНИЕВЫЙ ТРАНЗИСТОР

В кремниевых транзисторах переходы имеют более высокое сопротивление по постоянному току, чем в германиевых. Кремниевые транзисторы всегда имеют сопротивление, близкое к бесконечному, за исключением прямого смещения переходов база-эмиттер и база-коллектор. Если хотя бы один переход транзистора не поврежден, то определить материал, из которого изготовлен транзистор, можно сравнением результатов измерений с данными для известных транзисторов со сходными размерами и мощностными характеристиками.

Напряжение прямого смещения транзисторов во всех каскадах, за исключением генераторных и некоторых импульсных схем в видеоаппаратуре, должно составлять 0,2 - 0,3 В для германиевых и 0,5 - 0,7 В для кремниевых транзисторов. Определить эти напряжения можно по принципиальной схеме или измерив их на исправных переходах (либо в исправных транзисторах, имеющих такую же маркировку). В результате будет ясно, какой транзистор требуется для замены - кремниевый или германиевый.

pnp- ИЛИ npn-ТИП?

Когда потенциал коллектора больше, чем эмиттера, транзистор относится к *npr*-типу; когда потенциал коллектора ниже, чем эмиттера, то транзистор принадлежит к *pnp*-типу. Большинство принципиальных схем позволяют определить эти потенциалы. Часто можно непосредственно измерить эти потенциалы в схеме.

Если хотя бы один переход транзистора исправен, полярность можно определить с помощью омметра. Если омметр показывает низкое сопротивление, когда положительный щуп соединен с базой, а отрицательный с эмиттером, то это *npr*-транзистор, в противоположном случае - *pnp*-транзистор. Эти изме-

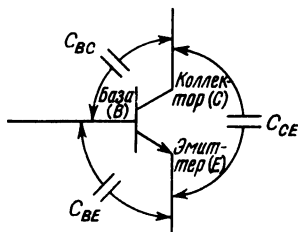


Рис. 21.2. Емкости *pn*-переходов транзистора.

рения следует производить с омметрами прежних моделей, или с современными цифровыми измерителями, установленными на режим “диод” либо “высокое напряжение”.

ЧАСТОТНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА

Допустим, заменен маломощный транзистор, а он не усиливает сигнал. Режимы по постоянному току в норме, перегрева нет, а транзистор не работает. Возможно, что выбранный на замену транзистор имеет слишком узкую частотную полосу и значит, недостаточное усиление.

Нет единой методики измерения частотных характеристик. Хуже того, производители не всегда используют корректные методы. В одном каталоге аналогов были смешаны данные основанные на результатах трех совершенно разных методов!

Это может быть причиной того, что, установив в схему транзистор “на 50 МГц”, вы обнаружите, что он недостаточно усиливает сигнал с промежуточной частоты 10,7 МГц в ОВЧ ЧМ-радиоприемнике. Конечно, производитель не вводил в заблуждение сознательно, просто его метод измерения не согласован с вашей системой.

Как показано на рис. 21.2, одним из определяющих факторов здесь являются емкости *pn*-переходов. Другой фактор - толщина и геометрия области базы, а также время, необходимое для пересечения этой области большинством носителей заряда. Если емкости *pn*-переходов в заменяющем транзисторе выше допустимых, то усиление на высоких частотах будет снижено (а любой LC-колебательный контур в транзисторном усилителе будет расстроен).

Кроме того, существует эффект Миллера, выражающийся в том, что реальные емкости увеличиваются за счет внутренних обратных связей. Небольшое различие во внутренней емкости может привести к большим изменениям эффективной емкости вследствие эффекта Миллера.

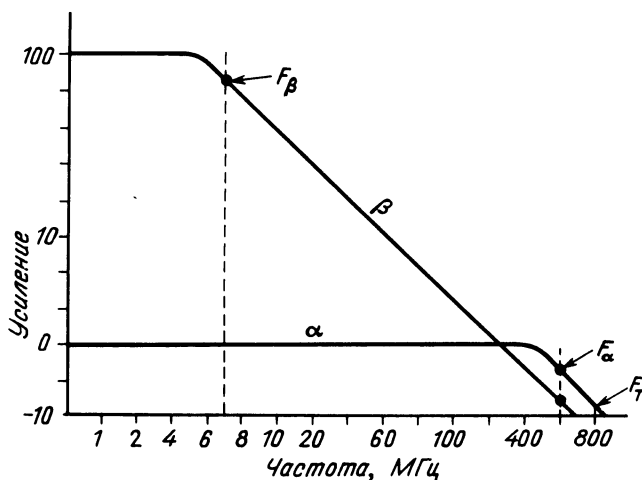


Рис. 21.3. Сравнение коэффициентов альфа и бета для одиночного транзистора.

КОЭФФИЦИЕНТЫ УСИЛЕНИЯ АЛЬФА И БЕТА

Коэффициент усиления альфа выражается отношением тока коллектора к току эмиттера и никогда не может превышать единицу. Коэффициент альфа обычно измеряется в схеме с общей базой. Коэффициент усиления бета выражается отношением тока коллектора к току базы и обычно измеряется в схеме с общим эмиттером. Как видно на рис. 21.3, частота отсечки значительно отличается для этих двух коэффициентов. Производитель, измеряющий частотную характеристику, по схеме с общей базой, может вполне обоснованно указать ширину полосы, значительно превышающую ширину полосы для схемы с общим эмиттером. Разумеется, коэффициент усиления для схемы с общей базой может привести к отсутствию усиления на промежуточной частоте 10,7 МГц.

ПРОИЗВЕДЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА УСИЛЕНИЯ НА ШИРИНУ ПОЛОСЫ

Другой параметр, определяющий частотную характеристику — произведение коэффициента усиления на ширину полосы. Он численно равен частоте, на которой коэффициент усиления в схеме с общим эмиттером снижается до единичного. Например, представьте транзистор с низкочастотным (1000 Гц) коэффициентом бета, равным 50, и произведением коэффициента усиления

ния на ширину полосы, равным 50 МГц. Это произведение равно коэффициенту бета, умноженному на частоту отсечки в схеме с общим эмиттером. Таким образом, частота отсечки составляет всего 1 МГц, что и может быть причиной отсутствия усиления при замене.

ВЫБОР ПРЕДЕЛЬНЫХ РЕЖИМОВ

Следует осторожно подходить к анализу предельных значений токов и напряжений, указанных производителем. Дело в том, что указанные предельные значения токов и напряжений вовсе не означают, что транзистор может надежно работать одновременно в обоих режимах. График на рис. 21.4 показывает, что транзистор может надежно работать или при высоком токе, или при высоком напряжении, но не одновременно в обоих режимах. Максимально допустимая мощность, рассеиваемая коллектором, равная произведению напряжения и тока, не должна превышать.

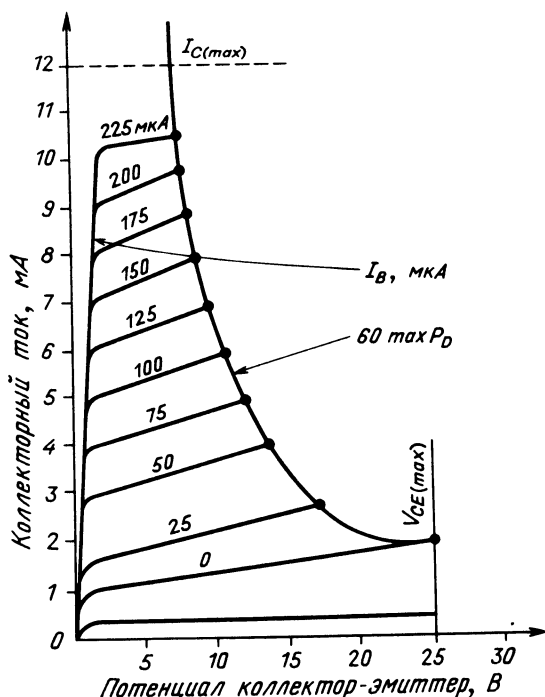


Рис. 21.4. Характеристическая кривая транзистора.

МЕХАНИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ

Проблемы, связанные с физическими размерами, подводящими проводами, методами монтажа, не менее важны, чем правильный выбор электрических параметров заменяющего транзистора.

Сначала рассмотрим корпус для мощного ВЧ-транзистора на рис. 21.5, в котором используются тонкие, плоские “безындуктивные” провода. Размеры транзистора могут варьироваться и не всегда отражают относительный уровень рассеиваемой мощности (хотя обычно это так). Один передвижной усилитель ЧМ-сигналов на частоте 150 МГц мог работать с двумя мощными транзисторами. Отверстие в печатной плате соответствовало большему размеру, а для меньшего было предусмотрено переходное О-образное резиновое кольцо.

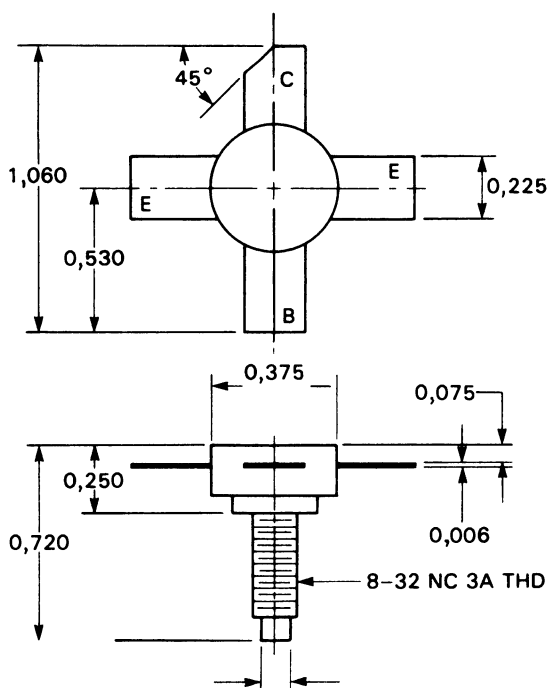


Рис. 21.5. Корпус для мощного ВЧ-транзистора.

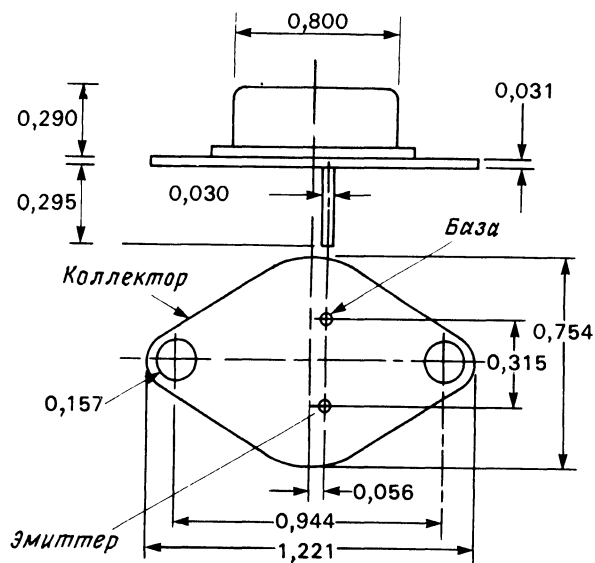


Рис. 21.6а. Корпус ТО-3 для ВЧ-транзисторов.

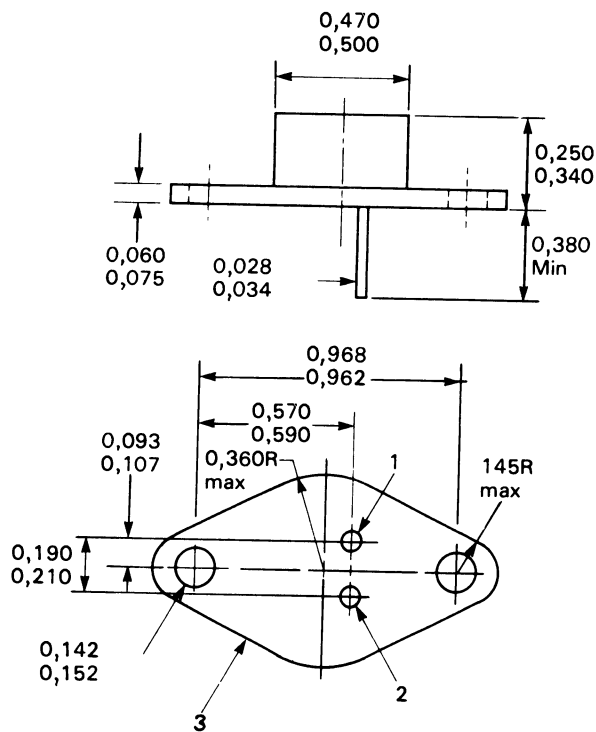


Рис. 21.6б. Корпус ТО-66 для мощного транзистора.

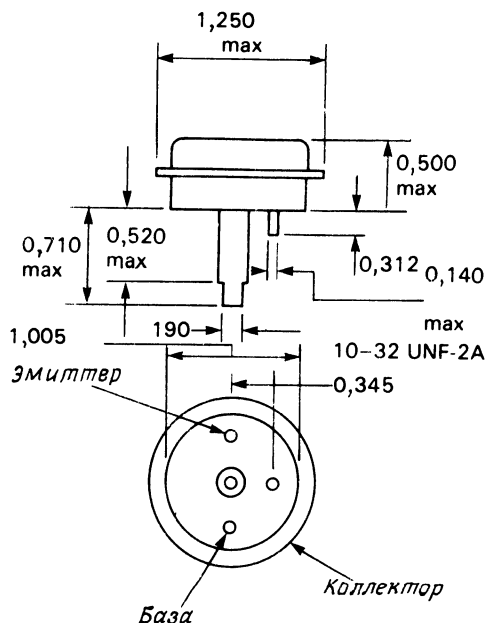


Рис. 21.6в. Корпус ТО-36 для мощного транзистора.

На рис. 21.6 показаны несколько типов корпусов мощных ВЧ-транзисторов. Корпус типа ТО-3 (рис. 21.6а) имеет форму бриллианта. Такой же корпус меньших размеров ТО-66 показан на рис. 21.6б. Существует корпус японского производства, похожий на ТО-66, но с несколько иным расположением выводов. Наконец, огромный корпус, показанный на рис. 21.6в, имеет обозначение ТО-36. Он широко применяется в мобильной звуковой аппаратуре, мобильных источниках питания постоянного тока и в промышленной электронной аппаратуре. В старых ламповых автомобильных передатчиках эти транзисторы часто использовались в преобразователях низкого (13,6 В) постоянного напряжения питания в высокое.

На рис. 21.7 показаны несколько популярных пластмассовых корпусов для мощных транзисторов. Некоторые из них фигурируют в каталогах как аналоги ТО-3 или ТО-66. Показанный на рис. 21.7,а корпус ТО-220 (также называемый Р-66) часто применяется в звуковой аппаратуре средней мощности и в большинстве автомобильных приемников. Еще два транзистора с “ушками” показаны на рис. 21.7,б и 21.7,в. Наконец, на рис. 21.7,г представлен корпус фирмы Motorola с отверстием.

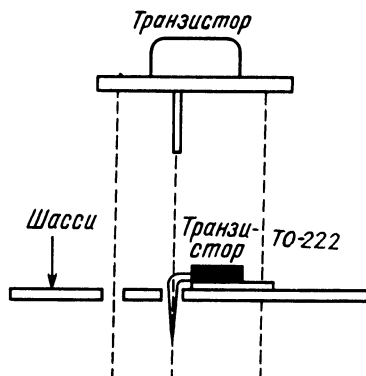


Рис. 21.8. TO-220 - аналог корпуса TO-3.

На рис. 21.8 показано, каким образом можно заменить корпус TO-3 на корпус с “ушками” TO-220. Центральный вывод TO-220 отрезан (он не нужен, так как “ушко” также соединено с коллектором), а базовый и эмиттерный выводы загнуты вниз. Крепежный винт проходит через отверстие в “ушке” и монтажное отверстие для корпуса TO-3.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В идеале, когда требуется заменить транзистор, мы должны запросить его согласно каталогу завода-производителя. Но иногда это невозможно или слишком дорого. В обоих случаях можно подобрать аналог исходя из разумных соображений.

ГЛАВА 22

ДЕЦИБЕЛЫ

Термин “децибел” всегда смущает новичка в электронике, и даже “спецы” испытывают провал памяти. На благо обеих групп, а также потому, что понятие это жизненно важно для понимания систем связи, мы опишем, что же такое децибел.

Измерения в децибелах берут свое начало от телефонии, и единица эта получила название в честь Александра Бела. Исходная единица носит название “бел”. Приставка “деци” означает “одна десятая”, так что децибел - это 1/10 бела. Бел слишком велик для большинства практических случаев, поэтому он используется крайне редко. По этой причине мы сконцентрируем внимание на широко используемом децибеле.

Децибел - это всего лишь способ выражения отношения между двумя уровнями сигнала, например отношение уровней сигнала на выходе и на входе усилителя. Поскольку децибел - это отношение, он безразмерен, хотя само обозначение дБ выглядит как размерность. Рассмотрим усиление усилителя напряжения как пример безразмерной величины; оно выражается как отношение напряжений на выходе и на входе: V_o/V_{in} .

ПРИМЕР. Напряжение на выходе усилителя равно 6 В, а на его входе 0,5 В. Найдём усиление A_v :

$$A_v = V_o/V_{in} = 6 \text{ В} / 0,5 \text{ В} = 12.$$

Обратите внимание, что единица напряжения “вольт” входит в числитель и знаменатель, поэтому она сокращается и остаётся безразмерное число 12.

Чтобы анализировать схему с помощью простого сложения и вычитания вместо умножения и деления, полезно использовать отношение. Прологарифмируем его по основанию 10, а затем умножим на некоторый масштабный коэффициент (10 или 20). Для усилителя напряжения имеем

$$\text{дБ} = 20 \lg V_o/V_{in}.$$

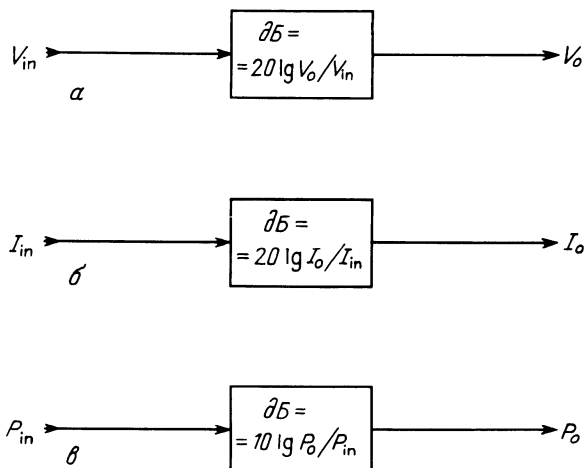


Рис. 22.1. Расчеты в децибелах для трех случаев. Для любой системы усиление (или потери) равно отношению уровней сигналов на выходе и на входе.

В приведенном выше примере коэффициент усиления составляет 12, так как из напряжения 0,5 на входе получилось 6 В на выходе. Как это усиление выразить в децибелах?

$$dB = 20 \lg V_o / V_{in} = 20 \lg 6 / 0,5 = 20 \lg 12 = 21,6.$$

Хотя мы преобразовали отношение в его логарифм, децибел есть не что иное, как способ выражения отношения. Таким образом, усиление 12 можно выразить как 21,6 дБ.

Такое же выражение можно использовать для усилителя тока, усиление которого дается отношением I_o / I_{in} :

$$dB = 20 \lg I_o / I_{in}.$$

Для измерения мощности необходимо модифицировать это выражение с учетом того, что мощность пропорциональна квадрату напряжения или тока:

$$dB = 20 \lg P_1 / P_2.$$

Теперь у нас есть три основных соотношения для расчетов в децибелах, которые приведены на рис. 22.1.

ПОДВЕДЕМ ИТОГИ

Итак, почему легче иметь дело с логарифмическими величинами, такими, как децибелы, чем с безразмерными числами, та-

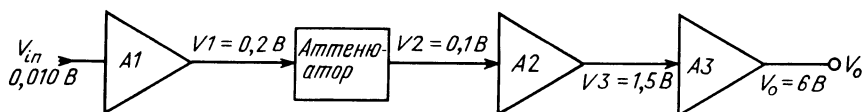


Рис. 22.2. Расчеты в децибелах.

кими, как усиление по напряжению и по мощности? Ответ состоит в том, что это облегчает вычисление уровня сигнала в системе. Для иллюстрации рассмотрим многокаскадную систему (рис. 22.2). Это гипотетическая электронная схема, состоящая из трех усилителей и аттенюатора. Усиления и ослабления каскадов следующие:

$$A1 = V1/V_{in} = 0,2/0,010 = 20,$$

$$\text{Ослабление} = V2/V1 = 0,1/0,2 = 0,5,$$

$$A2 = V3/V2 = 1,5/0,1 = 15,$$

$$A3 = V_o/V3 = 6/1,5 = 4.$$

Полное усиление равно произведению усиления всех каскадов системы:

$$A_v = A1 \times \text{Ослабление} \times A2 \times A3 = 20 \times 0,5 \times 1,5 \times 4 = 600.$$

Усиления, выраженные в децибелах, равны

$$A1 = 26,02, \quad \text{Ослабление} = -6,02,$$

$$A2 = 23,52, \quad A3 = 12,04.$$

Общее усиление системы в децибелах равно сумме этих величин:

$$\begin{aligned} A_v \text{ (дБ)} &= A1 + \text{Ослабление} + A2 + A3 = \\ &= 26,02 - 6,02 + 23,52 + 12,04 = 55,56 \text{ дБ}. \end{aligned}$$

Одно из преимуществ использования децибел состоит в том, что усиление выражается положительным числом, а ослабление - отрицательным. Легче понять, что потери равны -6,02 дБ, чем представить себе потери как усиление +0,5.

ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ДЕЦИБЕЛ В КОЭФФИЦИЕНТ УСИЛЕНИЯ

Встречаются ситуации, когда усиление известно в децибелах, а надо вычислить его в виде отношения значений на входе и на выходе. Пусть усиление равно +20 дБ при входном сигнале

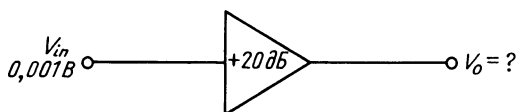


Рис. 22.3. Усиление, выраженное в децибелах.

1 мВ (рис. 22.3). Чему равно ожидаемое напряжение на выходе? Оно на 20 дБ превышает 0,001 В.

Правильно? Да, правильно, но измерительный прибор и осциллограф проградуированы не в децибелах, а в вольтах. С помощью алгебраического преобразования выражения $дБ = 20 \lg V_o/V_{in}$ найдем V_o :

$$V_o = V_{in} \times 10^{дБ/20}, \text{ или } V_{in} \exp (дБ/20).$$

Нужно вычислить V_o , если известны усиление в децибелах и напряжение на входе. Его можно вычислить по приведенным выше формулам:

$$V_o = V_{in} \exp (дБ/20) = 0,001 \exp (20/20) = 0,001 \exp 1 = 0,001 * 10 = 0,01 В.$$

Для тех, кто не хочет считать сам, приводим табл. 22.1, в которой усиление и ослабление выражены обоими способами.

$$A_v = 10000 \times 0,001 = 10, \text{ или } A_v = 80дБ - 60дБ = 20дБ.$$

И снова видим, что шкала в децибелах предпочтительнее.

Таблица 22.1. Усиление и ослабление, выраженные в виде отношений и в децибелах

Отношение выход/вход	Усиление, дБ	
	по напряжению	по мощности
1/1000	-60	-30
1/100	-40	-20
1/10	-20	-10
1/2	-6,02	-3,01
1	0	0
2	+6,02	+3,01
5	+14	+7
10	+20	+10
100	+40	+20
1000	+60	+30
10 000	+80	+40
100 000	+100	+50
1000 000	+120	+60

Пусть надо найти результирующее усиление системы с усилителем 10 000 и аттенуатором 1/1000, включенными последовательно. Это можно сделать двумя способами:

$$A_v = 10000 \times 0,001 = 10, \text{ или } A_v = 80\text{дБ} - 60\text{дБ} = 20\text{дБ}.$$

СПЕЦИАЛЬНЫЕ ШКАЛЫ ДЕЦИБЕЛ

Различные группы специалистов используют свои шкалы децибел, лучше удовлетворяющие их потребностям. Они строят специальную шкалу, определяющую некоторый уровень сигнала как нулевой, и измеряют относительно уровня 0 дБ все остальные уровни сигналов. В безразмерной шкале 0 дБ соответствует отношению, равному единице (см. табл. 22.1). Но если определить 0 дБ как некоторый выделенный уровень сигнала, то мы получим специальную шкалу. Ниже перечислено несколько таких шкал, обычно используемых в электронике.

1. дБм. Эта величина используется в радиотехнических измерениях. Уровень 0 дБм соответствует высокочастотной мощности 1 мВт, рассеянной резистивной нагрузкой 50 Ом.

2. Единица уровня громкости. Эта шкала используется в звуковой технике. Нулевой уровень соответствует мощности 1 мВт звукового сигнала частотой 1000 Гц, рассеянной резистивной нагрузкой 600 Ом.

3. дБ (устарелый). Нулевой уровень соответствует мощности 6 мВт звукового сигнала частотой 1000 Гц, рассеиваемой на нагрузке 500 Ом. (Эта шкала использовалась в телефонии.)

4. дБмВ. Используется для измерений в коаксиальных кабелях телевизионных антенн с импедансом 75 Ом. Нулевой уровень соответствует 1 мВ на резистивной нагрузке 75 Ом.

Рассмотрим генератор радиочастотного сигнала. Если входной и выходной импедансы системы равны 50 Ом, то уровень 0 дБм соответствует 1 мВт. Чтобы выразить уровень сигнала в единицах дБм, используем модифицированное выражение для децибел:

$$\text{дБм} = 10 \lg P / 1 \text{ мВт}.$$

ПРИМЕР. Чему равен уровень сигнала 9 мВт в единицах дБм?

$$\text{дБм} = 10 \lg P / 1 \text{ мВт} = 10 \lg 9 / 1 = 9,54 \text{ дБм}.$$

Таким образом, уровень сигнала 9,54 дБм означает, что радиочастотная мощность 9 мВт рассеивается на нагрузке 50 Ом. Уровни сигнала ниже 1 мВ будут отрицательны. Например, 0,02 мВт соответствует -17 дБм.

ПЕРЕХОД ОТ ДБМ К ВОЛЬТАМ

Измерители уровня и генераторы сигналов часто калибруются в микровольтах и милливольтмах (хотя некоторые калибруются и в дБм). Как перейти от дБм к вольтам и обратно?

ПРЕВРАЩЕНИЕ МИКРОВОЛЬТ В дБм. Воспользуемся выражением

$$P = V^2/R = V^2/50,$$

чтобы найти мощность в милливольтмах, а затем - выражением для дБм, приведенным выше.

ПРИМЕР. Выразить уровень сигнала с действующим значением напряжения 0,8 дБм.

$$P = V^2/50 = 0,64/50 = 0,0128 \text{ мВт.}$$

$$\text{дБм} = 10 \lg P/1 \text{ мВт} = 10 \lg 0,0128 \text{ мВт}/1 \text{ мВт} = -18,9.$$

ПРЕВРАЩЕНИЕ дБм В МИКРОВОЛЬТЫ И МИЛЛИВОЛЬТЫ. Найдем уровень мощности, выраженный в децибелах, а затем вычислим напряжение для нагрузки 500 Ом.

ПРИМЕР. Каково напряжение на нагрузке 500 Ом, если уровень рассеиваемой мощности равен -6 мВ?

$$P = 1 \text{ мВт} \times 10^{\text{дБм}/10} = 1 \text{ мВт} \times 10^{-6 \text{ дБм}/10} = 1 \text{ мВт} \times 10^{-0,6} = 1 \text{ мВт} \times 0,25 = 0,25 \text{ мВт.}$$

$$\text{Так как } P = V^2/50, \text{ то } V = (50 P)^{1/2} = 0,707 P^{1/2}, \text{ поэтому}$$

$$V = 0,707 P^{1/2} = 0,707 \times 0,25^{1/2} = 3,535 \text{ мВ.}$$

(Мощность выражена в милливаттах, поэтому ответ получился в милливольтмах. Чтобы перейти к микровольтам, надо умножить результат на 1000.)

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Сущность децибел легко понять и их легко использовать. Их применение облегчает конструирование аудио- и высокочастотной аппаратуры.

ГЛАВА 23

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЦИФРОВЫХ ЧАСТОТОМЕРОВ

Цифровые частотомеры вытеснили другие методы измерения частоты передатчиков. При правильном использовании частотомер дает однозначные показания в момент нажатия микрофонной кнопки. В прежних методах требовалась настройка по шкале и зачастую интерполяция по отсчетам шкалы, соответствующим субгармоникам сигнала. Как и следовало ожидать, на высоких частотах точность измерения снижалась. Когда в конце 1950-х в начале 1960-х годов появились первые цифровые частотомеры, они были весьма дороги. Первый цифровой частотомер был изготовлен фирмой Motorola для ее “привилегированных” мастерских. Цена частотомера, работавшего только до 500 МГц, составляла 4800 долл.

Современные частотомеры изготавливаются на основе больших интегральных схем (БИС), благодаря чему они существенно дешевле. Сегодня можно приобрести частотомер на 600 МГц с паспортом, разрешающим его применение для проверки передатчиков диапазона служебной радиосвязи (точность 0,005%), всего за 129 долл. За модель с температурно-стабилизированным кварцевым генератором развертки придется заплатить больше, хотя и такой частотомер на 600 МГц стоит менее 400 долл. Они работают примерно так же, как и приборы 20-летней давности, но их цена примерно на порядок ниже. Таким образом, цифровой частотомер прочно занял место во всех ремонтных мастерских.

Другие отличительные характеристики современных цифровых частотомеров - габариты и вес. Прибор фирмы Motorola представлял последнее достижение техники своего времени. Этот прибор был “портативным”, но специалисты со стажем подтвердят, что “портативность” не означала возможность ручной переноски вверх по ступеням к ретранслятору на башне. Старые модели были тяжелы и громоздки. Современный частотомер на 600 МГц поместится в кармане куртки и еще останется место. По крайней мере три фирмы поставляют портативные частотомеры, которые вполне подходят для многих профессиональных целей.

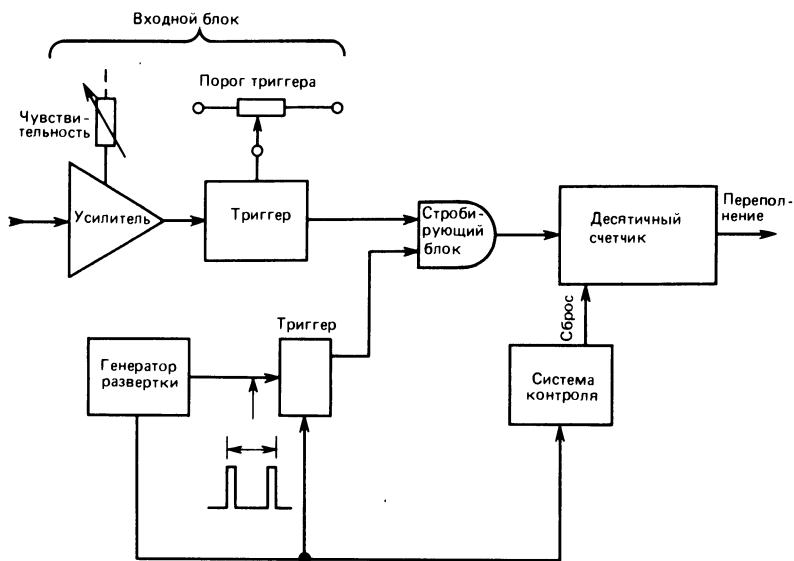


Рис. 23.1. Блок-схема цифрового частотомера.

При использовании цифровых частотомеров могут возникнуть ситуации, приводящие к неправильным показаниям. После того как мы рассмотрим некоторые особенности прибора, будут приведены примеры ситуаций, в которых даже наилучший прибор даст ошибочные показания.

Предполагается, что читатель знаком с принципом устройства цифровых частотомеров и мы не будем на них останавливаться подробно. Тем не менее сначала рассмотрим блок-схему.

ЦИФРОВОЙ ЧАСТОТОМЕР

На рис. 23.1 показана блок-схема типичного цифрового частотомера. Помните, что частота - это число событий в единицу времени. Частотомер имеет пять основных блоков: входной блок, состоящий из входного усилителя и триггерной схемы, основного стробирующего блока, десятичного счетчика, генератора развертки и системы контроля.

Входной блок предназначен для приема сигнала и преобразования его в цифровую форму. Форма входного сигнала может изменяться от простой синусоидальной волны до сложной волновой функции с множеством гармоник. Входной усилитель увеличивает сигнал до уровня, необходимого для управления триггерной схемой. Триггерная схема предназначена для преобразо-

вания сигнала в набор импульсов, где каждому циклу исходного сигнала соответствует один двоичный импульс. Счетные схемы основаны на цифровой двоичной схемотехнике и не приспособлены для работы с синусоидальными и другими аналоговыми сигналами. Таким образом, триггерная схема является абсолютно необходимой для реализации частотомера, а с ней иногда возникают проблемы.

В некоторых частотомерах УВЧ- и микроволнового диапазонов входной блок содержит также делитель частоты, используемый для снижения частоты входного сигнала до частоты, совместимой со счетными схемами. Такие каскады используются в частотомерах на 1,3 ГГц. Некоторые делители (10:1) легко пересчитываются, другие (2:1, 5:1) немного сложнее.

Десятичный счетчик представляет собой реально считающую схему. Она состоит из двоичных счетчиков, объединенных в десятичный счетчик, а также декодеров и цифровых индикаторов. Каждый входной импульс прибавляет в счетчике единицу. Число десятичных разрядов указывает разрешение счетчика.

Система контроля является основной логической схемой и контролирует правильность работы всего устройства. Она возвращает десятичный счетчик в нулевое состояние и синхронизирует работу стробирующего блока.

Блок развертки является “ответственным” за “единицу времени”. Эта схема подает периодическую последовательность импульсов на вход триггера главного стробирующего блока, который в свою очередь контролирует главный стробирующий блок. Главный стробирующий блок пропускает импульсы на вход десятичного счетчика только в течение заданного периода времени. Блок развертки влияет на точность прибора при нормальных условиях больше чем все остальные блоки. Главное различие между дешевыми и дорогими частотомерами определяется качеством блока развертки.

Блок развертки состоит из кварцевого генератора с рабочей частотой (например, 1, 4, 10 МГц), превышающей требуемую частоту выходных импульсов. Частота сигнала кварцевого генератора снижается до более низкой, порядка 10 Гц (временная развертка 0,1 с) или 1 Гц (временная развертка 1 с). Если контроль стробирующего блока осуществляется на этих частотах, то импульсы поступают на десятичный счетчик каждые 100 мс или каждую секунду; высвечиваемые цифры представляют собой число импульсов за 100 мс или 1 с. В общем частота входного сигнала вычисляется из выражения

Частота = Показание десятичного счетчика / Время, в секундах.

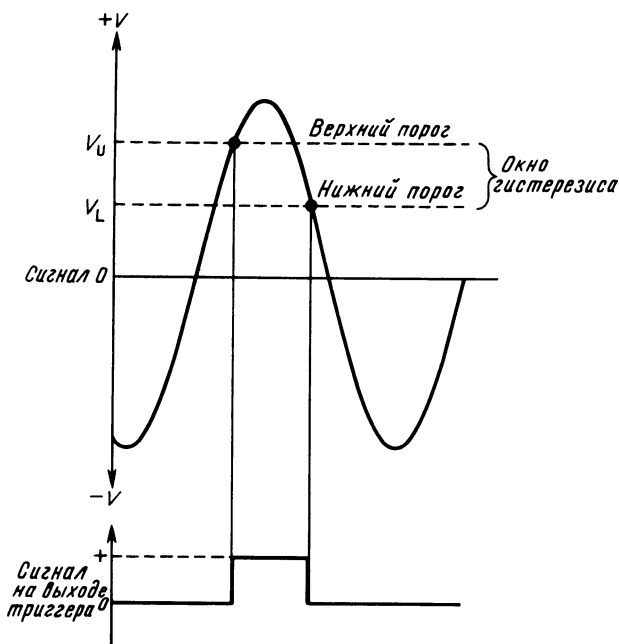


Рис. 23.2. Гистерезис триггерной схемы определяет выходной сигнал.

ТРИГГЕРНЫЕ СХЕМЫ

Очень редко входной сигнал является чисто прямоугольной волной с амплитудой, соответствующей входу десятичного счетчика. Сигнал может иметь недостаточную амплитуду или содержать слишком много шумов. Входной сигнал проходит по крайней мере через два каскада обработки - усилитель и триггерную схему. Усилитель увеличивает слабый сигнал до 500-1000 мВ, что обычно требуется для функционирования триггерной схемы.

Триггер формирует прямоугольный или импульсный выходной сигнал из синусоидального или нерегулярного входного. Наиболее распространенным является триггер Шмитта. Эта охема имеет внутренний гистерезис, что используется для формирования требуемого волнового фронта. На рис. 23.2 показана рабочая характеристика триггера Шмитта при синусоидальном сигнале на входе (для несинусоидальных волн картина сходна). Выходной уровень триггера перебрасывается в верхнее состояние, когда входной сигнал пересекает заданный верхний порог в

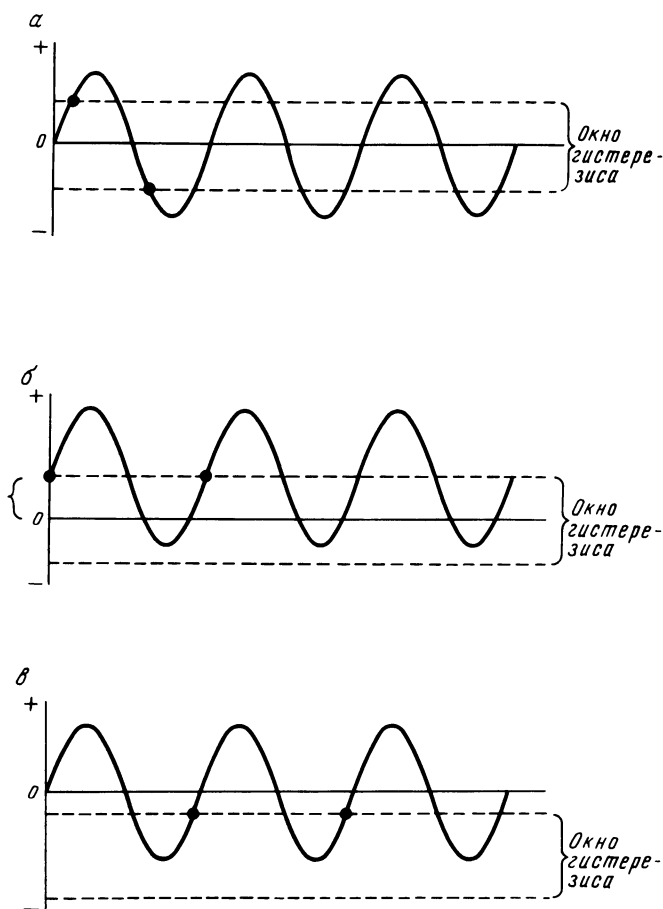


Рис. 23.3. а - сигнал пересекает оба порога и вызывает отсчет триггера, б и в - сигнал пересекает только один из порогов, и триггер не срабатывает.

положительном направлении и остается в верхнем состоянии, пока входной сигнал не пересечет нижний порог в отрицательном направлении. Направление изменения сигнала является важной частью определения режима работы схемы.

“Окно гистерезиса”, показанное на рис. 23.2, является критичным параметром для правильного определения режима работы счетчика и равно $V_U - V_L$. Неправильная установка этого “окна” относительно входного сигнала может привести к ошибкам в работе счетчика. Главное правило заключается в том,

что входной сигнал должен пересечь оба порога гистерезиса, чтобы был зарегистрирован “отсчет”. Некоторые счетчики имеют систему регулировки триггерной цепи, которая позволяет изменять положение и/или ширину “окна гистерезиса”.

На рис. 23.3 показаны три ситуации с разными положениями окна гистерезиса. Рис. 23.3,а соответствует правильно отрегулированному триггеру - оба порога пересекают входным сигналом, что приводит к появлению отсчета. На рис. 23.3,б к сигналу добавлено постоянное смещение, а “окно” оставлено неизменным; триггер не срабатывает. Такая ситуация может возникнуть в дешевых счетчиках, где отсутствует система регулировки триггера. Наконец, на рис. 23.3,в окно гистерезиса смещено с помощью системы регулировки вниз относительно сигнала, и триггер опять не срабатывает.

Некоторые приборы имеют систему контроля триггера, позволяющую изменять положение окна в пределах непрерывного диапазона. Другие модели снабжены переключателем, задающим три различных положения “окна”: нормальное (обычно центрированное относительно нулевого уровня); плюс - “окно” смещено выше нулевого уровня; минус - “окно” смещено ниже нулевого уровня. Система контроля амплитуды триггера позволяет подстраивать ширину окна гистерезиса, VU - VL на рис. 23.2.

ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ

При работе с цифровыми частотомерами встречается несколько типов погрешностей, но их можно разбить на две общие категории: внутренние погрешности и погрешности, связанные с характером сигнала. Внутренние погрешности зависят от качества, срока службы и предыстории частотомера, так же как от его конструкции. От них трудно избавиться без значительных затрат при плохой конструкции прибора. Погрешности, связанные с характером сигнала, часто можно скорректировать или избавиться от них путем правильной настройки входной чувствительности и параметров триггерной схемы.

Существует два основных источника внутренних погрешностей всех частотомеров: погрешность развертки и неопределенность одного отсчета. Погрешность развертки выражается в процентах или в миллионных долях. Погрешность развертки прямо отражается на всех измерениях частот и периодов. Например, пусть частота развертки 1,00 МГц превышена на 30 Гц, т. е. составляет 1 000 030, а не 1 000 000 Гц. Тогда ошибка составляет 30 единиц на миллион или в процентах:

$$(1\,000\,030 - 1\,000\,000) (100\%) / 1\,000\,000 = 0,003 \, \%$$

Погрешность измерения, вызванная погрешностью развертки, постоянна на любой измеряемой частоте. Значит, погрешность 0,003% будет присутствовать как на частоте 1 кГц, так и на частоте 10 МГц. Например, сигнал частотой 21,390 МГц будет измерен с погрешностью

$$21,390 \text{ МГц} \times (30 \text{ Гц} / 1 \text{ МГц}) = 641,7 \text{ Гц}.$$

Это означает, что показания частотомера 21 390 000 Гц будут соответствовать реальной частоте $(21\ 390\ 000 - 641,7) = 21\ 389\ 358,3$ Гц или $(21\ 390\ 000 + 641,7) = 21\ 390\ 641,7$ Гц. Если частота развертки превышает заданную на 30 Гц, то правильный результат будет соответствовать нижней частоте, а если частота развертки меньше заданной на 30 Гц, то правильный результат соответствует верхней частоте.

Полная погрешность временной развертки складывается из погрешности начальной калибровки и других факторов, таких, как кратковременная стабильность, долговременная стабильность, температурная стабильность, сетевая стабильность.

Погрешность начальной калибровки зависит от качества оборудования, применяемого в заводской метрологической лаборатории, либо другой лаборатории, где прибор калибровался в последний раз.

Кратковременная стабильность представляет собой дрейф частоты генератора развертки за сутки, а долговременная - за месяц (иногда ее называют скоростью старения). Температурная стабильность определяется как изменение частоты развертки при заданном изменении температуры (обычно от 0 до 50° Цельсия для любительских и профессиональных приборов). Сетевая стабильность - это изменение частоты развертки при изменении сетевого питающего напряжения в пределах 10%.

Температурная нестабильность может быть скорректирована либо путем стабилизации температуры генератора, либо использованием кварцевого генератора с температурной компенсацией. Последний способ, вероятно, наиболее популярен и практичен. Такие усовершенствования являются наиболее распространенными видами модификации дешевых частотомеров для улучшения их характеристик. Проблему сетевой стабильности можно решить с помощью системы стабилизации входного напряжения. Хотя это не является общей проблемой, тем не менее я обнаружил, что некоторые частотомеры с батарейным питанием не всегда хорошо работают. В таком случае стоит воспользоваться трехпроводным интегральным стабилизатором напряжения вместо батарейного питания.

В частотомерах используются четыре основных типа блоков развертки: сетевой, с обычным кварцевым генератором; с квар-

цевым генератором, имеющим температурную компенсацию; с кварцевым генератором и системой стабилизации температуры. Первый тип, применяемый только в очень дешевых приборах, использует в качестве сигнала развертки сетевое питание с частотой 60 или 50 Гц в зависимости от страны. Проблема состоит в том, что частота переменного сетевого питания имеет не очень хорошую кратковременную стабильность. Хотя представители электрокомпаний уверяют, что сетевая частота стабильна, это верно лишь при усреднении за 24 часа. Частотомеры, где в качестве опорной используется частота сетевого питания, бесполезны для измерения частоты радиопередатчиков (и других кратковременных измерений). Обычные кварцевые генераторы применяются в недорогих частотомерах и обладают небольшой точностью и стабильностью. Для точных измерений необходимы генераторы с температурной компенсацией или с системой стабилизации температуры. Если речь идет о наибольшей точности, то генераторы с системой стабилизации температуры безусловно лучше, но генераторы с температурной компенсацией могут вполне составить им конкуренцию при разумной стоимости.

Погрешность одного отсчета вызывается недостаточной синхронизацией между входным сигналом и временной разверткой. При некоторых измерениях один цикл входного сигнала может быть не зарегистрирован десятичным счетчиком, показание которого будет на единицу меньше истинного. Погрешность одного отсчета дает относительную погрешность, обратно пропорциональную измеряемой частоте и времени выборки:

$$\text{Погрешность (\%)} = \pm 100\% / FT,$$

где F - измеряемая частота в герцах, T - время выборки в секундах.

ПРИМЕР. Определите относительную погрешность, связанную с погрешностью одного отсчета, при частоте входного сигнала 2 МГц и времени выборки 1 с.

$$\begin{aligned} \text{Погрешность (\%)} &= (\pm 100\%) / FT - (\pm 100\%) / 2 \text{ МГц } 1 \text{ с} = \\ &= 0,00005\%. \end{aligned}$$

Относительная погрешность, связанная с погрешностью одного отсчета тем меньше, чем больше частота.

Погрешность одного отсчета не следует путать с нестабильностью цифры, высвечиваемой в последнем разряде индикатора, хотя они и связаны. Этот вид погрешности выражается в колебаниях между двумя значениями цифры, высвечиваемой индикатором (прибор не может "определить" правильное значение). Такая погрешность встречается в большинстве частотомеров, но

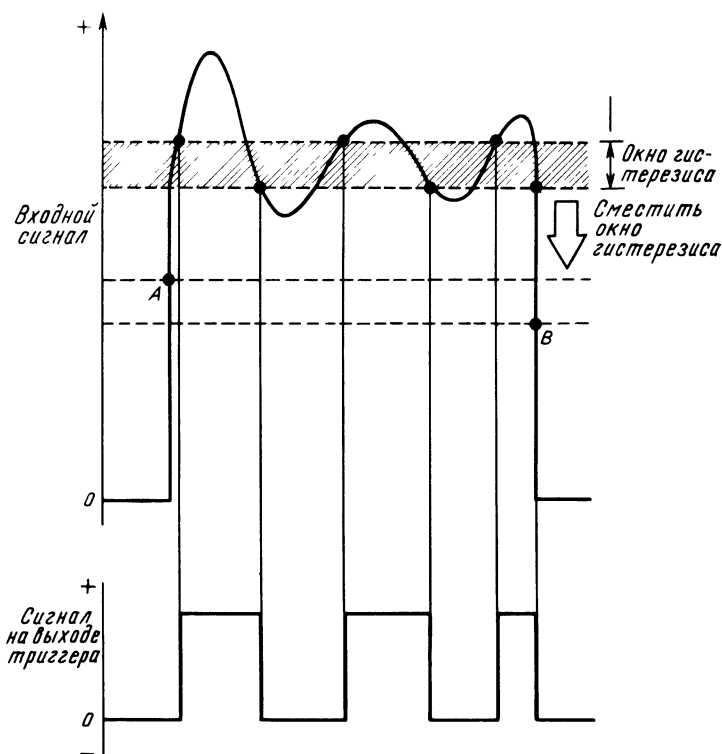


Рис. 23.4. "Окно" триггера совпадает с областью шумовых колебаний, что приводит к ошибочным отсчетам.

особенно в тех, где цифровой индикатор высвечивает только часть значащих цифр. Например, мой частотомер имеет шесть цифровых разрядов, но измеряет частоты до 600 МГц. Если измеряемая частота равна 21,390 МГц, то прибор покажет на индикаторе "21390,0". А что если измеряемая частота равна 21,389502 МГц? Здесь возникает неопределенность, выражающаяся в колебаниях показаний индикатора между цифрами "21390" и "21389".

Погрешность, связанная с характером сигнала, обычно обусловлена в триггерных схемах сложной формой входного сигнала. Так, не пытайтесь измерять частоту, амплитудно-модулированных или ОБП-сигналов! Большинство погрешностей возникает из-за отсутствия пересечения окна гистерезиса сигналом или из-за шумов, присутствующих в сигнале. Сигнал может пересекать окно гистерезиса или слишком часто (завышенный результат)

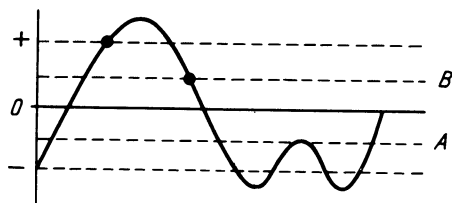


Рис. 23.5. Установка “окна” в положение А приводит к ошибочным отсчетам. Кривая В соответствует правильной установке “окна” триггера.

или слишком редко (заниженный результат). Вспомните, что входной сигнал должен пересекать оба порога гистерезиса один раз за каждый цикл.

На рис. 23.4 показан сигнал с шумовой составляющей, которая осуществляет амплитудную модуляцию импульса. Если окно гистерезиса занимает заштрихованное положение, то амплитудные вариации сигнала пересекают заштрихованную область три раза, что приводит к отсчету трех импульсов вместо одного. Решение заключается в перемещении окна гистерезиса вниз (пороги А и В).

На рис. 23.5 показана синусоидальная волна с сильным гармоническим возмущением. Если “окно” триггера установлено в положение В, то отсчет будет правильным если “окно” установлено в положение А, то триггер дает два отсчета вместо одного, что приведет к неправильным результатам.

Иногда чувствительность усилителя на входе частотомера слишком велика. В таких случаях сильный сигнал может вывести усилитель в нелинейный режим, что может привести к одному из вышеописанных последствий. Поэтому рекомендуется использовать частотомер с регулируемой входной чувствительностью или применять внешний аттенюатор, если чувствительность слишком высока.

ГЛАВА 24

ОПЕРАЦИОННЫЕ УСИЛИТЕЛИ

В этой главе мы обсудим операционные усилители (ОУ) и некоторые другие приборы на ИС. Роль этих приборов в радиосвязи столь велика, что такой обзор просто необходим. Мы рассмотрим ОУ, а также некоторые типы усилителей, базирующихся на ОУ.

ОПЕРАЦИОННЫЕ УСИЛИТЕЛИ

В одной из первых книг, посвященных ОУ, говорилось, что ОУ, реализованные на основе ИС, сделали изобретательство игрой для всех. Один профессор физики бился над схемой усилителя на биполярных транзисторах. Усилитель предназначался для лабораторных работ студентов. Казалось, что очень трудно создать усилитель с коэффициентом усиления 100, не требующий подстройки, в количестве всего 30 штук для лабораторного практикума из случайных радиодеталей, имеющихся под рукой. Когда профессор узнал о существовании ОУ типа 741, проблема перестала существовать! Небольшой ОУ типа 741 стоимостью чуть больше доллара очень прост в обращении (хотя сегодня его не так часто вспоминают из-за наличия более совершенных устройств). Можно сконструировать на его основе усилитель напряжения, подобрав всего два резистора.

Первоначально ОУ были сконструированы для выполнения математических операций в аналоговых компьютерах, что и определило их название. Первые ОУ были реализованы на основе вакуумных ламп и были далеки от идеальной математической модели, приводимой в учебниках. Позже появились транзисторные ОУ и, наконец, ОУ на интегральных схемах (ИС). Одной из первых коммерческих ИС был ОУ μ A-709. Хотя сейчас он кажется примитивным, в середине 1960-х годов его цена по каталогу была 109 долл. (современная стоимость - 5 штук за доллар, если вообще удастся его найти).

На рис. 24.1,а показано общепринятое схемное обозначение ОУ. Некоторые предпочитают другое обозначение (рис. 24.1,б).

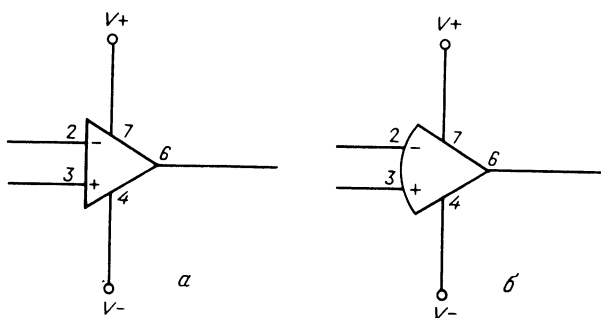


Рис. 24.1. Стандартные обозначения ОУ: а - общепринятое, б - технически корректное, но редко используемое.

Оно технически корректно - в нем линия, к которой подходят входные провода, закруглена. Обозначение, показанное на рис. 24.1,а, используется очень широко, хотя оно может обозначать любой усилительный каскад, а не только ОУ. В настоящей книге используется именно это обозначение.

Обратите внимание на нумерацию выводов ОУ типа 741, хотя она является почти стандартной: два входных провода, два входа питания и один выходной провод. Заземление либо общий провод отсутствуют. В качестве заземления или общей шины берется общая шина источника питания. Входы питания обозначаются $V+$ и $V-$. На вход $V+$ подается положительный потенциал относительно общей шины, а на $V-$ отрицательный. Эти напряжения обычно составляют ± 4 или ± 18 В, хотя встречаются и другие значения. Например, bi-МОП ИС RCA CA-3140 работает при напряжениях ± 22 В, а некоторые маломощные ОУ работают от питания $\pm 1,5$ В.

Кроме того, иногда накладываются ограничения на абсолютный размах напряжения питания. Например, в ОУ типа 741 максимальный размах питания ($V+$) - ($V-$) ограничивается 30 В. Хотя $V+$ и $V-$ могут достигать 18 В. Таким образом, если $V+ = \pm 18$ В, то $V-$ не должно превышать -12 В, чтобы их разность не превысила 30 В.

Выбор напряжения питания может также зависеть от требуемого максимального выходного напряжения. Если усилитель предназначен для работы с аналого-цифровым преобразователем (АЦП), рассчитанным на входное напряжение в диапазоне от -10 до +10 В, то желательно, чтобы усилитель мог выдавать эти напряжения. Однако существует ограничение на предельное выходное напряжение, являющееся функцией напряжения питания. В общем ограничение определяется числом pn -переходов между выходом ОУ и двумя входами питания. На каждом pn -

переходе происходит падение напряжения 0,7 В, которое необходимо учитывать. Если между выходом ОУ и входом питания имеется четыре рп-перехода, то максимальное выходное напряжение составит (V_+) - ($4 \times 0,7$) В, что на 2,8 В меньше, чем V_+ . Таким образом, если на выходе ОУ требуется потенциал +10 В, то напряжение на входе питания V_+ должно быть не меньше +12,8 В. Очевидно, что напряжение питания +12 В здесь не подойдет. Как правило, в обычных ОУ на биполярных транзисторах (таких, как ОУ типа 741) требуется напряжение питания, превышающее максимальное выходное на 2 - 4,5 В, но не превышающее допустимый размах между V_+ и V_- . В некоторых устройствах на биполярных и полевых транзисторах разность между максимальным выходным напряжением и напряжением питания составляет всего 0,5 В.

Входы и выходы ОУ

Два входа ОУ образуют дифференциальную пару, так как сдвинуты по фазе на 180° . Инвертирующий вход (-) создает сдвиг по фазе на 180° между входным и выходным сигналами. Другими словами, положительный входной сигнал создает отрицательный сигнал на выходе и наоборот. Неинвертирующий вход (+) не создает сдвига фазы в выходном сигнале. Поскольку один вход создает синфазный выходной сигнал, а другой - противофазный, приложение одинакового напряжения к обоим входам дает нулевой выходной потенциал. Мы используем этот факт ниже при рассмотрении дифференциальных усилителей. Оба входа ОУ имеют очень высокое входное сопротивление (в идеальной модели оно бесконечно). Таким образом, он формирует вход почти идеального усилителя напряжения.

Выход ОУ также соответствует схеме идеального усилителя напряжения. Выходное сопротивление типичного ОУ обычно очень низкое (от 10 до 100 Ом), поэтому формируется почти идеальный источник напряжения.

ИСТОЧНИКИ ПИТАНИЯ ПОСТОЯННОГО ТОКА ДЛЯ ОУ

На рис. 24.2 показана схема типичного источника питания для ОУ. Можно использовать как батарейное питание, так и электронный источник питания, работающий от сети. Напомним, что ОУ имеет два потенциала питания V_+ и V_- . Потенциал V_+ обеспечивается источником В1, а V_- обеспечивается источником В2. Общая шина проходит через точку соединения двух батарей. Обычно батареи В1 и В2 имеют одинаковые потенциалы, хотя это и не обязательно.

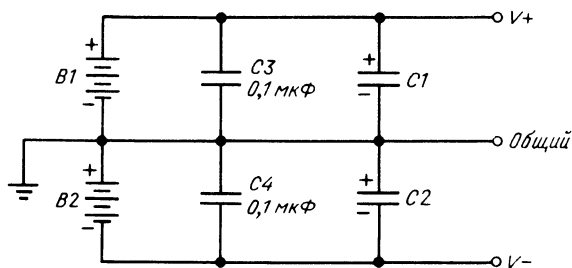


Рис. 24.2. Схема источника питания постоянного тока для ОУ.

Конденсаторы на рис. 24.2 используются для развязки, особенно когда несколько каскадов питаются от одного источника. Конденсаторы $C1$ и $C2$ обычно имеют емкость от 50 до 200 мкФ и используются для низкочастотной развязки. Конденсаторы $C3$ и $C4$ служат для высокочастотной развязки. Конденсаторы большей емкости $C1/C2$ нельзя использовать для этой цели, так как это обычно электролитические конденсаторы, которые неэффективны на высоких частотах.

Общая шина используется в качестве нулевой опорной точки для входных и выходных сигналов ОУ. Является ли она заземленной или нет - зависит от конструкции схемы. Как правило, для простоты она заземляется.

В большинстве применений электронные источники питания, используемые вместо батарей $B1$ и $B2$, должны быть стабилизированы по напряжению. Хотя существует множество приложений, где это, строго говоря, не требуется, это никогда не помешает.

ИДЕАЛЬНЫЙ ОУ

Прежде чем углубиться в схемы ОУ, создадим основу для анализа, обсудив идеальный ОУ. Этот идеальный прибор имеет следующие свойства:

- 1) бесконечный коэффициент усиления при разомкнутой обратной связи,
- 2) нулевой выходной импеданс,
- 3) бесконечный входной импеданс,
- 4) нулевой шум,
- 5) бесконечная ширина полосы,
- 6) взаимная связь дифференциальных входов.

Что это означает и как связано с реальным ОУ?

БЕСКОНЕЧНОЕ УСИЛЕНИЕ ПРИ РАЗОМКНУТОЙ ОБРАТНОЙ СВЯЗИ. Это свойство означает, что идеальный ОУ при

разомкнутой обратной связи имеет бесконечное усиление по напряжению. Реальные ОУ тем не менее дают достаточно хорошее приближение. Степень приближения определяется коэффициентом при разомкнутой обратной связи (при малом коэффициенте усиления уравнения работают плохо). На практике коэффициент усиления при разомкнутой обратной связи составляет 20 000 в дешевых приборах и свыше 1 000 000 в дорогих.

НУЛЕВОЙ ВЫХОДНОЙ ИМПЕДАНС. ОУ по предположению является идеальным усилителем напряжения и должен иметь выходной импеданс, равный нулю. Реальные ОУ имеют выходной импеданс от 50 до 200 Ом, наиболее характерно сопротивление 100 Ом.

БЕСКОНЕЧНЫЙ ВХОДНОЙ ИМПЕДАНС. Это значит, что на входе прибора не потребляется электрический ток. Напомним, что входной импеданс определяется как отношение входного напряжения к входному току и при бесконечном импедансе входной ток должен быть равен нулю. Конечно, в реальных ОУ входной импеданс не равен нулю, а его величина является одним из основных отличительных параметров для дешевых и дорогих устройств. В дешевых приборах входные токи смещения и утечки могут составлять 1 - 2 мА, а в дорогих - несколько пико- или наноампер. ОУ фирмы RCA (CA-3140 и т. п.), на входе которого используются МОП-транзисторы, имеют входной импеданс до 1 000 000 МОм. В большинстве практических ситуаций его можно считать бесконечным.

НУЛЕВОЙ ШУМ. Под шумом здесь подразумевается внутренний шум, вносимый в сигнал. Этот параметр тоже разграничивает дешевые и дорогие схемы. Дешевые ОУ вносят существенное "шипение" и поэтому неприемлемы для работы со слабыми сигналами.

БЕСКОНЕЧНАЯ ШИРИНА ПОЛОСЫ. Это означает, что рабочие частоты прибора ограничены, что совершенно недостижимо в реальных ОУ. Стабилизированный ОУ типа 741 с частотной коррекцией может иметь частоту отсечки несколько килогерц, а другие - несколько мегагерц. Всего несколько типов ОУ работают в верхнем ВЧ или нижнем ОВЧ-диапазонах. Обычно они называются "видео-ОУ" или в этом духе.

ВЗАИМНАЯ СВЯЗЬ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ ВХОДОВ. Это свойство важно при упрощенном анализе. Оно также используется в некоторых схемах, таких, как "звуковой мост". Смысл его заключается в том, что напряжение, приложенное к одному из входов, появляется и на другом. Мы должны рассматривать оба входа как математически эквивалентные. Таким образом, если сигнал подан на неинвертирующий вход, то следует считать, что этот сигнал присутствует и на инвертирующем входе.

Это вовсе не отвлеченная теория. Если подать сигнал на неинвертирующий вход и подсоединить вольтметр к инвертирующему, то на входе будет реальный потенциал.

Мы используем рассмотренные свойства при дальнейшем анализе.

СТАНДАРТНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ОУ

Для работы с ОУ необходимо иметь представление о различных параметрах, приводимых в спецификации. Нижеследующее описание не является исчерпывающим, но дает представление о большинстве наиболее часто используемых характеристик.

КОЭФФИЦИЕНТ УСИЛЕНИЯ ПРИ РАЗОМКНУТОЙ ОБРАТНОЙ СВЯЗИ. Коэффициент усиления по напряжению определяется как отношение выходного напряжения к напряжению входного сигнала и является безразмерным параметром. В идеальном ОУ он бесконечен, в реальных изменяется от 20 000 в дешевых устройствах до 1 000 000 в дорогих устройствах.

КОЭФФИЦИЕНТ УСИЛЕНИЯ МОЩНОГО СИГНАЛА. Этот коэффициент определяется как отношение максимально допустимого выходного напряжения (обычно немного меньше V_- и V_+) к уровню входного напряжения, необходимого для создания выходного потенциала 10 В (или другого стандартного значения).

МАКСИМАЛЬНАЯ СКОРОСТЬ НАРАСТАНИЯ ВЫХОДНОГО НАПРЯЖЕНИЯ. Этот параметр характеризует скорость переключения ОУ между двумя экстремальными значениями выходного потенциала при максимально допустимом токе во внешней нагрузке. Измеряется он приращением потенциала в единицу времени. Например, ОУ типа 741 имеет расчетную скорость нарастания 0,5 В на 1 мкс. Эта величина обычно измеряется в схеме неинвертирующего повторителя с единичным коэффициентом усиления (подробнее об этом ниже).

КОЭФФИЦИЕНТ ОСЛАБЛЕНИЯ СИНФАЗНОГО СИГНАЛА (КОСС). Синфазным называется потенциал, который одновременно присутствует на обоих входах - инвертирующем и неинвертирующем (V_3 на рис. 24.3). В идеальных ОУ синфазному потенциалу соответствует нулевой выходной сигнал, в реальных - отличный от нуля.

КОСС характеризует способность отсекалть синфазные сигналы, и выражается отношением дифференциального и синфазного коэффициентов усиления. КОСС обычно выражается в децибелах и для обычных устройств лежит в пределах от 60 до 120 дБ (чем выше, тем лучше).

КОЭФФИЦИЕНТ ОСЛАБЛЕНИЯ КОЛЕБАНИЙ НАПРЯЖЕНИЯ ПИТАНИЯ. Этот параметр характеризует стабильность

ОУ относительно изменений потенциала питания. Он определяется как изменение входного напряжения смещения нуля (см. ниже) при изменении потенциала одного из двух входов питания на 1 В (потенциал на другом входе остается неизменным). Типичными являются значения от нескольких микровольт до нескольких милливольт на 1 В изменения напряжения питания.

ВХОДНОЕ НАПРЯЖЕНИЕ СМЕЩЕНИЯ НУЛЯ. Это напряжение, которое нужно подать на вход ОУ, чтобы создать нулевое напряжение на выходе. В идеальном ОУ выходное напряжение равно нулю при нулевом напряжении на входе.

ВХОДНОЙ ТОК СМЕЩЕНИЯ. Это ток, протекающий через входы ОУ. Иногда входной ток смещения определяется как усредненная разность токов инвертирующего и неинвертирующего входов.

ВХОДНОЙ ТОК СМЕЩЕНИЯ НУЛЯ. Это разность токов инвертирующего и неинвертирующего входов при выходном потенциале, равном нулю.

МАКСИМАЛЬНО ДОПУСТИМЫЙ УРОВЕНЬ ВХОДНОГО СИГНАЛА. Это максимально допустимый уровень входного синфазного сигнала, т.е. максимально допустимое значение V_3 на рис. 24.3.

ВХОДНОЙ ИМПЕДАНС. Это сопротивление между инвертирующим и неинвертирующим входами (Z_{in} на рис. 24.4). Обычно оно очень высоко: 1 МОм для дешевых ОУ, около 1 000 000 МОм в дорогих устройствах на биполярных транзисторах.

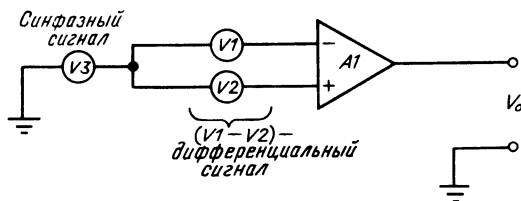


Рис. 24.3. Эквивалентная схема, показывающая синфазный сигнал V_3 и одинарные входные сигналы V_1 и V_2 . Дифференциальный входной сигнал равен $V_2 - V_1$.

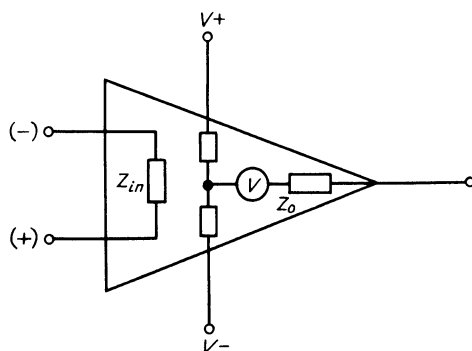


Рис. 24.4. Эквивалентная схема ОУ.

ВЫХОДНОЙ ИМПЕДАНС. Этот параметр обычно моделируется резистором, подключенным последовательно выходному сигналу и земле (если у прибора есть заземление). Обычно выходной импеданс не превышает 100 Ом.

ВЫХОДНОЙ ТОК КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ. Это ток, протекающий через выход усилителя при нулевом сопротивлении выходной нагрузки (т. е. в режиме замыкания на землю).

ВЗАИМНАЯ РАЗВЯЗКА КАНАЛОВ. Этот параметр используется как характеристика ИС, содержащих несколько ОУ в одном корпусе с общим питанием. Взаимная развязка каналов измеряется в децибелах и характеризует взаимное влияние ОУ. Например, двойной ОУ типа 741 имеет развязку 120 дБ. Отсюда следует, что при изменении потенциала на выходе одного ОУ на 1 В потенциал на выходе другого ОУ изменится на 1 мкВ (1 В относительно 1 мкВ составляет 120 дБ).

МАКСИМАЛЬНО И МИНИМАЛЬНО ДОПУСТИМЫЕ ПАРАМЕТРЫ

ОУ, как и другие электронные приборы, имеют ограничения рабочих параметров. Если эти ограничения нарушаются, то прибор рано или поздно выйдет из строя или будет работать в непредсказуемом режиме. Приводимые ниже допустимые значения параметров используются наиболее часто.

МАКСИМАЛЬНО ДОПУСТИМОЕ НАПРЯЖЕНИЕ ПИТАНИЯ. Это максимальный неразрушающий потенциал, который можно подать на вход ОУ. В ОУ типичное значение потенциалов питания V_+ и V_- составляет 15 В, хотя иногда встреча-

ются и более высокие значения. Максимально допустимые значения $V+$ и $V-$ зависят друг от друга (см. ниже).

МАКСИМАЛЬНО ДОПУСТИМОЕ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЕ НАПРЯЖЕНИЕ ПИТАНИЯ. Этот параметр представляет собой максимально допустимую алгебраическую сумму потенциалов $V+$ и $V-$. Зачастую он не равен сумме максимальных значений потенциалов. Например, в спецификации ОУ типа 741 приведены максимально допустимые значения 15 В. Однако максимально допустимое дифференциальное напряжение питания составляет всего 28 В. Таким образом, если оба потенциала равны 15 В, то дифференциальное напряжение составит 30 В, что на 2 В превышает максимально допустимое. Поэтому если один из двух потенциалов имеет максимально допустимое значение, то второй должен быть пропорционально снижен. Например, если потенциал $V+$ равен 15 В, то максимально допустимое значение $V-$ составит $28 \text{ В} - 15 \text{ В} = 13 \text{ В}$.

МАКСИМАЛЬНО ДОПУСТИМАЯ РАССЕИВАЕМАЯ МОЩНОСТЬ. Этот параметр представляет собой максимально допустимый уровень мощности, рассеиваемой в усилителе при нормальной окружающей температуре (80° для коммерческих приборов и 125° в военном оборудовании). Типичным является значение 500 мВт (0,5 Вт).

МАКСИМАЛЬНО ДОПУСТИМАЯ ПОТРЕБЛЯЕМАЯ МОЩНОСТЬ. Это максимальная неразрушающая мощность, потребляемая прибором и обычно измеряемая при коротком замыкании выхода. Сюда входит как мощность, рассеиваемая внутри прибора, так и другие составляющие.

МАКСИМАЛЬНО ДОПУСТИМОЕ ВХОДНОЕ НАПРЯЖЕНИЕ. Это максимальный потенциал, который можно одновременно приложить к обоим входам. Таким образом, это одновременно максимально допустимый уровень входного синфазного сигнала. В большинстве ОУ на биполярных транзисторах максимально допустимое входное напряжение равно напряжению питания или близко к нему. Существует также максимально допустимое напряжение на одном из входов при заземленном втором входе.

МАКСИМАЛЬНО ДОПУСТИМОЕ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЕ ВХОДНОЕ НАПРЯЖЕНИЕ. Это максимально допустимое дифференциальное напряжение между инвертирующим и неинвертирующим входами.

МАКСИМАЛЬНАЯ РАБОЧАЯ ТЕМПЕРАТУРА. Это максимальная окружающая температура, при которой прибор достаточно надежно работает в соответствии с паспортными характеристиками. Для коммерческих приборов это обычно $70 - 80^\circ\text{C}$, для военных - до 125°C .

МИНИМАЛЬНАЯ РАБОЧАЯ ТЕМПЕРАТУРА. Это минимальная окружающая температура, при которой прибор достаточно надежно работает в соответствии с паспортными характеристиками. Обычные коммерческие приборы работают до 0° , а военные и высококачественные коммерческие - до -40 или -55° .

ДОПУСТИМОЕ ВРЕМЯ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ. Это промежуток времени, в течение которого прибор может выдерживать режим короткого замыкания. Для многих современных ОУ это время практически бесконечно.

МАКСИМАЛЬНО ВЫХОДНОЕ НАПРЯЖЕНИЕ. Выходной потенциал ОУ зависит от напряжений постоянного питания. В большинстве ОУ между выходом и каждым из входов питания имеется несколько биполярных *pn*-переходов. Падение напряжения на переходах приводит к снижению выходного напряжения. Например, если между входом ОУ и входами питания имеется три *pn*-перехода, то максимальное выходное напряжение составит $(V_{+}) - 3 \times 0,7 = (V_{+}) - 2,1$ В. Если максимально допустимое напряжение питания V_{+} равно 15 В, то максимальное выходное напряжение составит $15 \text{ В} - 2,1 \text{ В} = 12,9 \text{ В}$. Максимальное отрицательное выходное напряжение не всегда равно максимальному положительному выходному напряжению. Это отражается другим параметром - максимальным размахом выходного напряжения, который определяется как максимальная разность положительного и отрицательного входных потенциалов.

СХЕМЫ ИНВЕРТИРУЮЩИХ ПОВТОРИТЕЛЕЙ

На рис. 24.5 показана схема инвертирующего повторителя. Здесь неинвертирующий вход заземлен, поэтому следует считать, что инвертирующий вход тоже заземлен (идеальное выполнение 6-го свойства ОУ). Это приводит к понятию “виртуального заземления”. Инвертирующий вход в действительности не заземлен, но так как его потенциал равен нулю вследствие заземления другого входа, говорят, что он “виртуально заземлен”.

Рассмотрим ток в узле А (рис. 24.5). Из свойства 3 следует, что входной ток смещения I_3 равен нулю. Кроме того, из закона Кирхгофа известно, что алгебраическая сумма токов в узле равна нулю, т.е. $I_1 = -I_2$. Из закона Ома следует

$$I_1 = V_{in}/R_i, \quad I_2 = V_o/R_{in}.$$

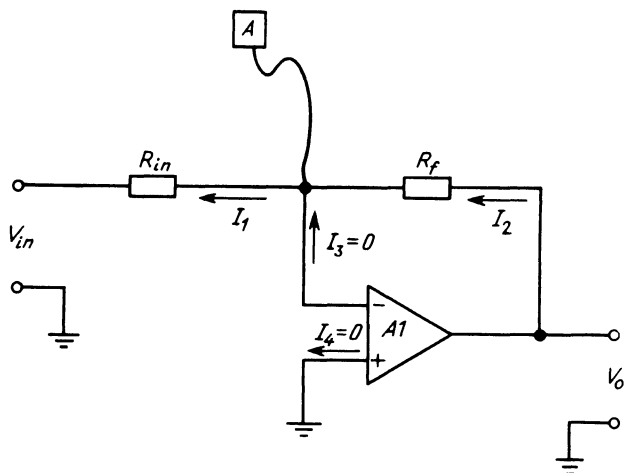


Рис. 24.5. Схема инвертирующего повторителя.

Подставляя эти два выражения в соотношение для токов, получаем:

$$V_{in}/R_{in} = -V_O/R_f.$$

Зная, что передаточная функция для напряжения есть V_O/V_{in} , найдем

$$V_O/V_{in} = -R_f/R_{in}.$$

Таким образом, усиление по напряжению инвертирующего повторителя определяется отношением двух сопротивлений:

$$A_v = -R_f/R_{in}.$$

Можно конструировать инвертирующий повторитель, просто варьируя эти сопротивления. Иногда на минимальное значение сопротивления R_{in} накладывается ограничение. Узел А заземлен и поэтому входной импеданс схемы - сопротивление R_{in} . Общее правило гласит, что входной импеданс каскада должен в 5 раз (некоторые предпочитают в 10 раз) превышать импеданс источника сигнала.

ПРИМЕР. Рассчитайте инвертирующий усилитель с коэффициентом усиления 100 и входным импедансом не менее 10 кОм.

Решение. Поскольку входной импеданс должен составлять не менее 10 кОм, то R_{in} должно быть равно 10 кОм или более. Пусть $R_{in} = 10$ кОм. Тогда

$$R_f = A_v R_{in} = 100 \times 10 \text{ кОм} = 1000 \text{ кОм}.$$

Таким образом, входное сопротивление 10 кОм и сопротивление 1 МОм в цепи обратной связи дают коэффициент усиления 100. Так как это инвертирующий повторитель, реальный коэффициент усиления равен -100. (Напомним, что знак минус просто означает фазовый сдвиг на 180° между входом и выходом.)

Неинвертирующие повторители

В неинвертирующем повторителе сигнал подается на неинвертирующий вход. Есть две основные конфигурации неинвертирующих повторителей:

1. Неинвертирующий повторитель с единичным коэффициентом усиления.

2. Неинвертирующий повторитель с усилением.

На рис. 24.6а показана схема неинвертирующего повторителя с единичным коэффициентом усиления. Выход соединен с инвертирующим входом, создавая 100%-ную обратную связь. Выходное напряжение равно входному. Для чего нужен усилитель напряжения с единичным коэффициентом усиления? Он может применяться в качестве буфера, преобразователя импеданса и усилителя мощности. Применение в качестве буфера означает использование для развязки схемы и ее нагрузки. Некоторые генераторы и несинхронизированные мультивибраторы изменяют частоту с изменением импеданса нагрузки. Неинвертирующий повторитель с единичным коэффициентом усиления, используемый в качестве буфера, предотвращает такое изменение. Кроме того, некоторые преобразователи с высоким выходным сопротивлением будут рассогласованы с нагрузкой, если в качестве буфера не использован усилитель с высоким входным импедансом. В качестве примера можно упомянуть пьезоэлектрический микрофон.

Преобразование импеданса происходит потому, что входной импеданс очень высок, а выходной очень мал. Эту схему можно использовать, например, если сигнал поступает из биологических или химических систем, где импеданс очень высок.

Усиление по напряжению равно нулю. Это подтверждается тем фактом, что напряжение остается неизменным ($V_o = V_{in}$). Но следует учесть, что входной и выходной импедансы различны. Поскольку мощность определяется соотношением $P = V^2/R$, очевидно, что уменьшение сопротивления при постоянном напряжении ведет к увеличению мощности.

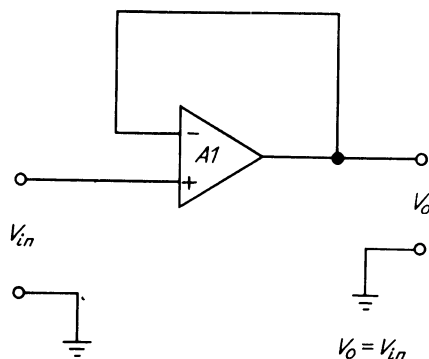


Рис. 24.6а. Схема неинвертирующего повторителя.

Неинвертирующий повторитель с усилением, показанный на рис. 24.6б, сохраняет свойства схемы с единичным коэффициентом усиления, но создает усиление по напряжению. Учитывая, что потенциал инвертирующего входа (узел А) равен V_{in} , можно провести анализ, как в предыдущем случае. В результате выражение для коэффициента усиления по напряжению имеет вид:

$$A_v = R_f / R_{in} + 1.$$

Неинвертирующие повторители используются в тех случаях,

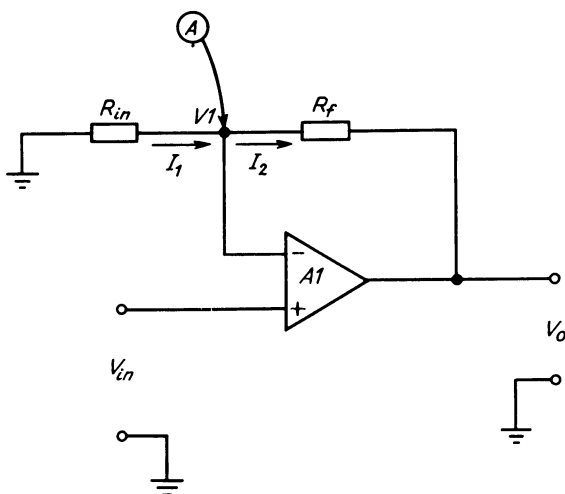


Рис. 24.6б. Неинвертирующий повторитель с усилением.

когда требуется очень высокий входной импеданс, либо фазовый сдвиг неприемлем.

ПИТАНИЕ ОТ ЕДИНСТВЕННОГО ИСТОЧНИКА

ОУ обычно питаются от биполярных источников постоянного тока. Такие источники имеют выходы питания $V+$ и $V-$, потенциалы которых измеряются относительно земли или общей шины. При этом требуется два независимых источника постоянного тока. Однако иногда бывает необходимо ограничиться только одним (однополярным) источником питания. В этом разделе мы рассмотрим простые методы реализации питания ОУ от одного источника.

Есть схемы расщепления потенциала источника однополярного постоянного питания для создания биполярного потенциала. Такая схема содержит два стабилитрона, соединенных последовательно и подключенных к выходу источника питания с ограничительным резистором. Точка соединения двух стабилитронов является общей сигнальной точкой. Существенным ограничением здесь является то, что общая точка не может быть соединена с шасси.

В другой схеме используется однополярный источник питания для получения потенциала $V+$, а затем преобразовательная схема формирует потенциал $V-$. Такая схема содержит генератор с частотой от 20 до 500 кГц, выпрямитель и фильтр для создания потенциала.

На рис. 24.7 показан метод создания смещения в ОУ, позволяющий осуществить питание от одного источника. Метод базируется на простой резисторной схеме делителя напряжения (рис. 24.7а). Выходное напряжение V_1 определяется по обычной формуле делителя напряжения:

$$V_1 = R_2 \times (V+) / (R_1 + R_2).$$

В большинстве случаев $V_1 = V+/2$ и ОУ имеет статическую точку выходного потенциала посередине между экстремумами. Такое смещение достигается при $R_1 = R_2$. Сопротивления R_1 и R_2 обычно выбираются от 1 до 100 кОм.

Конденсатор, шунтирующий резистор R_2 , используется для развязки от переменной составляющей сигнала. Емкость конденсатора подбирается таким образом, чтобы его сопротивление на самой нижней рабочей частоте составляло $R_2/10$. Например, если $R_2 = 10\text{ кОм}$, а нижняя рабочая частота 10 Гц, то $R_2/10 = 1\text{ кОм}$ и для C имеем

$$C(\text{мкФ}) = 1\,000\,000 / 6,28 \text{ F } X_c = 1\,000\,000 / 6,28 \times 10\text{ Гц} \\ \times 1000 \text{ Ом} = 15,9 \text{ мкФ}.$$

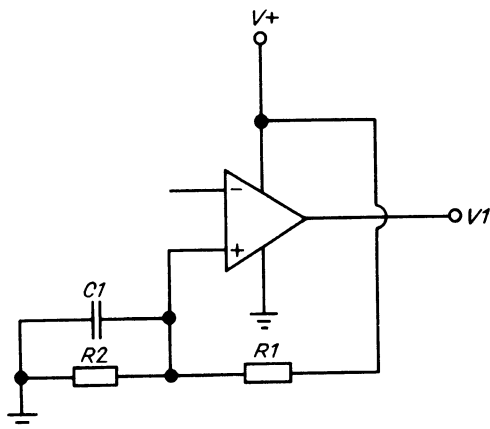


Рис. 24.7а. Для питания ОУ от одного источника необходимо создать смещение неинвертирующего входа. Потенциал смещения выбирается между потенциалом земли и напряжением $V+$.

Емкость 15,9 мкФ является нестандартной и поэтому следует использовать конденсаторы емкостью 20 или 22 мкФ.

На рис. 24.7б показан метод создания смещения в схеме инвертирующего повторителя на основе ОУ. При биполярном источнике питания в такой схеме неинвертирующий вход зазем-

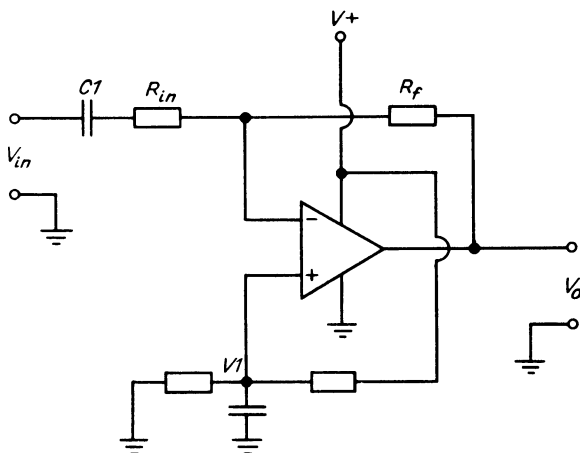


Рис. 24.7б. Типичная схема инвертирующего повторителя с переменным входным сигналом и одним источником питания.

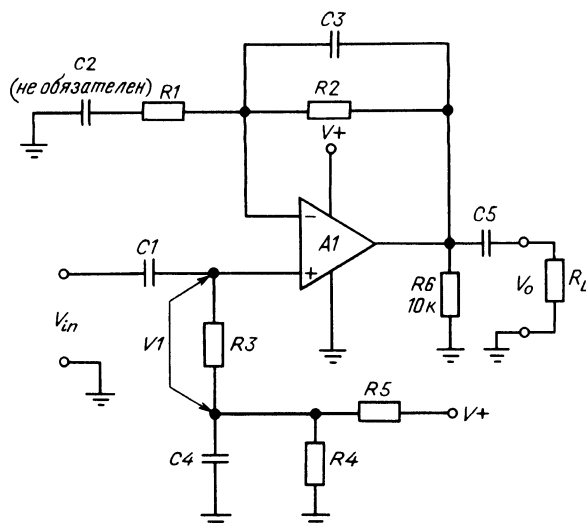


Рис. 24.7в. Схема неинвертирующего повторителя с переменным входным каскадом.

лен (т. е. имеет нулевой потенциал). Однако при однополярном питании на неинвертирующий вход подается потенциал смещения V_1 . Этот потенциал также должен появиться на инвертирующем входе (поэтому необходим блокировочный конденсатор $C1$, отсекающий постоянную составляющую потенциала). Выход ОУ будет смещен в соответствии с потенциалом V_1 , поэтому здесь тоже может потребоваться блокировочный конденсатор (см. рис. 24.7в), если потенциал смещения оказывает обратный эффект на последующие каскады.

Емкость конденсатора $C1$ выбирается из соображений низкого импеданса на наименьшей рабочей частоте, как в предыдущем случае. Согласно общему правилу, резистор R_{in} и конденсатор $C1$ следует рассматривать как фильтр верхних частот с частотой отсечки

$$F_c = 1/6,28 R_{in} C1.$$

Конденсатор $C1$ подбирается так, чтобы для заданного значения R_{in} частота отсечки была меньше нижней рабочей частоты.

Схема для неинвертирующего повторителя показана на рис. 24.7в. Она сходна со схемой для инвертирующего повторителя, за исключением резистора $R3$. Этот резистор используется для создания высокого входного импеданса для сигналов, прикладываемых к неинвертирующему входу. Минимальное значение $R3$

должно по крайней мере в 10 раз превышать выходное сопротивление управляющего каскада. На практике обычно импеданс источника достаточно мал и R_3 может превышать его в 100 или 1000 раз. Типичный диапазон значений R_3 от 10 кОм до 1 МОм при предпочтительном значении 100 кОм.

Емкость C_1 подбирается так, чтобы частота отсечки фильтра C_1R_3 была меньше нижней рабочей частоты, как в предыдущем случае.

Конденсатор C_4 и резистор R_4 используются тогда, когда входной потенциал смещения $V_+/2$ оказывает обратный эффект на последующие каскады. И снова емкость конденсатора C_1 выбирается из соображений наименьшей рабочей частоты при заданном сопротивлении следующего каскада.

ПРОБЛЕМЫ ОУ И ИХ РЕШЕНИЕ

Выше мы обсудили понятие идеального ОУ. Это гипотетическое устройство является всего лишь “учебным пособием” и реально не существует. Оно упрощает анализ, но его нельзя купить и использовать в практической схеме. Все реальные ОУ отличаются от идеального и их качество иногда измеряется степенью такого отличия. Например, усиление при разомкнутой обратной связи не бесконечно, но может изменяться от 20 000 до 1 000 000. Реальные ОУ имеют вовсе не бесконечную ширину полосы, а напротив, иногда очень ограниченную. Последнее утверждение особенно справедливо для “очень стабильных” или “частотно-компенсированных” ОУ, сходных с ОУ типа 741. Хотя стабильность очень важна, она приобретается за счет сужения частотного диапазона. В этом разделе мы рассмотрим наиболее общие проблемы в ОУ и методы их решения.

Компенсация смещения

Идеальный ОУ имеет нулевое выходное напряжение при одинаковых потенциалах двух входов. Однако в реальных ОУ всегда есть выходной потенциал смещения. Это потенциал, который формируется на выходе ОУ, когда выходной потенциал должен быть нулевым. Это обусловлено несколькими причинами. Одна из них - входные токи смещения, задающие рабочие режимы входных транзисторов ОУ. Обычно эти токи не равны нулю. Ток, протекающий через инвертирующий вход, создает падение

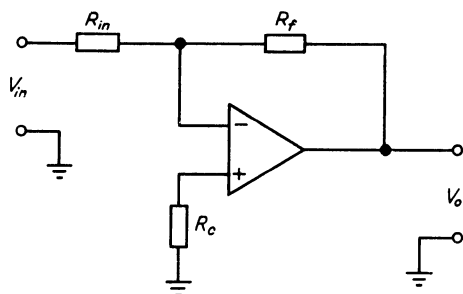


Рис. 24.8. Компенсирующий резистор между положительным входом ОУ и землей устраняет влияние входных токов смещения и улучшает термостабильность схемы.

напряжения, равное произведению тока на общее сопротивление параллельных сопротивлений R_{in} и R_f . Как решить эту проблему? Потенциал, создаваемый входными токами смещения, усиливается и преобразуется в выходной потенциал смещения.

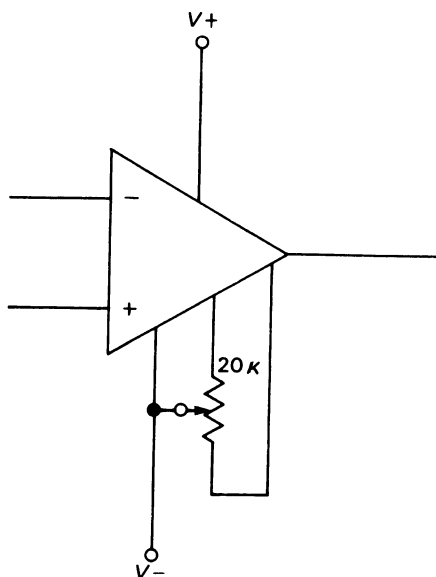


Рис. 24.9а. Использование специальных входов ОУ для компенсации выходного смещения (предпочтительный метод).

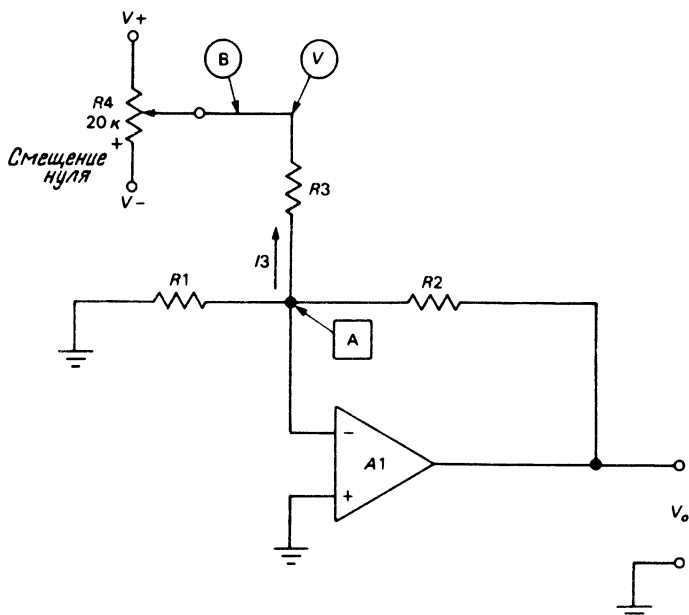


Рис. 24.96. Универсальная схема компенсации выходного смещения при отсутствии специальных входов ОУ.

На рис. 24.8 показано применение компенсирующего резистора R_C . Его сопротивление равно общему сопротивлению параллельной ему комбинации резисторов R_{in} и R_f . Поскольку токи смещения, протекающие через оба входа, одинаковы, падение напряжения на сопротивлении R_C создает потенциал на неинвертирующем входе, равный потенциалу инвертирующего входа.

На рис. 24.9 показаны два метода компенсации выходного смещения независимо от его источника. На рис. 24.9а приведена схема, использующая входы компенсации смещения, имеющиеся в некоторых ОУ. Потенциометр подключается между двумя компенсационными входами, а подвижный регулятор соединяется с шиной питания V_- . Нулевое выходное напряжение обеспечивается настройкой потенциометра. Входные контакты закорачиваются, после чего производится настройка на нулевой выходной уровень с помощью потенциометра.

На рис. 24.9б показана схема, которую можно использовать в любом ОУ - инвертирующем и неинвертирующем, за исключением неинвертирующего повторителя с единичным коэффи-

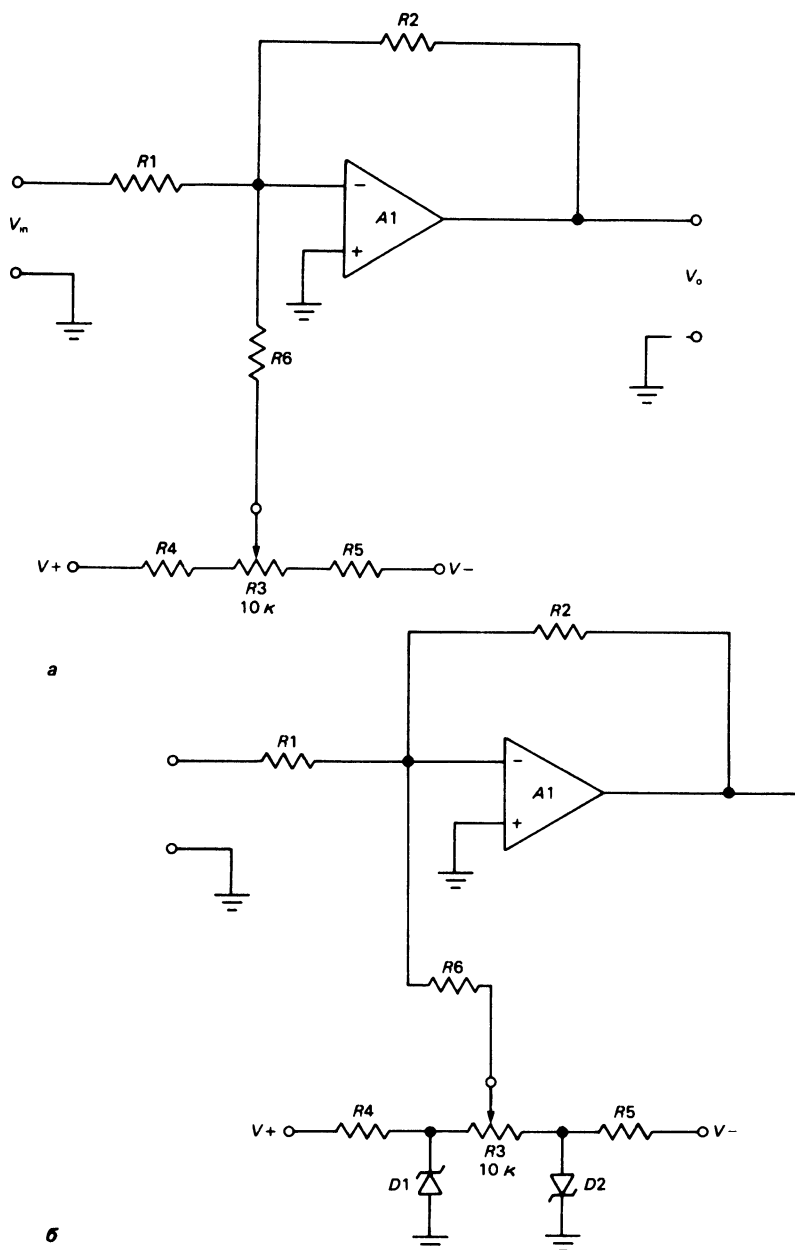


Рис. 24.10. Высокоточные схемы компенсации выходного смещения. а - схема с резисторным делителем напряжения, б - схема на стабилитронах.

ентом усиления. Компенсирующий ток I_3 инжектируется в суммирующий узел (точка А); величина и полярность тока подбираются таким образом, чтобы скомпенсировать выходное напряжение смещения. Напряжение в точке В подбирается так, чтобы выходной потенциал был равен нулю. Выходное напряжение, соответствующее напряжению в точке В, дается следующим выражением:

$$V_o = -V_B R_2/R_3.$$

Если требуется более точная регулировка выходного напряжения смещения, то можно рекомендовать две схемы, приведенные на рис. 24.10, для замены потенциометра в схеме, показанной на рис. 24.9б.

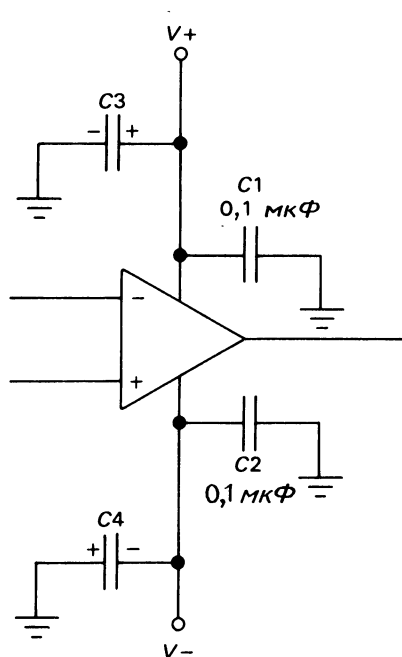


Рис. 24.11. Для развязки источника постоянного питания используется по крайней мере один конденсатор на каждом входе. Предпочтительнее использовать два конденсатора, как показано на схеме.

Развязка источника питания

ОУ, как и другие активные электронные устройства, подвержены влиянию колебаний напряжения питания и шумов, связанных с источником питания. Возможна также перекрестная связь ОУ через шины питания. Эта проблема, а также некоторые проблемы стабилизации решаются с помощью развязывающей схемы (рис. 24.11). Каждая шина питания $V+$ и $V-$ развязывается с помощью двух конденсаторов. Конденсаторы $C1$ и $C2$ имеют емкость $0,1$ мкФ и используются для развязки по высокой частоте, конденсаторы $C3$ и $C4$ имеют большую емкость и осуществляют развязку по низкой частоте. Такое решение объясняется тем, что электролитические конденсаторы, используемые как $C3$ и $C4$, неэффективны на высоких частотах.

Развязывающие конденсаторы должны быть смонтированы как можно ближе к корпусу ОУ. Это требование важно в ОУ без частотной компенсации, которые характеризуются высоким произведением коэффициента усиления на ширину полосы.

Частотная стабильность

ОУ, не имеющие внутренней частотной компенсации, могут возбуждаться. На рис. 24.12 показан график зависимости фазового сдвига от частоты для типичного ОУ с разомкнутой обратной связью. Начиная с нулевой и до определенной граничной частоты фазовый сдвиг почти равен нулю, выше этой частоты фазовое рассогласование быстро возрастает. Это обусловлено внутренними сопротивлениями и емкостями усилителя, которые образуют фазосдвигающую цепь. На некоторой частоте фазовый сдвиг достигает 180° и, складываясь с нормальным инвертирующим сдвигом 180° , дает суммарный фазовый сдвиг 360° . Таким образом, условие Баркгаузена для генерации оказывается выполненным, и на этой частоте усилитель превращается в генератор.

Развязка источника питания помогает частично решить эту проблему, и поэтому не рекомендуется использовать некомпенсированные ОУ без развязывающих конденсаторов. В других случаях полезны методы, представленные на рис. 24.13. На рис. 24.13,а показан метод опережающей компенсации. Если ОУ имеет компенсационные входы (обычно выводы 1 и 8 в стандартном корпусе), то следует подсоединить конденсатор малой емкости (от 20 до 100 пФ), как показано на схеме. Другой способ заключается в подсоединении конденсатора между компенсационным входом и выходом ОУ.

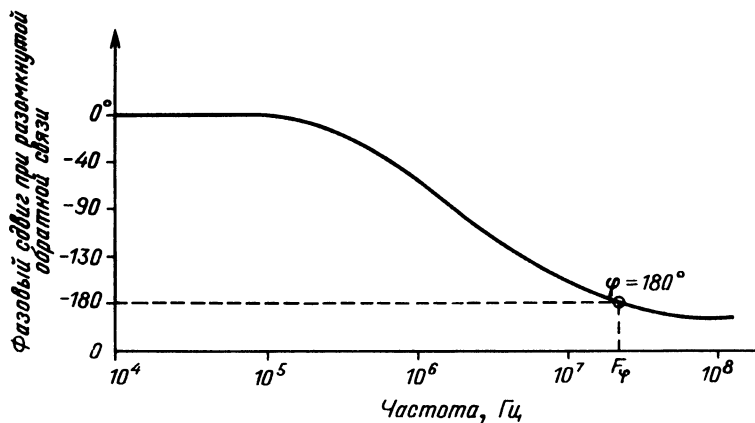


Рис. 24.12. Зависимость сдвига фазы от частоты при разомкнутой обратной связи.

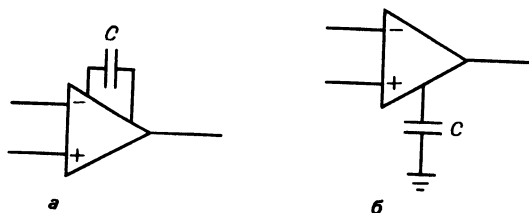


Рис. 24.13. Методы частотной компенсации. а - с использованием вывода частотной компенсации, б - запаздывающая компенсация.

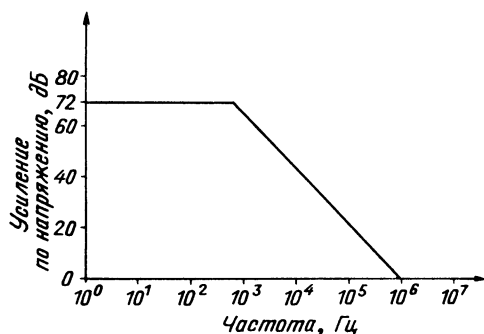


Рис. 24.14. Зависимость усиления по напряжению от частоты.

Запаздывающая компенсация показана на рис. 24.13,б. Здесь подключается один конденсатор или конденсатор с сопротивлением между входом и землей. В другом способе последователь-

но соединенные конденсатор и резистор вводятся между инвертирующим и неинвертирующим входами.

Эти методы основаны на уменьшении усиления схемы с обратной связью в высокочастотной области таким образом, что усиление становится меньше единицы на частоте, соответствующей фазовому сдвигу 180° . Компенсация определяет максимальную величину обратной связи, которая может быть использована без нарушения стабильности.

ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫЙ УСИЛИТЕЛЬ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Дифференциальным называется усилитель, который формирует выходное напряжение, равное произведению коэффициента усиления на разность двух входных напряжений. На рис. 24.15 показан простой дифференциальный усилитель постоянного тока на основе одного ОУ. Его усиление равно

$$A_y = R_3/R_1 = R_4/R_2 \text{ при условии, что } R_1 = R_2, R_3 = R_4.$$

Выходное напряжение равно произведению коэффициента усиления на разность двух входных напряжений $V_2 - V_1$. Эта разность потенциалов называется дифференциальным сигналом и идеальный ОУ реагирует только на такой сигнал.

Синфазным называется сигнал, который одновременно подается на два входа. В идеальном дифференциальном усилителе коэффициент усиления синфазного сигнала равен нулю, т. е. синфазный сигнал не влияет на выходной сигнал. Дифференциальные усилители идеально подходят для создания многих приборов, в том числе для сбора информации. Пусть слабый сигнал проходит по проводам в условиях сильных сетевых помех на частоте 60 Гц. Следует ожидать, что сигнал будет подавлен помехами. Если применить дифференциальный усилитель, то

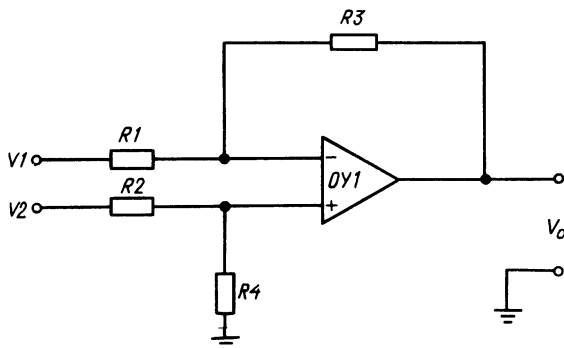


Рис. 24.15. Дифференциальный усилитель постоянного тока.

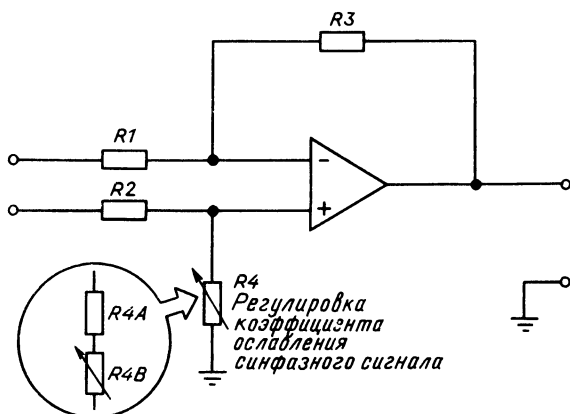


Рис. 24.16. Дифференциальный усилитель с регулируемым уровнем подавления синфазного сигнала.

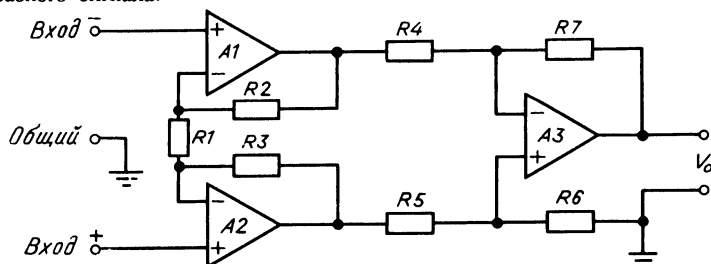


Рис. 24.17. Измерительный усилитель с тремя ОУ.

можно использовать дифференциальный входной сигнал. Для этого следует проложить две одинаковые линии от источника сигнала, проходящие в одинаковой среде. Тогда помеховый сигнал с частотой 60 Гц будет одинаковым в обеих линиях, т. е. синфазным, и дифференциальный усилитель его не пропустит.

Хорошее подавление синфазного сигнала достигается в схеме, представленной на рис. 24.15, только в том случае, если сопротивления согласованы ($R1 = R2$ и $R3 = R4$ с большой точностью). Усовершенствованная схема показана на рис. 24.16. Здесь резистор $R4$ заменен последовательно соединенными постоянным сопротивлением и потенциометром (иногда только потенциометром). Потенциометр $R4$ обеспечивает контроль усиления синфазного сигнала. Регулировка на минимальное выходное напряжение производится при $V1 = V2$ (это означает взаимное замыкание входов и подачу общего входного сигнала).

Базовый дифференциальный усилитель (рис. 24.15 и 24.16) имеет тот же недостаток, что и схема инвертирующего повто-

рителя. Если требуется дифференциальный усилитель с очень высоким входным импедансом, то следует воспользоваться схемой измерительного усилителя с тремя ОУ (рис. 24.17).

Где может применяться такая схема? Очевидно, везде, где требуется высокий входной импеданс: в усилителях биопотенциалов (электрокардиографы, электроэнцефалографы и т. п.), в химических электродах, а также в некоторых физических приборах.

Схема на рис. 24.17 включает три ОУ. Предпочтительнее, если ОУ1 и ОУ2 выполнены в едином корпусе, что улучшает термостабильность. При необходимости ОУ1 и ОУ2 могут быть выполнены раздельно (ниже мы обсудим устройство измерительных ОУ в интегральном исполнении).

ОУ3 используется как дифференциальный усилитель постоянного тока, но сигналы на его входы поступают с балансной схемы, состоящей из двух усиливающих неинвертирующих повторителей (ОУ1 и ОУ2) с общим входным резистором R1. Полный коэффициент усиления по напряжению в этой схеме равен

$$A_v = (2R_2/R_1 + 1) \times (R_6/R_3),$$

где $R_2 = R_3$, $R_4 = R_5$, $R_6 = R_7$.

В некоторых случаях может потребоваться дифференциальный усилитель с регулируемым усилением. Это требование удовлетворяется, если резистор R1 переменный. Но здесь следует быть осторожным, так как R1 входит в знаменатель выражения для коэффициента усиления. Если подключить потенциометр вместо резистора R1, то при одном из положений регулятора сопротивление станет нулевым и приведет к очень высокому усилению - выше допустимого. Поэтому разумно подключить последовательно с потенциометром фиксированное сопротивление, задающее максимально допустимое усиление.

Резистор R7 используется для регулировки КОСС в дифференциальном усилителе. В идеальном дифференциальном усилителе синфазные сигналы дают идеальный нулевой выходной сигнал. В реальных усилителях всегда присутствует небольшое рассогласование дифференциального усиления, что приводит к появлению небольшого выходного сигнала при синфазном входном сигнале. Одной из причин рассогласования является разброс номиналов резисторов. Здесь может помочь уменьшение разброса, например, путем применения сопротивлений с температурным коэффициентом 1% или менее. При переменном сопротивлении R7 рассогласование можно скомпенсировать.

Для осуществления подстройки необходимо соединить два входа накоротко и подать входной сигнал (например, 1В, 100

Гц). Выходной сигнал контролируется по осциллографу, а минимум устанавливается с помощью R7. Чувствительность осциллографа следует постепенно увеличивать для повышения точности настройки усилителя.

Измерительный усилитель на основе трех ОУ реализуется и в виде монолитной ИС. Такая конструкция имеет ряд преимуществ. Во-первых, лучше контролируется дрейф усилителя, так как все три ОУ и резисторы, за исключением R1, располагаются на одной кремниевой подложке и, значит, имеют общий температурный режим. Дрейф всех каскадов происходит сходным образом, что часто приводит к взаимной компенсации. Дрейф не является нулевым, однако в хорошо сконструированных ИС он существенно меньше, чем в дискретных схемах.

Второе преимущество - высокая плотность размещения элементов. Измерительный усилитель на дискретных элементах требует от 60 до 520 кв. см площади печатной платы. Усилитель в интегральном исполнении занимает менее 25 кв. см.

Еще одно преимущество, важное для многих пользователей, - стоимость. Хотя цена измерительного усилителя в интегральном исполнении, особенно высококачественного, обычно выше, чем дискретного, в целом устройство обходится дешевле из-за более простой конструкции и других факторов. Преимущества ИС очевидны, чтобы затмить или даже вытеснить ОУ.

Преимущество в размерах не всегда является определяющим, однако иногда оно становится существенным. Когда преобразователь или электрод работает в присутствии сильных шумов, усилитель можно установить непосредственно в преобразователе. Это позволит увеличить уровень сигнала, распространяющегося к оконечным приборам. В качестве примера можно привести датчик давления с встроенным усилителем (коэффициент усиления 100), что позволяет получить сигнал от 100 мВ до 1 В вместо 100 - 1000 мкВ. Очевидно, что в условиях сильных сетевых наводок лучше передавать сигнал 1000 мВ, чем 1 мВ.

В следующем разделе мы рассмотрим два измерительных усилителя в интегральном исполнении: INA-101 (Burr Brown) и LM-363 (National Semiconductor).

Коммерческие измерительные усилители в интегральном исполнении

Типичные измерительные усилители в интегральном исполнении имеют схему, как на рис. 24.17, но резистор R1 располагается вне корпуса. Этот внешний резистор обычно обозначается R_g , а выводы, к которым он подсоединяется, обозначаются gain set (регулировка усиления).

Выражение для коэффициента усиления имеет вид

$$A_v = (50 \text{ кОм} / R_g) + 1.$$

Это подразумевает, что на схеме рис 24.17. $R_2 = R_3 = 25 \text{ кОм}$, а $R_4 = R_5 = R_6 = R_7$. Зачастую в учебнике формула приводится не в том виде, в котором требуется. Как правило, усиление известно или определяется другим способом, а нам требуется вычислить соответствующее сопротивление. Приведем выражение для сопротивления в явном виде:

$$R_g = 50 \text{ кОм} / (A_v - 1).$$

ПРИМЕР. Подберите сопротивление, задающее коэффициент усиления 100.

$$R_g = 50 \text{ кОм} / (A_v - 1) = 50 \text{ кОм} / (100 - 1) = 50 \text{ кОм} / 99 = 0,51 \text{ кОм} = 510 \text{ Ом}.$$

Усилитель может быть выполнен в корпусах нескольких видов. Имеются круглые металлические корпуса (с этих корпусов начиналось производство ИС) с 8 и 10 выводами, применяются плоские корпуса с двухрядным расположением выводов (8, 14, или 24). Имеется несколько типов гибридных измерительных усилителей, близких по характеристикам, которые поэтому можно отнести к этому же классу.

Семейство приборов LM-363-хх включает три измерительных усилителя в круглых металлических корпусах. Близкое к ним устройство LM-363-AD имеет три дискретно переключаемых уровня усиления и реализовано в 16-выводном плоском двухрядном корпусе. Устройство серии LM-363-хх имеет фиксированное усиление, определяемое последними символами маркировки.

Модель	Усиление по напряжению
--------	---------------------------

LM-363-10	10
LM-363-100	100
LM-363-500	500

Эти устройства предназначены для получения фиксированного стандартного усиления при малых размерах. Выбранные уровни усиления (10, 100 и 500) относятся к числу наиболее распространенных в электронных схемах. Рассмотрим пример

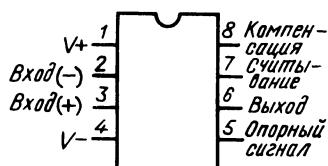


Рис. 24.18. Корпус и выводы измерительного усилителя с фиксированным усилением LM-363-xx.

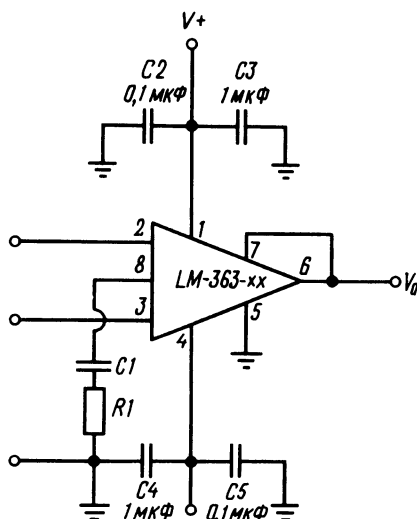


Рис. 24.19. Схема устройства LM-363-xx.

использования усилителя LM-363. Предположим, что мы работаем с датчиком механических смещений в условиях сильных помех. Если разместить усилитель (коэффициент усиления 10 или 100) в датчике, это улучшит отношение сигнал/шум на входе регистрирующей аппаратуры. Как-то я собрал такой усилитель на основе ОУ типа 741. Для этого потребовалось несколько резисторов и потенциометр. Усилитель с коэффициентом усиления 10 был смонтирован в небольшом корпусе и размещен на датчике. Сейчас такой предусилитель на основе ИС можно разместить в разъеме для датчика.

На рис. 24.18 показан корпус усилителя LM-363-xx, а на рис. 24.19 - принципиальная схема. Усилитель смонтирован внутри металлического корпуса с 8 выводами и характеризуется произведением усиления на ширину полосы 30 МГц. Вывод 8 служит для частотной компенсации. Сопротивления R и C , под-

соединенные к этому выводу, приспособят усилитель для ваших целей. Постоянное питающее напряжение подается на выводы 1 и 4, V_+ подается на вывод 1, а V_- на вывод 4. Рис. 24.19. Схема устройства LM-363-хх.

Развязывающие конденсаторы, которые подключаются к этим выходам, необходимы для предотвращения возбуждений, как и в обычных ОУ. Используйте по два конденсатора на каждой шине из-за большой ширины полосы усилителя. Для развязки по низким частотам обычно применяются танталовые электролитические конденсаторы емкостью 1 мкФ. Конденсаторы емкостью 0,1 мкФ предназначены для развязки по высокой частоте - обычно это дисковые керамические, майларовые или другие высококачественные конденсаторы. Параллельное соединение конденсаторов низкой и высокой емкости объясняется тем, что электролитические конденсаторы большой емкости плохо работают на высоких частотах. Развязывающие конденсаторы, особенно высокочастотные, должны монтироваться как можно ближе к корпусу усилителя.

Другая разновидность усилителя серии LM-363 представлена на рис. 24.20. Этот усилитель помещен в плоский 16-выводной корпус и имеет ступенчато регулируемое усиление: 10, 100 и 1000. Конкретное значение выбирается закорачиванием определенных выводов (2, 3 и 4):

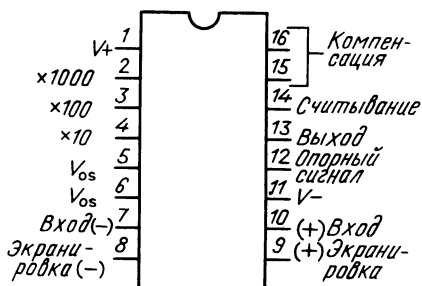


Рис. 24.20. Корпус и выводы измерительного усилителя с регулируемым усилением типа LM-336-AD.

Усиление	Взапно-соединяемые выводы
10	Все выводы разомкнуты
100	3 и 4
1000	2 и 4

В схеме на рис. 24.21 применяется защитная экранировка сигнальных входов усилителя LM-336-AD. Это полезное дополнение при низких ожидаемых уровнях входных сигналов, особенно при высоких коэффициентах усиления.

Измерительный усилитель в интегральном исполнении INA-101 (фирма Burr Brown) показан на рис. 24.22. Схема сходна с рис. 24.17, уровень усиления регулируется внешним потенциометром R1, а сопротивления цепи обратной связи (R2 и R3 на рис. 24.17) равны 20 кОм. Коэффициент усиления дается выражением

$$A_v = 40 \text{ кОм} / R_g + 1,$$

где R_g - внешнее сопротивление для контроля усиления в киломах.

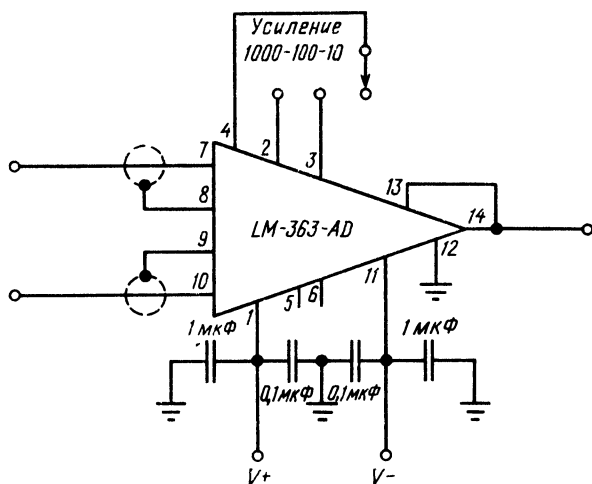


Рис. 24.21. Схема усилителя LM-336-AD.

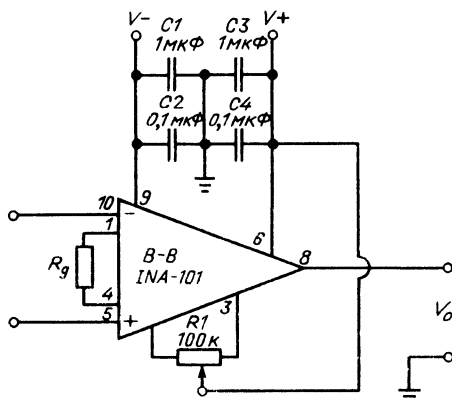


Рис. 24.22. Схема измерительного усилителя INA-101.

INA-101 - это усилитель с низким уровнем шумов, который обеспечивает КОСС 106 дБ на частоте 60 Гц и имеет входной импеданс около 10 000 МОм. Температурный дрейф составляет 25 мкВ на 1°С. Усилитель работает при уровнях питания от ± 5 до ± 20 В, рекомендуемое напряжение питания ± 15 В. Корпус 10-выводной металлический типа TO-5.

На рис. 24.23,а показан усилитель AMP-01 фирмы Precision Monolithics, Inc. в 18-выводном плоском корпусе. Схема усилителя приведена на рис. 24.23,б. Обратите внимание, как проста схема! Она имеет всего несколько выводов: дифференциальные входы, входы питания V- и V+, выход, земля и два сопротивления для контроля усиления. Коэффициент усиления дается выражением

$$A_v = 20 R_s / R_g.$$

Пусть требуется дифференциальный усилитель напряжения с коэффициентом усиления 1000. Для этого отношение сопротивлений должно быть 1000/20, или 50:1. Так что при $R_s = 100$ кОм и $R_g = 2$ кОм получим требуемое усиление 1000. Допустимый диапазон коэффициентов усиления составляет от 0,1 до 10 000.

Допустимые уровни потенциалов питания от -18 до +18 В. Обратите внимание (рис. 24.23,б), что шины питания имеют сильную развязку. Конденсаторы на 0,1 мкФ осуществляют высокочастотную развязку, а на 1 мкФ - низкочастотную. Высокочастотные конденсаторы следует монтировать как можно ближе к корпусу усилителя.

Максимальная рабочая частота зависит от усиления. При

единичном коэффициенте усиления максимальная частота слабого сигнала составляет 570 кГц, при коэффициенте усиления 1000 она снижается до 26 кГц.

ЗВУКОВЫЕ ПРЕДУСИЛИТЕЛИ

Предусилители предназначены для увеличения слабого выходного напряжения от таких источников, как микрофоны, звукоусилители, магнитные головки и т. п. В системах усиления звука предусилитель может иметь коэффициент усиления от 2 - 3 до 5000. Необходимый уровень усиления предусилителя зависит от

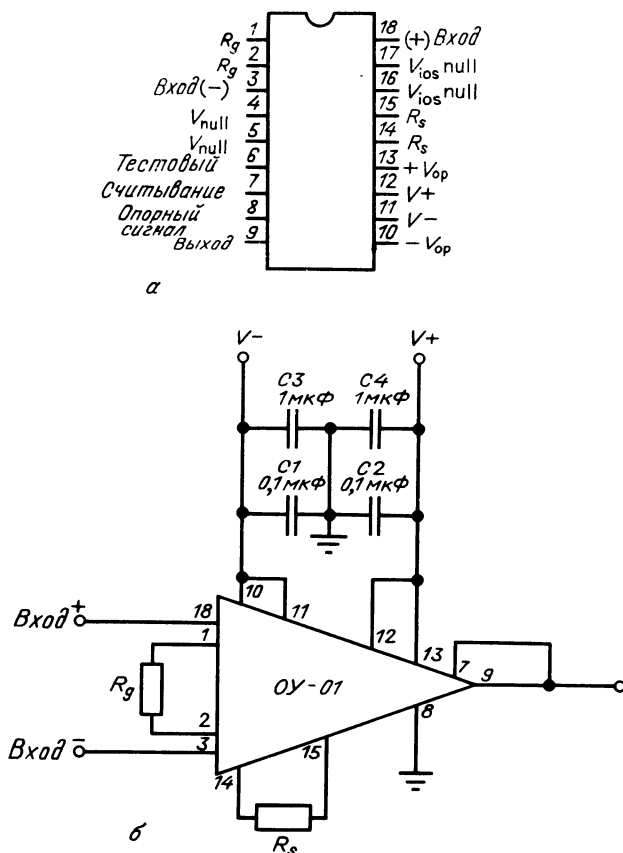


Рис. 24.23. Измерительный усилитель в интегральном исполнении типа РМ1 AMP-01A: а - корпус и выводы, б - схема.

уровня сигнала, требуемого на входе усилителя мощности (или нагрузке), и уровня входного сигнала. Например, пусть микрофон имеет выходной уровень 5 мВ при нормальном звуковом сигнале. Далее предположим, что на входе модулятора радиопередатчика требуется сигнал 250 мВ для получения максимальной выходной мощности. Таким образом, известны входной V_{in} и выходной V_o потенциалы предусилителя и можно вычислить необходимый коэффициент усиления

$$A_v = V_o / V_{in} = 250 \text{ мВ} / 5 \text{ мВ} = 50.$$

Имеется несколько устройств, пригодных для создания звуковых предусилителей. Популярны специальные ИС, такие, как LM-381. Некоторые предпочитают обычные ОУ типа 741 или LM-301. Применяются также специальные ОУ для звуковых и стереосистем, такие, как LM-1303. Все эти приборы легко доступны.

Подсоединение шин питания

При некоторых условиях звуковые предусилители в интегральном исполнении могут возбуждаться. На них могут также оказывать вредное воздействие сигналы, поступающие с других каскадов по шинам постоянного питания. Поэтому шины постоянного питания должны быть надежно шунтированы. На рис. 24.24 показана схема шунтирования ОУ, которая может использоваться и в других звуковых ИС как с однополярным, так и с биполярным питанием.

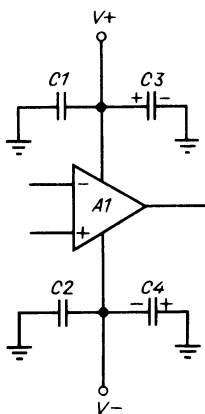


Рис. 24.24. Схема надежного шунтирования шин питания.

Каждая шина питания должна содержать по крайней мере один шунтирующий конденсатор, предпочтительнее два (рис. 24.24). Конденсаторы C1 и C2 емкостью 0,1 мкФ каждый используются для развязки по высокой частоте. Конденсаторы C3 и C4 имеют большую емкость (обычно от 4,7 до 10 мкФ) и используются для развязки по низкой частоте. Как правило, для этого применяются танталовые электролитические конденсаторы.

Почему используются два конденсатора? Дело в том, что электролитические конденсаторы плохо работают на высоких частотах. Поэтому мы вынуждены подключать параллельно конденсатору меньшей емкости (работающему на высоких частотах) конденсатор большей емкости. Однако во многих случаях достаточно одного конденсатора емкостью 0,1 мкФ.

Усилители особого назначения на основе ИС

Несколько фирм выпускают предусилители на основе ИС, специально предназначенные для работы в звуковых системах. Типичными являются приборы LM-381 и LM-382 (подробности можно найти в справочнике фирмы National Semiconductor). На рис. 24.25 показаны две схемы с использованием усилителя LM-381.

Схема LM-381 сходна с обычным ОУ, но в ней применяется однополярное питание. На рис. 24.25,а представлен широкополосный звуковой предусилитель с низким уровнем искажения. При указанных номиналах коэффициент усиления по напряжению составит 10, а полный коэффициент нелинейных искажений - менее 0,05%. Частотная характеристика устройства является плоской во всем звуковом диапазоне, вплоть до частоты отсечки усилителя.

На рис. 24.25,б представлен предусилитель для магнитной головки, используемый во многих кассетных магнитофонах. Сигнал с магнитной головки подается на вход усилителя LM-381 через конденсатор емкостью 0,1 мкФ. Из-за низкого входного смещения предусилителя дополнительное сопротивление между неинвертирующим входом и землей не требуется. Во многих схемах такое сопротивление требуется для предотвращения зарядки конденсатора входным током смещения. Нижняя граничная частота схемы определяется резистором R3 и конденсатором C2 согласно выражению

$$F = 1\,000\,000 / 6,28 R_3 C_2,$$

где F - нижняя граничная частота по уровню

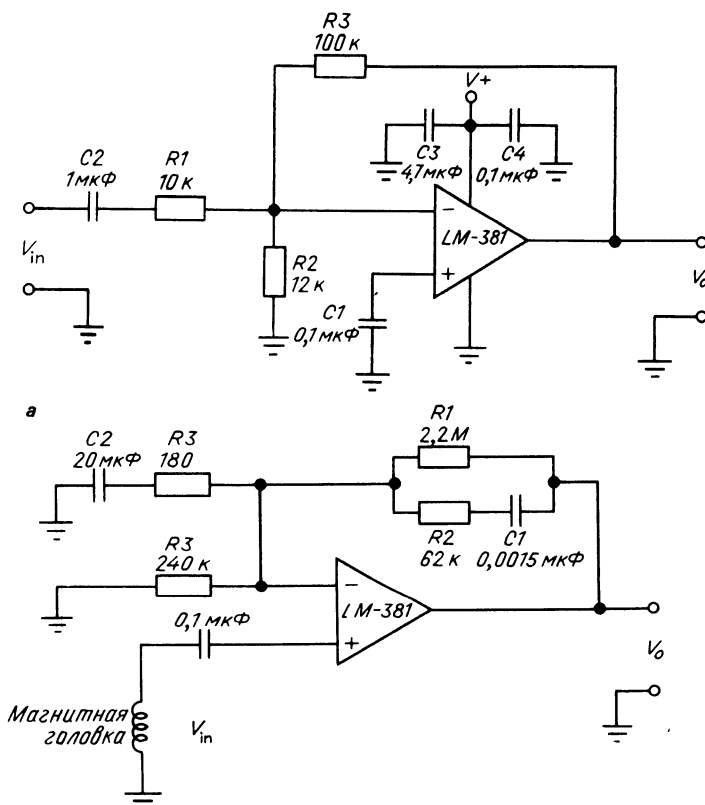


Рис. 24.25. Предусилители на основе ИС LM-381. а - универсальная схема, б - предусилитель для магнитной головки.

-3 дБ в герцах, $C2$ - емкость в микрофарадах, $R3$ - сопротивление в омах.

При номиналах $R3$ и $C2$, указанных на рис. 24.25,б, $F = 45$ Гц. Форма частотной характеристики усилителя согласована с характеристиками магнитной ленты.

Предусилители на основе ОУ

ОУ относятся к наиболее часто используемым ИС. Они просты в обращении, надежны и дешевы. Конструирование схем на ОУ столь просто, что прав был один остряк, сказавший: “хитроум-

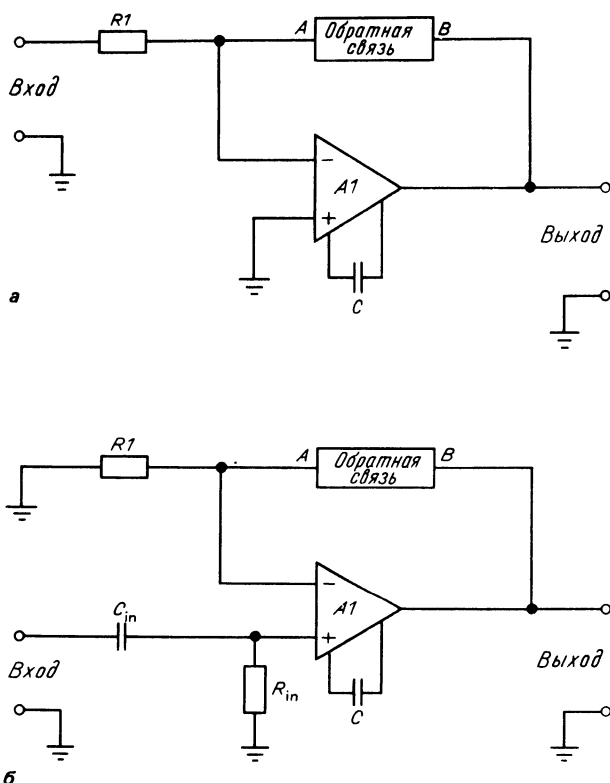


Рис. 24.26. Универсальные звуковые схемы: а - инвертирующий повторитель, б - неинвертирующий повторитель (схему обратной связи см. на рис. 24.27).

ная наука превращается в игру для всех“. Схемы, с которыми работали специалисты, стали доступны начинающим.

На рис. 24.26 показаны базовые схемы на ОУ, применяемые в звуковых системах. На рис. 24.26,а приведена схема инвертирующего повторителя, а на рис. 24.26,б - неинвертирующего повторителя. В инвертирующей схеме выходной сигнал сдвинут по фазе относительно входного на 180° (т. е. обращен), в неинвертирующей оба сигнала находятся в фазе. В обоих случаях усиление задается входным сопротивлением $R1$ и цепью обратной связи.

Несколько популярных схем обратной связи показано на рис. 24.27. Схема на рис. 24.27,а соответствует широкополосному усилителю, частотная характеристика которого ограничивается собственной шириной полосы. Ширину полосы можно прибли-

женно определить как произведение усиления на ширину полосы данного прибора. Этот параметр представляет собой частоту, на которой коэффициент усиления падает до единицы:

$$F_t = \text{Усиление} \times \text{Ширина полосы.}$$

С помощью этого параметра можно подобрать требуемый ОУ. Например, предположим, что необходима ширина полосы 20 000 Гц при коэффициенте усиления 150, тогда $F_t = 150 \times 20\,000 = 3\text{ МГц}$.

С другой стороны, с помощью этого соотношения можно вычислить максимальную рабочую частоту для любой схемы, если параметр F_t известен. Например, предположим, что имеется ОУ с $F_t = 1\text{ МГц}$ и коэффициентом усиления 100. Максимальная рабочая частота в этом случае равна $F_t / \text{Коэффициент усиления} = 3\text{ МГц} / 100 = 30\text{ кГц}$.

Схема обратной связи, представленная на рис. 24.27,б, дает плоскую частотную характеристику на низких частотах, как в предыдущем случае. Выше некоторой частоты коэффициент усиления спадает по закону -6 дБ на октаву. Граничная частота по уровню -3дБ дается выражением

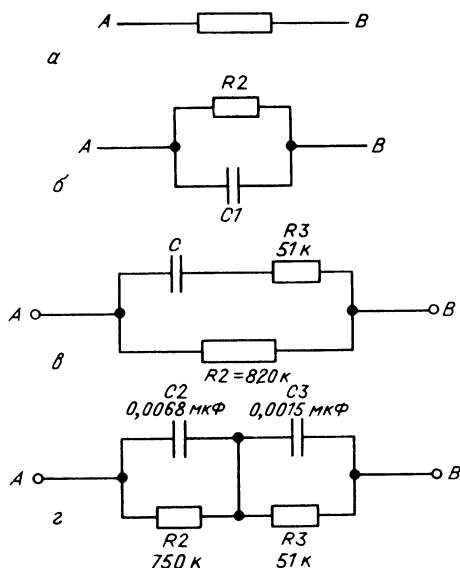


Рис. 24.27. Типичные схемы обратной связи для усилителей на рис. 24.26: а - универсальная, б - со спадом на заданной частоте, в - для магнитной головки, г - для звукоснимателя.

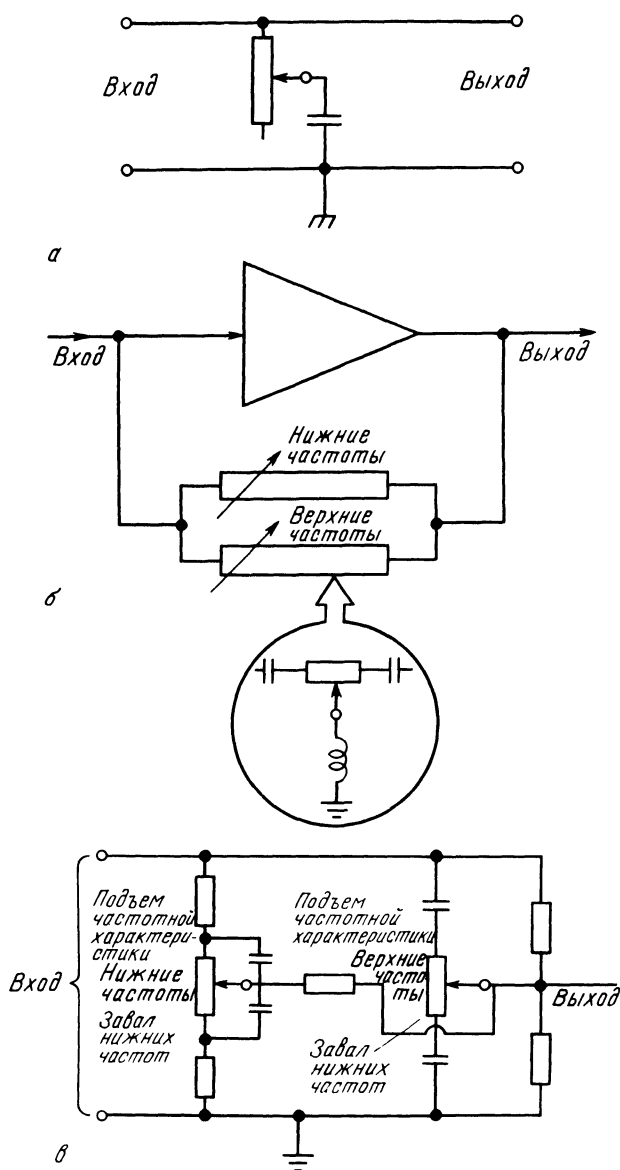


Рис. 24.30. Схемы регулировки тембра: а - контроль верхних частот, б - фильтр в цепи обратной связи, в - схема Baxandall.

$$F = 1\,000\,000 / 6,28 R_2 C_1,$$

где F - частота в герцах, R_2 - сопротивление в омах, C_1 - емкость в микрофарадах.

Другие схемы обратной связи используются в специализированных предусилителях: схема, показанная на рис. 24.27,в - в магнитофонных предусилителях, а на рис. 24.27,г - в предусилителях для проигрывателей.

ОУ обычно имеют биполярное питание. Когда необходимо однополярное питание, можно рекомендовать схему, изображенную на рис. 24.28. Здесь вход питания V_- заземлен, а V_+ соединен с однополярным источником питания. Рабочая частота неинвертирующего входа смещена посередине между потенциалом V_+ и потенциалом земли с помощью делителя напряжения R_3/R_4 . Сопротивления R_3 и R_4 могут лежать в пределах от 2 до 100 кОм, наиболее распространенное значение 3,3 кОм.

В такой схеме имеется проблема, связанная с наличием постоянного смещения на инвертирующем входе и выходе усилителя. Чтобы предотвратить влияние напряжения смещения на другие каскады, следует ввести в схему разделительные конденсаторы. Конденсатор C_1 используется на входе схемы и предотвращает воздействие постоянного напряжения точки А на источник входного сигнала. Выходной сигнал проходит через конденсатор C_2 , который блокирует постоянное напряжение смещения.

На рис. 24.29 приведена схема стереопреусилителя на ОУ. В те времена, когда единственным поставщиком кристаллов была фирма Motorola, усилитель обозначался MC-1303. Теперь эта ИС выпускается многими фирмами и имеет обозначение LM-1303. Кристалл содержит два ОУ, которые полностью независимы, за исключением общих шин питания V_+ и V_- .

СХЕМЫ РЕГУЛИРОВКИ ТЕМБРА

Схемы регулировки тембра позволяют изменять частотную характеристику предусилителя звуковых частот. В некоторых схемах контроль осуществляется одним регулятором, в других - контроль верхних и нижних частот производится отдельно. На рис. 24.30 представлено несколько схем регулировки тембра.

Схема, изображенная на рис. 24.30,а, представляет собой регулятор верхних частот, применяемый в дешевых приборах. Эта схема наиболее проста и наименее желательна. Она состоит из двух элементов, соединенных последовательно и подключенных параллельно сигнальным шинам. Два элемента образуют схему отсечки верхних частот, которая слабо имитирует эффект увеличения уровня басовых частот за счет уменьшения уровня верхних частот. К сожалению, данная схема, хотя и проста, но

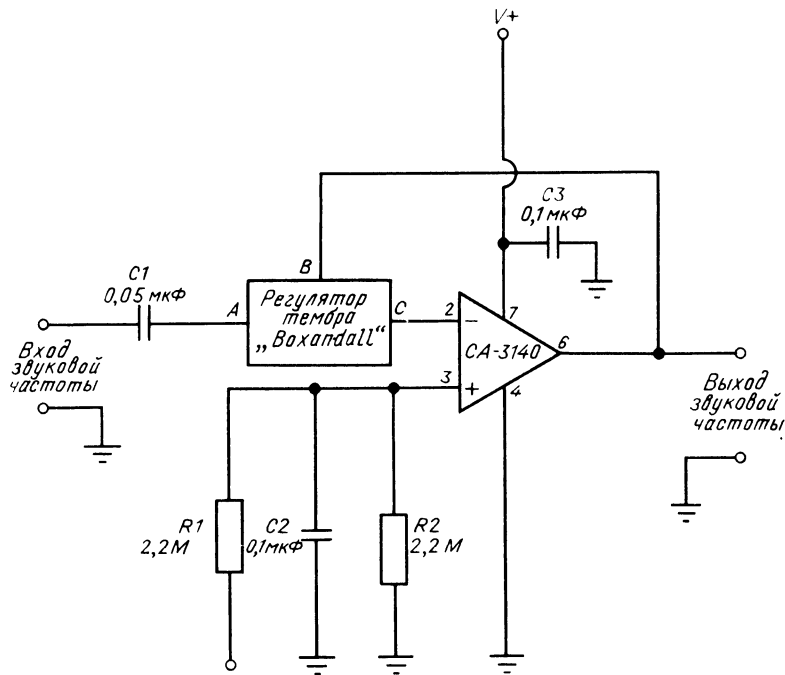


Рис. 24.31а. Звуковой предусилитель с регулятором тембра.

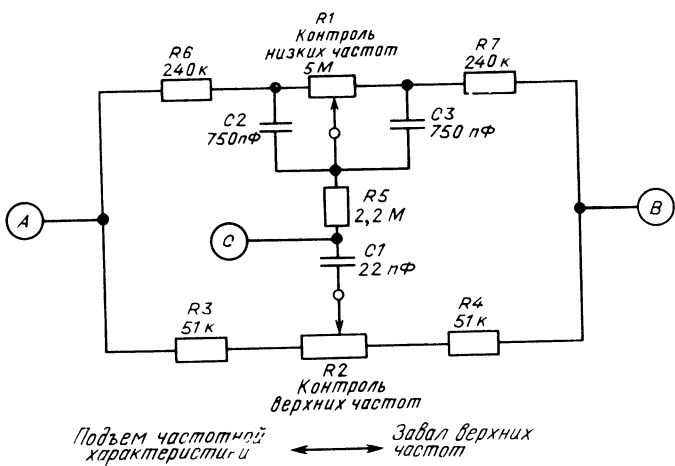


Рис. 24.31б. Схема обратной связи Baxandall.

имеет существенный недостаток - она уменьшает амплитуду сигнала.

Другой способ регулировки тембра показан на рис. 24.30,б. Здесь в цепи отрицательной обратной связи имеются две частотно-избирательные RC- или RLC-схемы, что позволяет осуществлять частотно-избирательное усиление. На вставке рис. 24.30,б представлен вариант с RLC-схемой.

Схема регулировки тембра Baxandall (рис. 24.30,в) используется в большинстве высококачественных звуковых предусилителей. Она включает два частотно-избирательных RC-каскада для нижних и верхних частот. Каждый регулятор осуществляет контроль в пределах собственной частотной полосы, увеличивая или уменьшая пропускание.

На рис. 24.31а показана реализация регулировки тембра предусилителя на основе схемы Baxandall. В предусилителе используется инвертирующий повторитель с ОУ типа CA-3140 с однополярным питанием. Резисторы R1 и R2 задают потенциал смещения неинвертирующего входа $V+/2$. Номиналы резисторов существенно выше, чем в некоторых других ОУ, из-за очень высокого входного импеданса ОУ типа CA-3140. Трехвыводная схема регулировки тембра Baxandall, показанная на рис. 24.31б, в основном сходна со схемой на рис. 24.30,в и подключена, как показано на рис. 24.31а. Эта схема обеспечивает подъем и завал как нижних, так и верхних частот в пределах 20 дБ.

ГЛАВА 25

НЕКОТОРЫЕ СПЕЦИАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ПРИЕМА

Качество радиосвязи зависит от того, как происходит распространение радиоволн между передающей и приемной антеннами. Казалось бы, это очевидно, но тем не менее канал передачи очень важен для радиосвязи. Многие проблемы, с которыми сталкиваются техники, напрямую связаны с проблемами распространения. Прежде чем перейти к примерам, дадим краткий обзор распространения радиоволн.

ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЕ ПОЛЕ

Радио- и телевизионный сигналы - это электромагнитные волны, точно такие же, как видимый свет, инфракрасное и ультрафиолетовое излучение, только другой частоты, или длины волны. Электромагнитные волны представляют собой два взаимно перпендикулярных осциллирующих поля (рис. 25.1а), распространяющихся вместе. Одно поле электрическое, другое - магнитное.

В теории антенн и распространения радиоволн используется понятие "изотропный источник". В соответствии с этим понятием излучатель (т. е. антенна) представляет собой очень маленький сферический объект, излучающий одинаково во всех направлениях. Таким образом, радиоволна представляет собой сферу с изотропно излучающей антенной в центре. По мере распространения волны от источника эта сфера непрерывно увеличивается. Если на большом расстоянии от центра мысленно вырезать небольшой участок движущегося волнового фронта, то можно считать его плоским, как на рис. 25.1б, а векторы электрического и магнитного полей были бы расположены под прямым углом друг к другу.

Поляризация электромагнитной волны по определению совпадает с направлением электрического поля. На рис. 25.1а поляризация вертикальная, так как электрическое поле вертикально по отношению к земле. Если это поле перекоммутировать (повернуть на 90°), то поляризация станет горизонтальной.

Эти обозначения удобны еще и тем, что говорят нам о типе

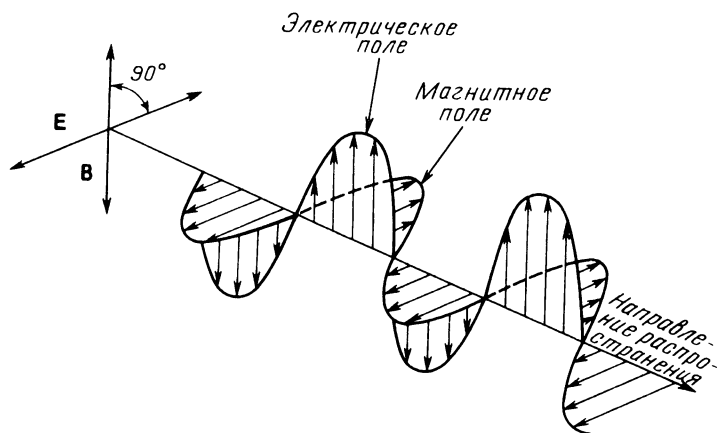


Рис. 25.1а. Электромагнитная волна складывается из ортогональных электрической и магнитной волн.

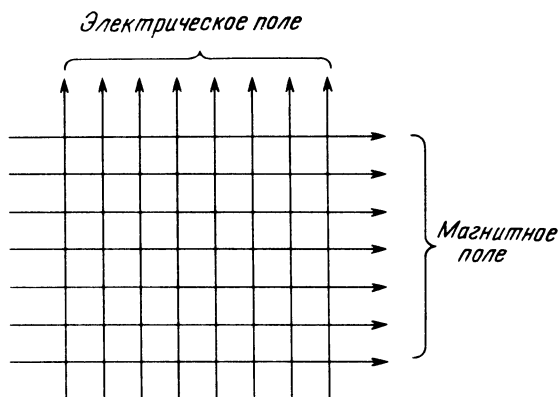


Рис. 25.1б. Небольшая область волнового фронта, на которой показаны электрическое и магнитное поля, перпендикулярные друг другу.

используемой антенны: вертикальные антенны генерируют вертикально поляризованный сигнал, а горизонтальные - горизонтально поляризованный. В некоторых учебниках ошибочно утверждается, что антенны не могут принимать сигнал противоположной поляризации. Это утверждение бессмысленно, хотя возможны потери до 20 дБ при приеме УВЧ или микроволнового диапазона.

Электромагнитная волна распространяется со скоростью света, равной 300 000 км/с. Чтобы представить эту скорость, скажем, что луч света, испущенный с поверхности Солнца, достигает Земли через 8 мин, а земной радиосигнал за 1 с облетит землю 7 раз. В плотной среде скорость распространения уменьшается, но в воздухе скорость электромагнитного излучения близка к скорости света в вакууме, поэтому для обеих сред используется одно и то же значение.

РАСПРОСТРАНЕНИЕ РАДИОВОЛН

Поскольку электромагнитное излучение представляет собой волны, оно обладает волновыми свойствами. На рис. 25.2а и б проиллюстрированы некоторые волновые свойства света и радиоволн: отражение, рефракция и дифракция. Все три явления играют роль в распространении радиоволн в различных комбинациях.

Отражение и рефракция (преломление) показаны на рис. 25.2а. Отражение радиоволны происходит тогда, когда она наталкивается на более плотную среду, подобно тому как свет отражается зеркалом. Падающая волна (показан один луч) попадает на границу раздела между менее плотной и более плотной средами под некоторым углом падения и отражается под точно таким же углом, называемым углом отражения. Поскольку эти углы равны, часто можно проследить по радио- или телевизионному сигналу, откуда он пришел.

Рефракция происходит тогда, когда падающая волна прони-

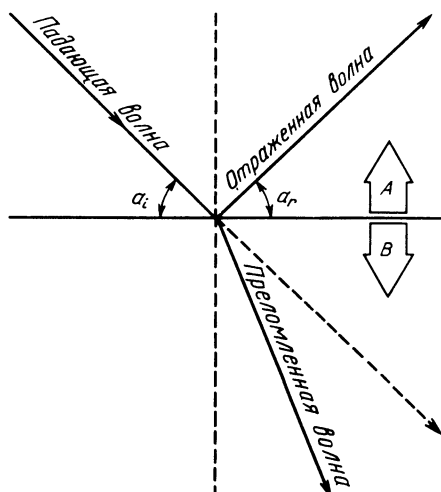


Рис. 25.2а. Отражение и рефракция волн.

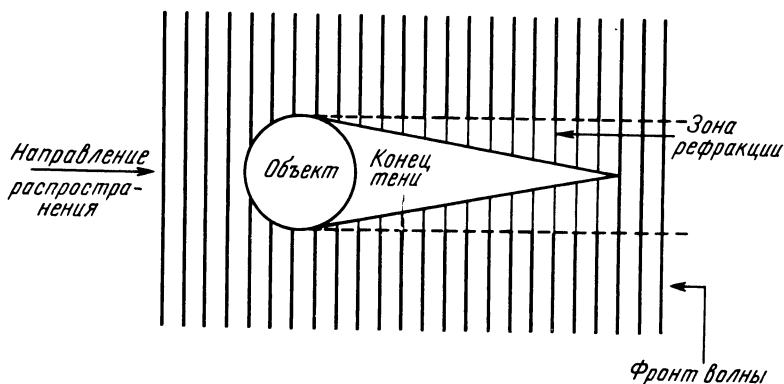


Рис. 25.26. Дифракция.

кает в область другой плотности и при этом меняются ее скорость и направление. Угол преломления определяется отношением плотностей двух сред. Если плотности в областях В и А сильно различаются, то преломление велико. В радиосвязи двумя различными средами могут быть слои воздуха с различными плотностями. В одной и той же системе одновременно возможны и отражение и рефракция. Рефракция показана на рис. 25.26. Пусть распространяющийся волновой фронт наталкивается на непрозрачный объект (например, железобетонное здание). Зона тени позади здания не просто перпендикулярна фронту волны, но имеет форму конуса, так как волна огибает здание. В зоне дифракции между “конусом молчания” и зоной прямого распространения сигнал очень слаб, но все же отличен от нуля. На практике и в зоне молчания сигнал тоже никогда не бывает нулевым. Отраженные сигналы, рассеянные от других источников, будут попадать в зону тени.

ТРАЕКТОРИИ РАДИОВОЛН

Радиосигнал может распространяться в виде поверхностных волн, прямых волн, в тропосфере и ионосфере. Поверхностная и прямая волны - это “земные волны”, но ведут они себя по разному и поэтому требуют отдельного рассмотрения. Поверхностные волны распространяются вдоль земной поверхности. В зависимости от частоты они подвержены ослаблению в результате поглощения грунтом. Поскольку поглощение увеличивается с частотой, амплитудно-модулированные волны (от 540 до 1620

кГц) распространяются дальше, чем в диапазоне 11 м (27 МГц).

Прямая волна также распространяется вдоль земной поверхности, но она излучается антенной, высота которой составляет много длин волн. Прямые волны не контактируют с земной поверхностью. ОВЧ, УВЧ и микроволновые сигналы - это обычно прямые волны. Однако во многих случаях такая волна складывается из двух компонент - падающей и отраженной (рис. 25.3).

Тропосферную волну часто путают с прямой волной, но на практике ее свойства сильно отличаются. Тропосфера - это область атмосферы между земной поверхностью и стратосферой на высоте от 6 до 10 км. Таким образом, все земные волны распространяются в тропосфере. Но из-за особых свойств распространения, связанных главным образом с погодными условиями на больших высотах, следует рассматривать распространение в тропосфере отдельно.

Ионосфера - это область земной атмосферы, расположенная над стратосферой на высоте 50 - 300 км от поверхности Земли. Особенность ионосферы состоит в том, что содержащиеся в ней молекулы газа (кислорода и азота) могут ионизироваться солнечным излучением и другими источниками энергии. Электрон имеет отрицательный заряд, поэтому нейтральный атом, потерявший электрон, становится положительным ионом. Плотность ионосферы так низка, что ионы могут проходить большие расстояния, прежде чем столкнутся с противоположным зарядом и рекомбинируют. В результате ионосферный газ остается ионизо-



Рис. 25.3. Траектории земных волн: тропосферная, прямая и отраженная.

ванным в течение большей части дня и даже после захода солнца. На меньших высотах плотность воздуха больше и рекомбинация там происходит быстро. На этих высотах ионизация падает почти до нуля сразу же после захода солнца и никогда не достигает значительного уровня, даже в местный полдень.

Ионосферные волны распространяются путем нескольких последовательных отражений между ионосферой и землей - так называемые скачки. Благодаря этим скачкам средние, короткие и очень короткие волны могут распространяться на очень большие, иногда межконтинентальные расстояния.

РАСПРОСТРАНЕНИЕ ЗЕМНОЙ ВОЛНЫ

Как следует из названия, земная волна распространяется вдоль земли (или по крайней мере вдоль поверхности). Имеются два типа земных волн: прямые и поверхностные. Прямая волна не касается земли. В результате в ясную погоду она ослабляется с расстоянием так же, как в свободном пространстве. Конечно, в диапазоне ОВЧ атмосферные условия усиливают ослабление по сравнению со свободным пространством. Поверхностная волна подвержена такому же ослаблению, как прямая волна, плюс дополнительные потери из-за поглощения землей. Это ослабление связано с резистивными потерями в проводящей земле. Другими словами, радиосигнал нагревает землю!

Ослабление поверхностной волны зависит от частоты и тем больше, чем больше частота. При амплитудно-модулированном вещании поверхностная волна распространяется примерно на 150 км. Однако на волне 11 м (27 МГц) ослабление столь велико, что связь часто ограничена дальностью 30 км. Обычно станции, вещающие в высокочастотном диапазоне, слышны на всем континенте, а местные станции - только в пределах от 40 до 50 км.

Связь на обоих типах земных волн зависит от длины волны, высоты передающей и приемной антенн, расстояния между антеннами, характера поверхности и погодных условий вдоль радиотрассы.

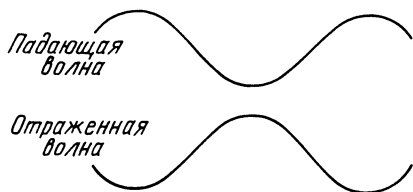


Рис. 25.4. При сложении падающей и отраженной волн сигнал обращается в нуль.

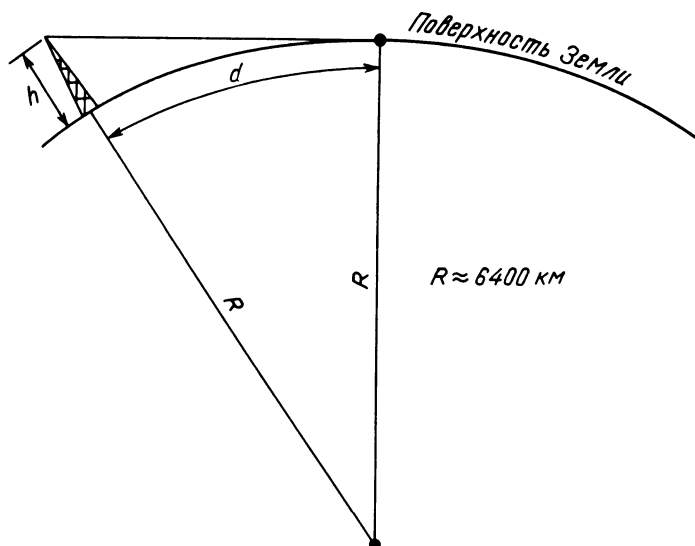


Рис. 25.5а. Геометрия расчета радиогоризонта.

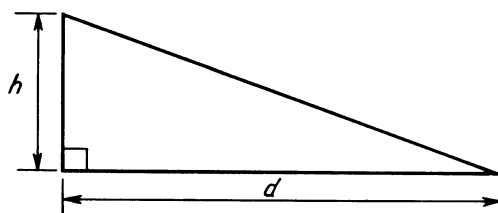


Рис. 25.5б. Упрощенная геометрия

Связь на земных волнах подвержена также другим факторам, особенно на ОВЧ и более высоких частотах. Прямая волна состоит из двух волн - падающей и отраженной. Если обе эти компоненты попадают в приемную антенну, они алгебраически складываются, усиливая или ослабляя сигнал. Обычно эти компоненты смещены по фазе, так как длина их траекторий различна. В точке отражения разность фаз может составлять 180° (особенно если падающая волна горизонтально поляризована), как на рис. 25.4. В этой ситуации применимо следующее общее правило:

1. Если сдвиг фаз равен нечетному числу полувольт, то обе компоненты складываются и сигнал усиливается.

2. Если сдвиг фаз равен целому числу полувольт, то компоненты вычитаются и сигнал ослабляется (рис. 25.4).

3. Если сдвиг фаз отличается от полуволны, то сигналы складываются или вычитаются в соответствии с поляризацией или амплитудой.

На ОВЧ и более высоких частотах дальность прямой волны ограничена так называемым лучом зрения. Теоретически предел дальности связи будет видимый горизонт. Однако известно, что радиогоризонт на 60% дальше географического горизонта. Это явление обусловлено искривлением траектории радиоволны в атмосфере. Хотя существуют более совершенные модели, можно пользоваться традиционной моделью радиогоризонта (рис. 25.5а). Расстояние d - это искривленная траектория вдоль поверхности Земли. Но радиус Земли равен 6400 км, т. е. много больше высоты антенны h , поэтому можно рассмотреть треугольник, показанный на рис. 25.5б. Дополнительное предположение для тригонометрических выкладок: радиорadius Земли равен $4/3$ ее физического радиуса.

Расстояние d находится из выражения

$$d = 1,42 h^{1/2},$$

где d - расстояние до радиогоризонта в сухопутных милях (1609 м), h - высота антенны в футах (0,3 м).

ПРИМЕР. Высота антенны, излучающей на высоте 150 МГц, равна 150 футов (45 м). Вычислите радиогоризонт этой системы.

РЕШЕНИЕ.

$$d = 1,42 h^{1/2} = 1,42 \times 150^{1/2} = 1,42 \times 12,25 = 17,4 \text{ мили} = 17,4 \times 1,6 \text{ км} = 27,8 \text{ км}.$$

ТРОПОСФЕРНОЕ РАСПРОСТРАНЕНИЕ

Тропосфера - это область земной атмосферы между поверхностью Земли и стратосферой на высоте от 6 до 10 км. Тропосферное распространение радиоволн связано с рефракцией. Напомним, что рефракция света или радиоволн имеет место тогда, когда волна пересекает слои различной плотности. Тогда траектория волны искривляется пропорционально изменению плотностей. Обнаруживаются две типичные ситуации, особенно для УКВ-диапазона. Во-первых, плотность воздуха падает с высотой, поэтому верхняя часть пучка радиоволны обычно движется немного быстрее, чем нижняя часть, и преломляется слабее. Вследствие этого волна распространяется несколько дальше расчетного радиогоризонта. Это явление называется нормальной рефракцией.

Существует еще и сверхрефракция, которая наблюдается в тех местах земного шара, в которых теплый воздух с суши перемещается над более холодным морем. Пример таких областей

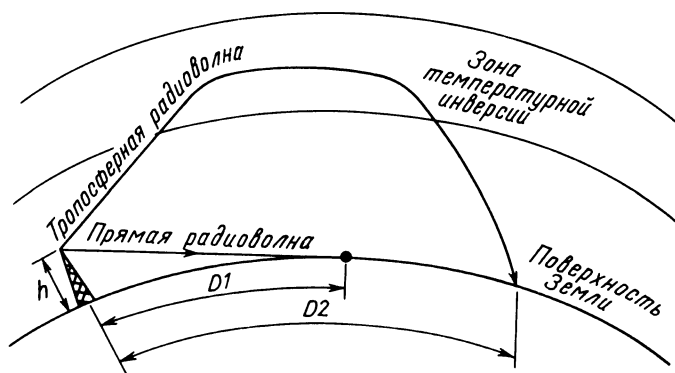


Рис. 25.6. Волноводное распространение радиоволн.

- пустыни, граничащие с большими водными пространствами: Аденский залив, южная часть Средиземного моря, Тихий океан вблизи побережья Калифорнии. В этих областях дальность связи на УКВ достигает 300 км.

Во-вторых, рефракция связана с погодой. Эта форма распространения радиоволн, называемая волноводной, является специальным случаем сверхрефракции (рис. 25.6). В результате испарения морской воды в атмосфере образуются области инверсии температуры, т. е. воздушные слои, в которых температура выше, чем в нижележащих слоях. (Обычно температура падает с высотой, но на границе инверсной области она возрастает.) Инверсные слои образуют волновод. На рис. 25.6 D_1 - это расстояние до нормального радиогоризонта, а D_2 - дальность волноводного распространения.

Благодаря волноводному распространению осуществляется радиосвязь от ОВЧ до микроволнового диапазона с практическим нижним пределом 50 МГц и плохо определенным верхним пределом до 10 ГГц. Операторы радиолокаторов и другого микроволнового оборудования сообщали о наблюдениях волноводного распространения даже на еще больших частотах.

Для волноводного распространения существенно расположение антенны. Как приемная, так и передающая антенна должна находиться внутри волновода или излучать под таким углом, чтобы сигнал попадал в волновод (обычная ситуация при любительской радиосвязи). Благодаря волноводному распространению дальность радиосвязи может достигать 4000 км. В некоторых областях Земли часто наблюдается волноводное распространение: между Великими озерами и Атлантическим побережьем; между Ньюфаундлендом и Канарскими островами; через Мексиканский

залив от Флориды до Техаса; между Ньюфаундлендом и Северной и Южной Каролиной; между Калифорнией и Гавайскими островами; между островом Вознесения и Бразилией.

Другое условие распространения наблюдается над полярными областями, где более холодный воздух с суши перемещается над более теплым морем. Это явление, называемое субрефракцией, уменьшает радиогоризонт на 30 - 40 %.

Все типы тропосферного распространения, зависящие от температуры воздуха и влажности, подвержены суточным вариациям, связанным с местным заходом и восходом солнца. Удаленный сигнал за сутки может меняться на 20 дБ. Этим объясняется, почему телевизионные сигналы, сигналы ЧМ-радиовещания и УКВ радиосвязи иногда могут распространяться на большие расстояния, особенно вдоль морского побережья, а иногда очень слабы.

НЕКОТОРЫЕ ПРОБЛЕМЫ ПРИЕМА ОВЧ

ЧМ-приемники подвижных объектов в течение долгого времени были в центре внимания автомобильной электроники и рынка средств связи. Разумеется, наибольшим спросом пользовались моно- и стереоЧМ-приемники, но теперь тысячи автомобилей снабжены либо контрольным приемником, либо ЧМ-приемопередатчиком.

ЧМ-приемники подвижных объектов всех типов не лишены недостатков. Техники мастерских по ремонту радиоаппаратуры с конца 50-х годов жалуются, что недовольство владельцев связано с тем, что торговые работники слишком приукрашивают продаваемую ими продукцию. В этом разделе мы опишем наиболее общие проблемы ЧМ-приемников подвижных объектов, чтобы вы сами могли установить, связано ли какое-либо нарушение с внешними помехами или с неисправностью аппаратуры, требующей ремонта.

ПОДАВЛЕНИЕ ШУМОВ

Часто утверждают, что ЧМ-радиовещание не подвержено шумам. Причем это утверждение часто относится не только к радиовещательным приемникам, но и распространяется на контрольные и связные приемники. Без некоторого разъяснения это утверждение абсолютно ошибочно. Прием ЧМ-сигналов меньше подвержен шумам, чем АМ-сигналов, но только при весьма специфических условиях ЧМ-сигнал практически не будет содержать шума. Дело в том, что ЧМ-приемник снабжен амплитудным ограничителем.

На рис. 25.7 схематически показано, как ЧМ-приемник

уменьшает или уничтожает шум. Обратите внимание, что когда через ограничитель проходит мощный сигнал, его пики срезаются. Поскольку большинство искусственных и естественных статических шумов приводят к амплитудной модуляции сигнала (истинная частотная модуляция сигнала шумом возможна, но крайне редко), шум удаляется вместе с пиками сигнала. Если сигнал подвержен максимальному ограничению, то шум почти не попадает в приемник.

На рис. 25.8 показана ситуация, когда шум проходит в приемник и затем попадает на аудиовыход. Пусть приемник на-

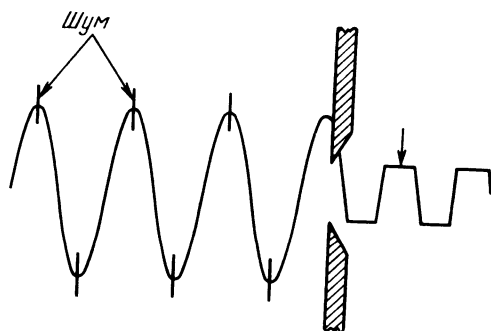


Рис. 25.7. При ЧМ-приеме шумовая составляющая мощного сигнала срезается.

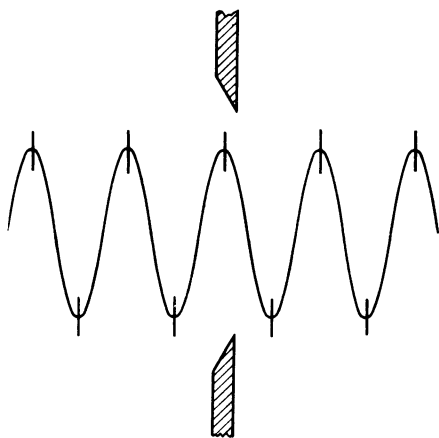


Рис. 25.8. Ограничитель не способен воздействовать на слабый сигнал.

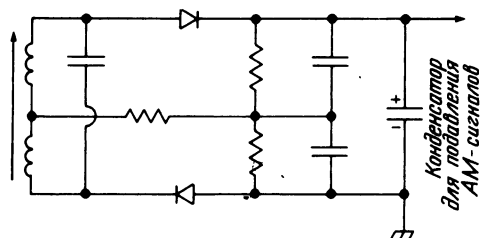


Рис. 25.9. Демодулятор ЧМ-сигналов.

строен либо на очень слабую, либо на очень удаленную станцию. Если принимаемый сигнал ниже предела чувствительности приемника, то цепь ограничителя не окажет на него никакого воздействия. Если принимаемый сигнал ниже уровня, при котором работает ограничитель, то он будет работать как усилитель.

Даже если ограничитель отсутствует, шум, производимый ЧМ-приемником, меньше, чем АМ-приемником. Это обусловлено несколькими факторами, которые способствуют уменьшению шума в ограничителе. Один из них - цепь коррекции предскажений - обычно включается между выходом ЧМ-детектора и входом усилителя звуковых частот. В некоторых радиовещательных приемниках используется 75 мкс-коррекция. В связных приемниках используется коррекция -6дБ на октаву, чтобы компенсировать предскажения, введенные в сигнал при передаче для улучшения отношения сигнала к шуму.

Другой фактор - меньшая чувствительность детектора к амплитудным вариациям, чем к частотным вариациям. В некоторых имеется даже устройство для подавления амплитудных вариаций. Например, детектор отношений снабжен для этой цели конденсатором большой емкости (рис. 25.9). У многих приемников нет отдельного ограничителя, даже если отсутствует устройство для подавления АМ-сигналов. В часто используемом интегральном квадратурном детекторе ИС действует как эффективный ограничитель, хотя отсутствует внешний ограничительный каскад. Некоторые ИС квадратурные детекторы хорошо подавляют АМ-сигнал.

ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ

Техники по ремонту передвижных радиостанций и автомобильных радиоприемников часто слышат жалобы, что ЧМ-приемники не способны принимать далекие радиостанции. Владельцы

радиоприемников жалуются, что им обещали, что они без всякого труда смогут слушать музыку, передаваемую ЧМ-стереорадиостанциями, на расстоянии до 60 км, если только купят автомобильный ЧМ-стереорадиоприемник данного производителя. В салоне проводилась демонстрация работы, и покупатель мог удостовериться, что станция звучит громко и чисто. Естественно, покупатель расстраивается, когда открывает, что купленный приемник оказался обычным громкоговорителем без намека на стереозвучание. Приемник стоимостью 400 долл. не способен обеспечить желаемое звучание сигналов, принятых с расстояния 60 км. Дело тут в чувствительности.

Чувствительность - это мера способности радиоприемника принимать слабые сигналы. Радиус надежного приема большинства автомобильных радиоприемников - 30 км для моно вещания и 25 км для стереовещания. Причина такого различия между стерео- и моно вещанием состоит в том, что управляющий сигнал 19 кГц и сигналы правого и левого каналов каждый модулируют только 10 % сигнала ЧМ-передатчика.

Прием любого ЧМ-сигнала - связного или радиовещательного - ограничен тем, что ОНЧ и УНЧ, используемые в частотной модуляции, распространяются в пределах прямой видимости. Траектории более низкочастотных сигналов, используемых при амплитудной модуляции и в коротковолновом радиовещании, искривляются ионосферой и "приземляются" на расстоянии многих тысяч километров. Коэффициент преломления ОНЧ и УНЧ не достаточен для отражения их обратно к Земле и они уходят в космическое пространство. В ОВЧ и УВЧ диапазонах используются только земные волны.

Поскольку распространение ОВЧ и УВЧ сигналов ограничено земными волнами, наибольшее расстояние их надежного приема чуть превышает расстояние до оптического горизонта. Это распространение в пределах прямой видимости, хотя сам термин вводит в заблуждение. Часто станции принимаются за радиогоризонтом. Дело в том, что радиолуч зрения является функцией высоты антенны приемника или передатчика над поверхностью Земли. Поскольку антенны движущихся объектов обычно близки к Земле, для приема автомобильным приемником ЧМ-сигналов с большого расстояния передающая антенна должна быть очень высокой. Вот почему операторы передвижных радиостанций обычно арендуют площадки для антенн своих базовых станций на крышах зданий или на радиовещательных башнях. Те, у кого качество приема дома лучше, чем в автомобиле, удачно расположены относительно радиостанции или имеют хорошие антенны. Антенна передвижного приемника - это четвертьволновой вибратор или обычная приемная антенна. Некоторые

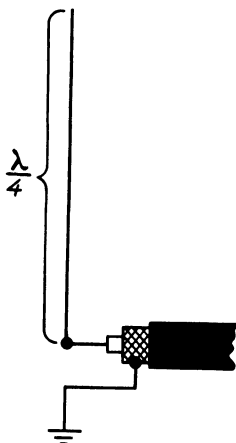


Рис. 25.10. Четвертьволновая гибкая штыревая антенна.

домовладельцы сооружают башни высотой 15 м для своих приемно-передающих антенн. Редко какой подвижный объект может этим похвастаться.

Значительного повышения чувствительности можно достичь, настроив антенну вблизи резонанса. На рис. 25.10 показана типичная четвертьволновая вертикальная антенна. Для приема в полосе ЧМ-радиовещания оптимальная высота составляет от 50 до 80 см в зависимости от частоты. Лучше установить антенну на промежуточной высоте - от 70 до 76 см или же, напротив, на концах диапазона (56 или 80 см) в зависимости от частоты вашей любимой станции. Для всех других диапазонов установите четвертьволновую гибкую штыревую антенну на высоте, найденной по следующей формуле:

$$L \text{ (см)} = 1105,5 / F \text{ (МГц)}.$$

ЗАМИРАНИЕ

Как-то в полдень из местного банка поступил сигнал тревоги. Прибывший на место происшествия наряд полиции установил, что тревога была ложной. Один полицейский остался, чтобы подождать управляющего и отключить неисправную сигнализацию. Когда полицейский припарковался, он обнаружил, что его приемник барахлит, поэтому он связался с диспетчерской и попросил для проверки медленно считать до 10. Пока радио отсчитывало "один, два, три", он переместил автомобиль на какой-нибудь десяток сантиметров и прием восстановился. Это очень ин-

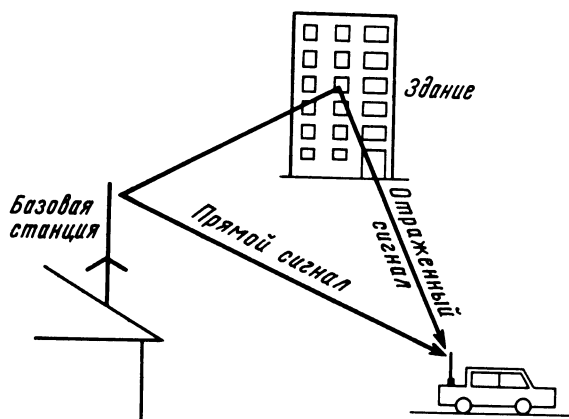


Рис. 25.11. Многолучевое распространение.

интересный случай, так как патрульной машине, использующей ОНЧ-диапазон, достаточно было переместиться всего на десяток сантиметров, чтобы произошло такое изменение в условиях приема.

Хорошо известно другое условие, связанное со способностью ОВЧ/УВЧ-сигналов к волноводному распространению там, где происходит замирание АМ-радиосвязи. ЧМ-сигнал также может поглощаться в волноводе, как и АМ-сигнал, при условии, что волновод достаточно длинный, либо распространение происходит не так, как надо. В деловой части больших городов осуществляются оба эти условия. Причина этого - существование мертвых зон и подавление полезного сигнала, обусловленное многолучевым распространением.

В мертвой зоне сигнал очень слаб или вообще отсутствует. Это может быть вызвано либо многолучевым распространением, либо затенением. Один тип затенения показан на рис. 25.26. Более длинные волны при АМ-радиовещании могут огибать препятствия в отличие от ОВЧ/УВЧ-диапазонов. Поэтому препятствие, например высокое здание, создает зону тени со стороны, противоположной передающей антенне. В деловой части города может быть десяток таких зон.

К сожалению, зоны тени тем больше, чем меньше угол между приемной и передающей антеннами. Точно так же растут тени от предметов с наступлением вечера. Когда в полдень солнце стоит высоко над головой, тени очень короткие. По мере того как солнце садится, тени становятся темнее и длиннее.

Также и в системе радиосвязи зона тени становится резче и больше по мере увеличения расстояния между передающей и приемной антеннами или при уменьшении высоты антенны.

Пример многолучевого приема приведен на рис 25.11. Такой прием имеет место, когда сигнал отражается от препятствия - высокого здания или водонапорной башни - и достигает приемника на несколько секунд позже прямого сигнала. Это же явление вызывает и паразитный отраженный сигнал в телевизионном приемнике. Поскольку этот запаздывающий сигнал не совпадает по фазе с прямым сигналом, эти сигналы будут частично гасить друг друга при встрече в приемной антенне (этот эффект связан с волновой природой радиоизлучения). Когда автомобиль переезжает из одной зоны многолучевого распространения в другую, радиослушатель, сидящий в нем слышит: "фффт-фффт". Техники, работающие с ЧМ-приемниками, иногда называют этот эффект "частоколом". Обратите внимание, что частокол вызывает такой же звуковой сигнал, как неисправная система автоматической подстройки частоты (АПЧ) или разомкнутая система фазовой подстройки частоты (ФАПЧ) местного гетеродина, поэтому необходимо убедиться, что радиоприемник исправен. Эти эффекты будут наблюдаться независимо от того, движется автомобиль или стоит, а эффект многолучевого распространения наблюдается, только когда автомобиль движется. Именно эффект многолучевого распространения заставил полицейского переместить свой автомобиль. Этот эффект зависит от длины волны сигнала и изменяется в пределах примерно четверти длины волны. Так, для полицейской радиосвязи, работающей на частоте 157 МГц, четверть длины волны составляет около 50 см, вот почему достаточно было переместить автомобиль всего на полметра, чтобы восстановить связь. Приемную телевизионную антенну иногда достаточно передвинуть на каких-нибудь полметра в ту или другую сторону, чтобы значительно улучшить качество телевизионного изображения.

Хотя большинство зон молчания ОВЧ/УВЧ находится в сверхцивилизованных областях, они встречаются и за городом на открытых пространствах. Препятствие может находиться в нескольких километрах от того места, где сигналы взаимодействуют в радиоприемнике. Любой тип зоны может локализоваться, где угодно, и составлять всего лишь несколько сантиметров в поперечнике.

Другой пример замирания ОВЧ/УВЧ наблюдается на дороге, проходящей по пересеченной местности (рис. 25.12). На вершине холма сигнал базовой станции отчетливый и громкий, причем даже маломощный автомобильный передатчик легко связывается с базовой станцией. В ложбинах сигналы слабы или от-

сутствуют, и автомобильный передатчик не может связаться с ретранслятором.

ИНТЕРМОДУЛЯЦИЯ

Недалеко от моего дома есть холм, который техники называют "Интермод-Хилл". Это одна из самых высоких точек в графстве, поэтому на нем построены радиобашни. Кроме того, две главные башни щетинятся антеннами подвижных вещательных станций, хозяева которых арендовали место на башне, чтобы увеличить дальность связи. Итак, на башне имеются две ЧМ-вещательные станции мощностью 50 кВт, одна АМ-вещательная станция мощностью 1000 Вт, микроволновые радиорелейные станции, несколько десятков подвижных вещательных станций в диапазоне 150 - 950 МГц и абонентские системы поискового вызова. Поблизости имеется госпиталь со своей собственной абонентской системой и системой радиотелеметрии для наблюдения за амбулаторными больными. Все эти сигналы могут взаимодействовать непредсказуемым образом и передавать сигналы в другие каналы. Может генерироваться много паразитных частот в соответствии со следующим правилом:

$$F = MF1 \pm NF2,$$

где M и N - целые числа (1, 2, 3, ...), а F1 и F2 - имеющиеся частоты.

Вообразите себе число возможных комбинаций, когда волны буквально десятков частот бороздят пространство! Способность (или неспособность) подавить эти интермоды служит мерой качества приемника. Важную роль в подавлении интермодуляции играют линейность и динамический диапазон ВЧ-усилителя на входе приемника.

Одна из самых необычных ситуаций, известных автору, имела место в местном госпитале. Там используют систему радиотелеметрии, чтобы следить за состоянием сердечных больных, которые уже вне опасности, но еще требуют наблюдения. Передатчики генерируют ВЧ-излучение мощностью от 1 до 4 мВт, частотно-модулированное сигналом электрокардиограммы пациен-

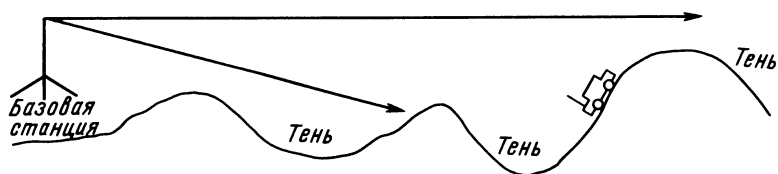


Рис. 25.12. Замирание на пересеченной местности.

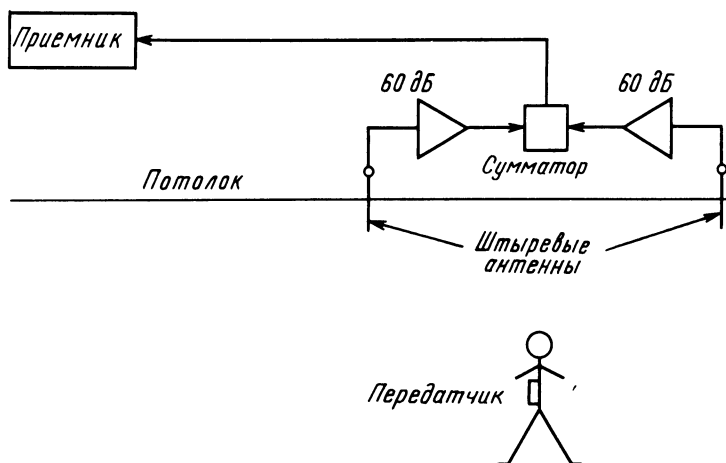


Рис.25.13. ЭКГ радиотелеметрическая система.

та. Уровень сигнала так низок, что к потолку подвешено пять гибких штыревых антенн длиной 43 см, покрывающих пространство из двух коридоров длиной по 45 м. Каждая антенна связана напрямую с усилителем 60 дБ коллективной антенны (передающие каналы локализованы в полосах между видео- и аудионесущими); один из комплексов гибкая штыревая антенна - усилитель расположен прямо над приемным пультом. Однажды в два часа ночи дежурная медсестра позвонила домой радиотехнику и пожаловалась, что ЭКГ Джонса попала в канал Смита. Не совсем поверив ей, он тем не менее приехал в госпиталь. Проверка приемников и телеметрических передатчиков ничего не дала. Наконец, через два часа бесплодных поисков он обратил внимание, что ЧМ-радиоприемник стоит на телеметрическом приемнике меньше чем в полуметре от комплекса антенна - усилитель и играет. Как только он выключил приемник, Джонс вернулся в свой канал! Стоило ему снова включить приемник, как Джонс опять оказался в двух каналах - Смита и своем собственном! Если приемник настраивался на другие волны, проблемы не возникало.

Что же произошло? Гетеродин в сверхгетеродине ЧМ-приемника гетеродинировал сигнал Джонса и производил интермодуляционную частоту в канале Смита. После этого случая в кардиологическом отделении госпиталя было запрещено пользоваться ЧМ-приемниками. Почти по той же причине они запрещены на коммерческих авиалиниях - вызывают помехи в электронной радиоаппаратуре. Конечно, медсестры роптали, но не очень

громко. Все-таки для них главное - это хорошее состояние их пациентов.

ВНУТРЕННЯЯ СВЯЗЬ

Системы радиосвязи все шире используются внутри зданий. Раньше такой тип связи применялся, если только учреждение занимало более одного здания. Теперь все больше учреждений, сотрудники которых поддерживают радиосвязь в пределах одного здания. Это может быть фабрика или склад, где сотрудники поддерживают контакт по радио. В других случаях технические службы здания поддерживают связь с комендантом с помощью портативной дуплексной радиостанции "уоки-токи". Строители-монтажники и рабочие других профессий также поддерживают связь по радио. Когда автор работал в большом госпитале (описанном выше), там было несколько радиосистем: медицинская абонентская, система поискового вызова, тревожная сигна-

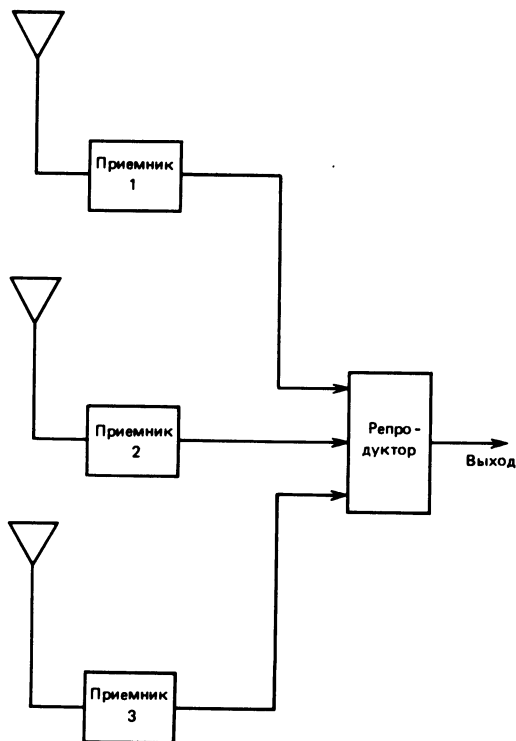


Рис. 25.14. Внутренняя система приема с несколькими приемниками.

лизация и др. Все системы работали в ОВЧ- или УВЧ-диапазонах.

Системы внутренней связи ставят целый ряд проблем: экранирование, затенение, многолучевое распространение, - которые пока еще инженеры не могут преодолеть, несмотря на все усилия. Но отчасти их все же можно решить.

Общая проблема состоит в том, что базовая станция не может принимать сигналы от маломощных портативных передатчиков. Для преодоления этой проблемы в здании устанавливается несколько приемных систем (рис. 25.14) или же целая сеть ВЧ-усилителей, как в системе ЭКГ-телеметрии (рис. 25.13). В системе ВЧ-усилителей используется система звуковоспроизведения для поддержания звукового сигнала на постоянном уровне.

Само собой разумеется, что во внутренней системе связи необходим ретранслятор. Портативные передатчики передают на частоте F_1 и принимают на частоте F_2 , тогда как базовая станция передает на частоте F_2 и принимает на частоте F_1 . В тех частях здания, где локализованы мертвые зоны, устанавливается дополнительная антенна для ретрансляции туда сигнала. Следует принять меры к тому, чтобы вторичный сигнал не интерферировал с главным и не возникало мертвых зон.

Еще один вариант, который часто упускают из виду, - поместить ретранслятор на крыше здания или на башне за его пределами. В результате выноса ретранслятора за пределы здания сигналы, отраженные от высоких зданий, и сигналы, связанные с многолучевым отражением, попадут в зоны молчания внутри здания.

В случае необходимости и наличии свободных частотных диапазонов можно сконструировать сложную систему, обеспечивающую внутреннюю связь.

ОГЛАВЛЕНИЕ

От редакции	5
Предисловие.....	6
Глава 1. Выбор и использование мультиметра	9
Глава 2. Выбор и использование высокочастотных ватт- метров и антенных измерителей КСВН.....	24
Глава 3. Выбор и применение генераторов сигналов для радиосвязи.....	39
Глава 4. Осциллограф	56
Глава 5. Некоторые мысли об организации работы мас- терской	69
Глава 6. Правила техники безопасности.....	76
Глава 7. Поиск и устранение неисправностей.....	84
Глава 8. Поиск и устранение перемежающихся неисправ- ностей	106
Глава 9. Борьба с телевизионными и радиовещательными помехами	114
Глава 10. Заземление.....	124
Глава 11. Охлаждение.....	140
Глава 12. Ремонт электронной аппаратуры с случае попа- дания влаги.....	152
Глава 13. Содержание оборудования по истечении гаран- тийного срока	158
Глава 14. Проверка и ремонт радиоприемников.....	164
Глава 15. Тестирование радиопередатчиков.....	175
Глава 16. Элементы питания в электронных приборах.....	185
Глава 17. Настройка и ремонт ОВЧ/УВЧ приемопередат- чиков	200
Глава 18. Источники питания постоянного тока	222
Глава 19. Поиск и устранение неисправностей в антенных системах: оборудование и методы	256
Глава 20. Понемногу о разном.....	277
Глава 21. Выбор полупроводниковых элементов для за- мены	307
Глава 22. Децибелы	320
Глава 23. Использование цифровых частотомеров.....	326
Глава 24. Операционные усилители	336
Глава 25. Некоторые специальные проблемы приема	379

Учебное издание

Джозеф Карр

**ДИАГНОСТИКА И РЕМОНТ АППАРАТУРЫ РАДИОСВЯЗИ
И РАДИОВЕЩАНИЯ**

Заведующий редакцией проф. А.Н. Матвеев

Редактор М.Я. Рутковская

Художник В.С. Потапов

Художественный редактор В.И. Шаповалов

Технические редакторы Е.В. Алехина, О.Г. Лапко

Корректор Т.М. Подгорная

ИБ 7695

Оригинал-макет подготовлен на персональном компьютере и
распечатан на лазерном принтере в издательстве "Мир"

Подписано к печати 27.06.91. Формат 60 x 90/16.

Бумага офсетная № 1. Гарнитура таймс. Объем 12,50бум.л.

Усл. печ.л. 25,0. Усл. кр.-отт. 25,30. Уч.-изд.л. 23,33.

Изд.№ 8/7806. Тираж 30 000 экз. Зак 1225.

Цена 6р20к

Издательство "Мир"

129820, ГСП, Москва, 1-й Рижский пер., 2

Ордена Трудового Красного Знамени

Московская типография № 7 "Искра революции"

103001, Москва, Трехпрудный пер., 9

6 руб. 20 коп.

Электроника средств связи и радиовещания – это две тесно связанные области, в которых занято большое число техников. Одни обучались в различных технических и военных училищах или в колледжах по специальным программам. Другие прослушали хорошо подготовленные курсы для работников, занятых в электронике. Независимо от уже полученного образования специалисты, занятые в этих областях, ищут пути самообразования, чтобы пополнить свои знания, повысить квалификацию и быть в курсе непрерывно меняющейся технологии. Эта книга подходит как для самообучения, так и в качестве учебника и удовлетворяет всем перечисленным выше потребностям.

ISBN 5-03-002134-5 (русск.)

ISBN 0-13-935348-8 (англ.)