

На главную <http://ivativ.narod.ru/index.html>

**Министерство общего и профессионального образования РФ**  
Брянский государственный педагогический университет  
имени академика И.Г. Петровского

**Иноземцев В.А., Иноземцева С.В.**

***Вводный практикум  
по электронике***



Брянск 1997

ББК 32. 973

И - 67

Иноземцев В.А., Иноземцева С.В. Вводный практикум по электронике / Под ред. В.А. Иноземцева. - Брянск: Издательство БГПУ, 1997. - 78 с.

Пособие предназначено для помощи студентам в усвоении умений и навыков обращения с электро- и радиоизмерительными приборами. В нем рассмотрены вопросы, усвоение которых позволит будущим учителям ориентироваться среди различных электронных устройств, определять их параметры, выбирать режим их работы в соответствии с заданными требованиями. В учебном пособии подробно освещены правила электробезопасности, рассмотрены параметры резисторов, конденсаторов, транзисторов. В нем описана работа различных типов выпрямителей переменного тока, усилителя низкой частоты на биполярном транзисторе, рассмотрено применение осциллографа для измерения параметров электрических сигналов.

### Рецензенты:

Комаров В.А., кандидат физико-математических наук, доцент кафедры общей и экспериментальной физики РГПУ им. А.И.Герцена;

Корнев Б.И., кандидат физико-математических наук, доцент кафедры общей физики БГПУ им. акад. И.Г.Петровского.

Печатается по решению совета физико-математического факультета  
Брянского государственного педагогического университета  
имени академика И.Г.Петровского.

© БГПУ, 1997.

## Содержание

Введение .....	4
I. Правила техники безопасности при работе с электрическим током .....	5
II. Условные обозначения на принципиальных схемах и характеристики радиотехнических элементов .....	17
III. Электрические измерения .....	25
1. Делитель напряжения .....	26
2. Способы подключения электроизмерительных приборов (амперметр, вольтметр) к участку цепи в зависимости от его сопротивления .....	28
3. Последовательная и параллельная схемы омметров .....	29
4. Измерение емкости конденсаторов .....	32
5. Измерение индуктивности катушек .....	33
6. Экспериментальное определение структуры и выводов (эмиттер, база, коллектор) биполярного транзистора .....	34
7. Структурная схема осциллографа .....	38
8. Применение осциллографа для измерения амплитуды и частоты электрических сигналов .....	40
9. Получение вольт-амперной характеристики двухполюсника (резистора, диода) на экране осциллографа .....	42
IV. Монтаж и исследование радиотехнических устройств .....	45
10. Особенности монтажа радиотехнических элементов.....	45
11. Монтаж и исследование двухполупериодного выпрямителя с емкостным фильтром .....	47
12. Параметры и характеристики усилителей электрических колебаний низкой частоты и их измерение .....	53
13. Монтаж и исследование апериодического усилителя низкой частоты на биполярном транзисторе .....	62
14. Химические источники тока (аккумуляторы, гальванические элементы) .....	65
Приложение .....	71
Литература .....	77

## Введение

Проведение практикума по техническому моделированию призвано помочь студентам усвоить умения и навыки применения радиоизмерительных приборов для определения параметров электронных устройств. В ходе практикума студенты обсуждают теоретические вопросы и выполняют экспериментальные задания.

Количество вопросов и заданий определяется преподавателем с учетом уровня подготовки студентов и их индивидуальных особенностей. Ниже приведен **примерный перечень экспериментальных заданий, выполняемых студентами при проведении практикума:**

1. Определить ток срабатывания устройства защитного отключения.
2. Измерить с помощью авометра сопротивление между левой и правой рукой.
3. Проверить исправность предохранителя.
4. Проверить исправность полупроводникового диода.
5. Проверить исправность коаксиального кабеля.
6. Измерить емкость конденсатора.
7. Измерить индуктивность катушки.
8. Экспериментально определить структуру и выводы биполярного транзистора, проверить исправность p-n переходов.
9. Снять по точкам вольт-амперную характеристику полупроводникового диода.
10. Определить сигнальный провод коаксиального кабеля к электронному вольтметру, к электронному осциллографу.
11. С помощью электронного осциллографа ОМЛ-3М измерить амплитуду и частоту переменного напряжения.
12. Сравнить осциллограммы прямоугольных импульсов напряжения на экранах двух осциллографов с существенно различающимися полосами пропускания каналов "У".
13. Получить вольт-амперную характеристику полупроводникового диода на экране осциллографа.
14. Выполнить монтаж и проверить работоспособность двухполупериодного выпрямителя.
15. Снять зависимость постоянной и переменной составляющих выпрямленного напряжения от тока нагрузки.
16. Получить осциллограммы напряжения на выходе двухполупериодного выпрямителя с емкостным фильтром для трех существенно различающихся сопротивлений нагрузки.
17. Определить коэффициент пульсаций выпрямленного напряжения с помощью электронного осциллографа.

18. Выполнить монтаж и проверить работоспособность апериодического усилителя на биполярном транзисторе, установив необходимую рабочую точку транзистора.
19. Снять амплитудную характеристику усилителя электрических колебаний низкой частоты.
20. Снять амплитудно-частотную характеристику усилителя.
21. Определить чувствительность усилителя низкой частоты при коэффициенте гармоник 5-7 %.
22. Определить входное сопротивление усилителя.
23. Определить выходное сопротивление усилителя.
24. Определить номинальную выходную мощность усилителя.
25. Проверить пригодность к эксплуатации гальванических элементов и малогабаритных аккумуляторов.

Примечание: Часть экспериментальных заданий выполняется в виде демонстраций, проводимых преподавателем и студентами.

## **I. Правила техники безопасности при работе с электрическим током**

Одними из важнейших профессиональных умений учителя выступают умения, связанные с обеспечением безопасной жизнедеятельности учащихся. Он должен сам знать правила техники безопасности и соблюдать их, а также сформировать у учащихся потребность в этом.

Нас при проведении практикума будут интересовать прежде всего меры безопасности при работе с электрическим током.

*Действия электрического тока* на организм человека весьма разнообразны. Среди них выделяют:

- тепловое (термическое) действие, проявляющееся в нагреве и ожогах участков тела;
- электролитическое действие, проявляющееся в разложении крови и других органических жидкостей на составляющие элементы (может сопровождаться выделением пузырьков газа и закупоркой сосудов);
- биологическое (физиологическое) действие, проявляющееся в раздражении и возбуждении живых тканей организма, что сопровождается произвольными судорожными сокращениями мышц, в том числе мышц легких и мышцы сердца.

В результате этих действий возможны два вида поражений электриче-

ским током: электрические травмы и электрические удары.

*Электрические травмы* - это четко выраженные местные повреждения тканей. Среди травм различают электрические ожоги, электрические знаки (четко очерченные пятна серого или бледного цвета на поверхности тела), металлизация кожи (проникновение в верхние слои кожи мельчайших частичек металла под действием электрической дуги), электроофтальмия (воспаление наружных оболочек глаз, возникшее в результате сильного воздействия ультрафиолетовых лучей) и механические повреждения.

*Электрический удар* - это результат биологического действия тока, состоящий в возбуждении живых тканей организма при прохождении через них электрического тока, сопровождающийся произвольными судорожными сокращениями мышц. Различают четыре степени электрических ударов в зависимости от исхода воздействия на организм, начиная от легкого, без потери сознания (первая степень) до клинической смерти (четвертая степень). В состоянии клинической смерти у человека отсутствует дыхание и сердцебиение, зрачки глаз расширены и не реагируют на свет. Длительность клинической смерти составляет примерно 4-8 минут. По истечении этого времени наступает гибель клеток головного мозга, приводящая к необратимому прекращению биологических процессов в организме, распаду белковых структур - биологической смерти.

Причинами смерти от воздействия электрического тока могут быть прекращение работы сердца, прекращение дыхания и электрический шок. При этом следует помнить, что прекращение дыхания примерно через 2 минуты приводит к остановке сердца, и, наоборот, прекращение кровообращения также быстро приводит к прекращению дыхания. Наступает кислородное голодание организма и смерть.

Электрический шок - это тяжелая нервно-рефлекторная реакция организма, сопровождающаяся глубокими расстройствами кровообращения, дыхания, обмена веществ. Длится он, как правило, от десятков минут до суток.

*Степень поражения* человека при воздействии на него электрического тока зависит от нескольких причин: величины тока, проходящего через жизненно важные органы, рода и частоты тока, времени его действия, пути прохождения тока в теле человека и индивидуальных свойств человека.

Одним из основных факторов воздействия является величина тока и длительность его протекания. Рассмотрим действие различного значения переменного тока промышленной частоты (50 Гц) на организм человека.

1. *Безопасным* считается ток, длительное прохождение которого через организм человека не причиняет ему вреда и не вызывает никаких ощущений. Его величина не превышает 50 мкА.
2. Ток величиной от 0,5 до 1,5 мА называется *пороговым осязаемым* током. Он вызывает легкое покалывание, ощущение нагрева кожи.
3. При токе 2-5 мА появляется боли в руке, дрожание кисти.
4. Увеличение тока до 10-15 мА вызывает непереносимую боль и полное прекращение управления мышцами. Если человек просто прикоснулся к находящимся под напряжением участкам, он может освободиться от действия тока посредством отдергивания руки. Если же провод оказался зажатым в руке, то при этом значении тока человек не может по своей воле разжать пальцы от токоведущих частей и остается под напряжением. По этой причине ток величиной больше 10-15 мА называется *неотпускающим*.

Такое явление объясняется тем, что, если по мышцам, управляющим сгибанием и разгибанием пальцев руки, будет проходить ток одной и той же величины, то сгибательные мышцы как более мощные создают несколько большее усилие, поэтому пальцы сжимаются в кулак. При прохождении по руке тока промышленной частоты до 10-15 мА воздействие биологических импульсов по воле человека еще может создать в разгибательных мышцах большее усилие, чем в сгибательных, и пострадавший может освободиться от действия электрического тока. При большем токе воздействие биологических импульсов на управление мышцами полностью утрачивается и их сокращение определяется только действием внешнего тока.

Пороговый неотпускающий ток условно можно считать безопасным для человека в том смысле, что он не вызывает немедленного поражения. Но при длительном прохождении величина тока растет за счет уменьшения сопротивления тела, в результате чего могут возникнуть нарушения кровообращения и дыхания и наступить смерть.

5. При токе величиной около 50 мА начинается судорожное сокращение мышц грудной клетки, сужение кровеносных сосудов и повышение артериального давления, что приводит к потере сознания и смерти.
6. При прохождении тока более 100 мА по пути рука - рука или рука - ноги через 1-2 секунды может наступить *фибрилляция* сердца (хаотические, разрозненные сокращения отдельных волокон сердечной мышцы). В результате

сердце перестает работать как насос, кровообращение нарушается. Фибрилляция продолжается и после прекращения действия тока, в результате наступает смерть.

7. При токе более 5 А фибрилляция, как правило, не наступает, а происходит немедленная остановка сердца. Хотя известно много случаев, когда при кратковременном прохождении через человека тока величиной около 10 А не наступала смерть. Однако в этом случае происходит паралич дыхания. При больших токах, проходящих через тело человека, смерть может наступить и в результате разрушения внутренней структуры тканей организма и глубоких ожогов тела.

При напряжениях до 250-300 В постоянный ток примерно в 4-5 раз безопаснее переменного с частотой 50 Гц, при более высоких напряжениях постоянный ток опаснее.

Величина проходящего через организм тока определяется приложенным напряжением и сопротивлением тела человека. *Сопротивление тела человека* при сухой, чистой и неповрежденной коже колеблется в пределах от 3000 до 500 000 Ом. Если удалить роговой слой в тех местах, где измеряется сопротивление, то его значение падает до 500-700 Ом. Состояние кожи сильно влияет на величину сопротивления тела человека. Наличие царапин, грязи и влаги очень сильно (в десятки раз) снижает сопротивление. Наименьшим сопротивлением обладает кожа лица, шеи, рук на участке выше ладоней и др. С увеличением тока и времени его прохождения сопротивление падает, поскольку при этом усиливается местный нагрев кожи, что приводит к увеличению потоотделения.

*Причинами несчастных случаев* при воздействии электрического тока могут быть:

- случайное прикосновение к токоведущим частям, находящимся под напряжением;
- появление напряжения на металлических частях электрооборудования, которые нормально не находятся под напряжением (вследствие нарушения изоляции, падения на них провода, находящегося под напряжением);
- возникновение шагового напряжения на участке земли, где находится человек.

Основными **мерами защиты** от поражения электрическим током являются:

- обеспечение недоступности для случайного прикосновения токоведу-

щих частей, находящихся под напряжением;

- обеспечение надежной изоляции электроустановок;
- применение защитного заземления, зануления, отключения и др.;
- применение специальных защитных средств.

### **Первая помощь человеку, пораженному электрическим током.**

Первую доврачебную помощь пораженному током должен уметь оказывать каждый работающий с электроустановками. Она состоит из двух этапов: освобождение пострадавшего от действия тока и оказание ему медицинской помощи.

Освобождение пострадавшего от действия тока необходимо в случае, если он сам не в состоянии этого сделать. Такое положение может возникнуть, если через пострадавшего проходит ток больше 10-15 мА и он не в состоянии разжать руку с зажатым проводом; при параличе или судорожном сокращении мышц; при потере сознания. Следует помнить, что ток, проходящий через человека может быстро увеличиться до опасного значения, поэтому необходимо срочно освободить его от действия тока.

Такое освобождение можно осуществить несколькими способами. Наиболее простой - отключить электроустановку, которой касается человек, от источника питания. Если это сделать невозможно, то пострадавшего необходимо оттянуть от токоведущих частей или перерубить провода. При напряжениях до 1000 В допускается оттягивание пострадавшего, взявшись за его одежду и предварительно изолировав руки (диэлектрическими перчатками, шарфом, рукавицами и т.п.). Действовать необходимо одной рукой. Вместо этого можно изолировать себя от пола, встав на резиновый коврик, сухую доску или одежду. Перерубать провода при напряжениях до 1000 В можно топором с сухой деревянной ручкой или другим инструментом с изолированными ручками. Каждый провод следует перерубать отдельно, чтобы не вызвать короткого замыкания и как следствия электрической дуги между проводами.

В электроустановках напряжением выше 1000 В для обеспечения собственной безопасности оказывающий помощь должен надеть диэлектрические перчатки и освобождение пострадавшего от токоведущих частей производить изолирующей штангой или клещами с изолирующими ручками, рассчитанными на соответствующее напряжение.

Сразу же после освобождения пострадавшего от электрического тока ему оказывается первая доврачебная помощь. Для определения ее вида и объема необходимо выяснить состояние пострадавшего (проверить наличие

дыхания, пульса, реакцию зрачков на свет). Если пострадавший находится в сознании, у него нормальное дыхание и сердцебиение, то его все же нельзя считать здоровым. Его следует удобно уложить в сухое место, расстегнуть одежду и обеспечить полный покой до прибытия врача. Дело в том, что отрицательное воздействие электрического тока на человека может сказаться не сразу, а спустя некоторое время - через несколько минут, часов и даже дней.

Если пострадавший находится без сознания, но с нормальным дыханием и пульсом, его следует удобно уложить, обеспечить приток свежего воздуха и начать приводить в сознание (подносить к носу вату, смоченную в нашатырном спирте, обрызгивать лицо холодной водой, растирать и согревать тело).

В случае отсутствия у пострадавшего дыхания или (и) пульса ему необходимо производить искусственное дыхание и непрямой массаж сердца. Никогда не следует отказываться от оказания помощи пострадавшему и считать его мертвым из-за отсутствия дыхания, сердцебиения и других признаков жизни. Известно много случаев оживления людей, пораженных током, после нескольких часов, в течение которых *непрерывно* выполнялись искусственное дыхание и массаж сердца. Однако попытки оживления эффективны лишь когда с момента остановки сердца прошло не более 5-6 минут.

Длительное отсутствие пульса при появлении дыхания и других признаков оживления организма указывает на наличие фибрилляции сердца. В этом случае необходимо произвести его дефибрилляцию. Достигается она путем кратковременного воздействия большого тока на сердце пострадавшего. В результате происходит одновременное сокращение всех волокон сердечной мышцы, которые до того сокращались в разное время. После этого могут восстановиться естественные сокращения сердца. Дефибрилляция производится с помощью специального прибора - дефибриллятора, основной частью которого является конденсатор емкостью 20 мкФ с рабочим напряжением 6 кВ. Ток разрядки конденсатора при длительности 10 мкс составляет 15-20 А. Электрическую дефибрилляцию сердца может производить только врач.

### **Техника безопасности при работе в лаборатории.**

Для усвоения учащимися правильных и безопасных приемов работы учитель обязан проводить инструктаж по соблюдению требований техники безопасности. Вводный инструктаж проводится со всеми учащимися при первом посещении кабинета, текущий - перед выполнением каждой лабораторной работы.

При работе в лабораториях радиотехники, электротехники, электроники и автоматики необходимо соблюдать следующие правила:

1. Размещайте приборы и материалы на своем рабочем месте таким образом, чтобы исключить их падение или опрокидывание.
2. Запрещается нагружать измерительные приборы выше предельных значений, обозначенных на их шкалах.
3. Используйте провода с наконечниками и предохранительными изоляционными чехлами. Убедитесь, что их изоляция не имеет повреждений.
4. При сборке электрических цепей избегайте пересечения проводов.
5. Запрещается пользоваться выключателями с открытыми контактами при напряжениях выше 42 В.
6. При подключении установок к сети переменного тока напряжением 220 В необходимо использовать только штепсельные соединения.
7. Сборку и разборку, внесение изменений в цепь можно производить только при отключенном источнике питания. Источник электропитания подключается к собранной электрической цепи в последнюю очередь. *Собранную цепь можно включать только после проверки и с разрешения преподавателя или лаборанта.*
8. Не прикасайтесь к находящимся под напряжением элементам цепей, лишенным изоляции, к корпусам стационарного электрооборудования, к зажимам отключенных конденсаторов. Разряд конденсатора производить с помощью изолированного проводника.
9. Наличие напряжения в цепи проверяйте только с помощью приборов или указателей напряжения.
10. Обнаружив неисправность в электрических устройствах, необходимо немедленно отключить источник электропитания.
11. До включения электро- и радиоприборов в сеть необходимо убедиться в соответствии положения переключателя сетевого напряжения его номинальной величине, а также в исправности предохранителей.
12. Присоединять однополюсную вилку (щуп) электроизмерительного прибора к цепи следует только одной рукой, причем вторая рука не должна касаться шасси, корпуса прибора и других электропроводящих предметов.

13. При настройке и регулировке включенного радиоустройства (подстройка контуров, регулировка переменных конденсаторов или резисторов) необходимо пользоваться инструментом с надежной изоляцией.
14. При эксплуатации осциллографов необходимо с особой осторожностью обращаться с электронно-лучевой трубкой. Недопустимы удары по трубке или попадание на нее расплавленного припоя, так как это может вызвать взрыв.
15. Запрещается включение без нагрузки выпрямителей, так как в этом случае электролитические конденсаторы фильтра заметно нагреваются, а иногда и взрываются.
16. При появлении запаха гари, искрении, перегреве деталей следует немедленно отключить устройство от источника электропитания.
17. *Запрещается оставлять не выключенные электро- и радиоустройства без надзора и допускать к ним посторонних лиц.*

Учителю следует помнить, что учебные приборы, с которыми могут работать учащиеся, по способу защиты человека от поражения электрическим током должны удовлетворять требованиям II класса (иметь двойную или усиленную изоляцию) или III класса (присоединяться непосредственно к источникам питания напряжением не выше 42 В).

Рассмотрим более подробно основные способы защиты человека от поражения электрическим током, а именно, **применение защитного зануления и отключения**.

Для осуществления защитного зануления кроме нулевого рабочего провода используется нулевой защитный провод, который соединяют с корпусом электроустановки.

Основная функция защитного зануления - отключение поврежденного участка электрической цепи за счет перегорания предохранителей или срабатывания какой-либо защиты. Вторая функция защитного зануления (если вместо предохранителя вставлен “жучок” из толстого провода) - снижение напряжения, под которым в аварийной ситуации может оказаться человек.

Пусть, например, человек, стоящий в сырой обуви на электрически соединенном с землей полу, коснулся корпуса прибора (рис. 1а). Из рисунка видно, что точки соединения с землей человека и вторичной обмотки транс-

форматора питания не совпадают (точки з1, з2). Эквивалентная схема такой ситуации приведена на рис. 1б, где FU - предохранитель,  $R_{\phi}$  - сопротивление фазного провода,  $R_{\text{н}}$  - сопротивление нагрузки (сопротивление прибора между клеммами шнура питания),  $R_0$  - сопротивление рабочего нулевого провода,  $R_{\text{из}}$  - полное сопротивление изоляции между одним из проводов шнура питания и корпусом прибора,  $R_{\text{ч}}$  - сопротивление человека,  $R_3$  - сопротивление заземления между точками з1 и з2.

Сопротивление фазного и нулевого рабочего провода составляет обычно десятые доли ома. Сопротивление защитного нулевого провода должно быть не более 0,1 Ом. Сопротивление  $R_{\text{из}}$  в основном определяется емкостной связью между первичной обмоткой трансформатора и магнитопроводом. Так, например, для осциллографа ОМЛ-3М экспериментально определенное полное сопротивление составляет более 20 МОм для одного провода шнура питания и более 100 МОм для другого провода.

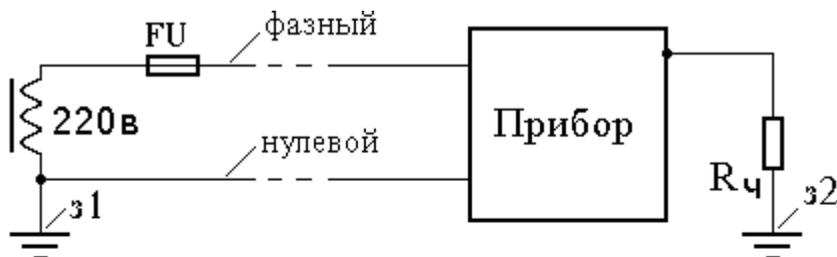


Рис. 1 а

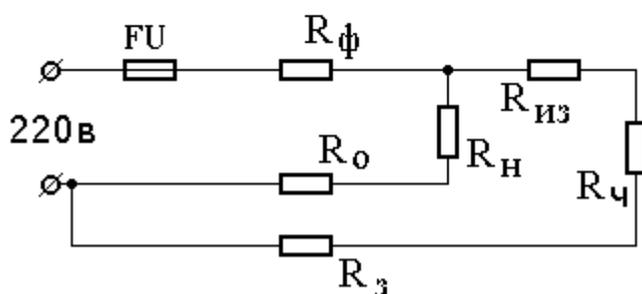


Рис. 1 б

Проведенные измерения полного сопротивления изоляции между одним из проводов шнура питания и корпусом прибора показали, что для источников ИЭПП-2 и В-24М указанное сопротивление составляет не менее 20 МОм. Отсюда следует, что при самых неблагоприятных условиях (поранена кожа человека) через человека может протекать ток не более 10 мкА, а протекание такого тока человек не ощущает.

Рассмотрим следующую аварийную ситуацию. Фазный провод соединился с корпусом прибора, а за корпус прибора взялся человек, стоящий на сыром полу или на соединенных с землей металлических предметах (рис. 2а). Корпус прибора пока с нулевым проводом не соединен. Эквивалентная схема этой ситуации представлена на рис. 2б. Легко показать, что к человеку в этом случае будет приложено практически все напряжение 220 В.



Рис. 2 а

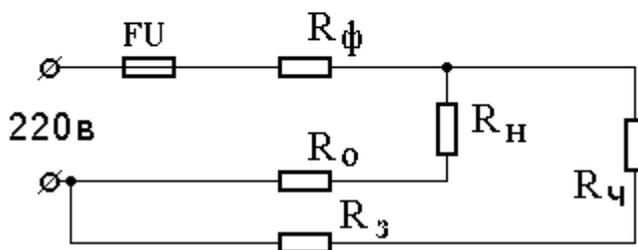


Рис. 2 б

Если корпус прибора соединен с нулевым защитным проводом (рис. 3а),

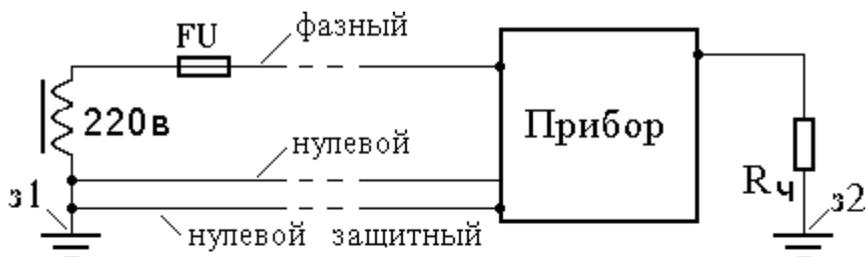


Рис. 3 а

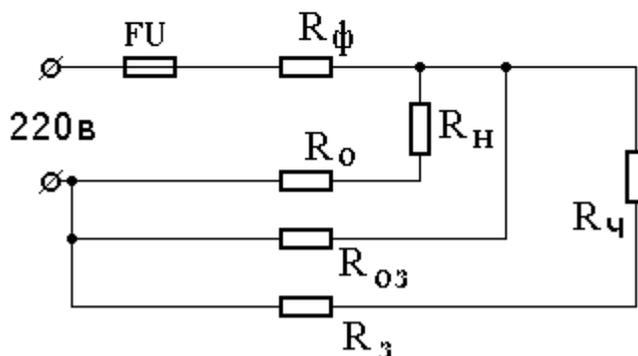


Рис. 3 б

то получается короткое замыкание. Эквивалентная схема приведена на рис. 3б, где  $R_{0з}$  - сопротивление нулевого защитного провода. Ток короткого замыкания существенно превысит рабочий ток предохранителя, предохранитель перегорит и напряжение с аварийного участка будет снято.

В случае, если при коротком замыкании поставленный вместо предохранителя “жучок” не перегорит, то напряжение, под которым окажется человек, будет меньше 220 В, так как сопротивление нулевого защитного провода выбирается меньше сопротивления фазного (показать самостоятельно для сопротивления нулевого защитного провода 0,1 Ом, сопротивления фазного провода 0,4 Ом).

В школьных кабинетах физики широко используются **устройства защитного отключения УЗОШ**, уменьшающие вероятность поражения электрическим током человека в аварийных ситуациях.

Принцип работы устройства защитного отключения рассмотрим по упрощенной схеме (рис. 4). При нажатии на кнопку S1 (пуск) начинает проте-

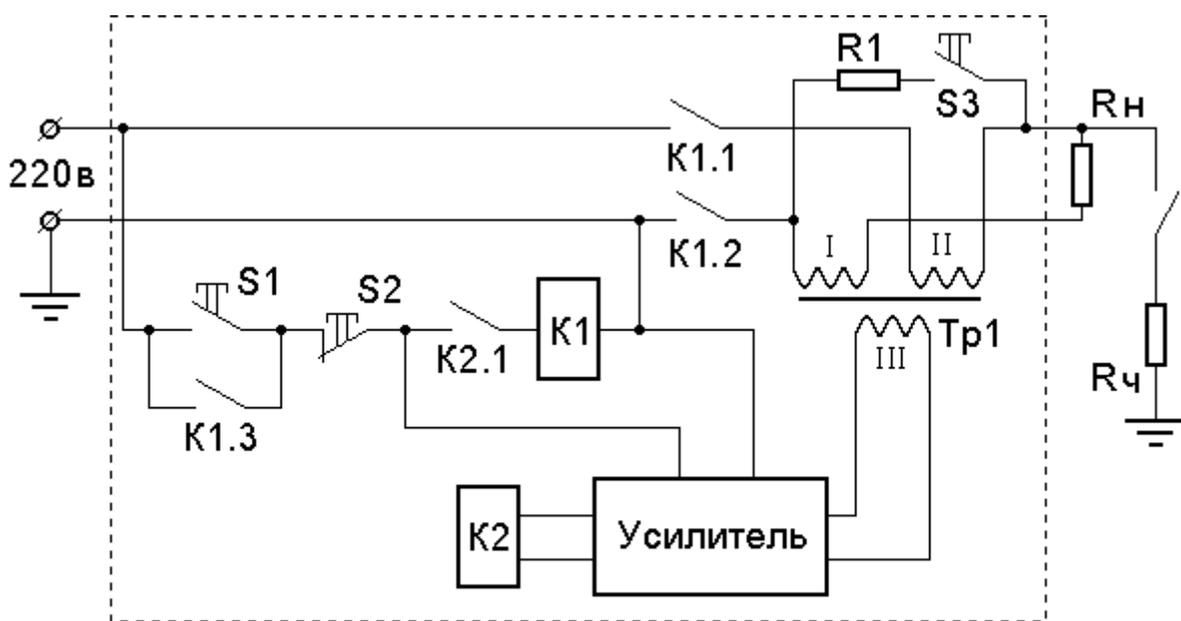


Рис. 4

кать ток по цепи: фазный провод, замкнувшиеся контакты кнопки S1, нормально замкнутые контакты кнопки S2 (стоп), блок питания усилителя, нулевой провод; в результате чего срабатывает реле K2 и замыкаются контакты K2.1. После замыкания контактов K2.1 начинает протекать ток по цепи: фазный провод, замкнувшиеся контакты кнопки S1, нормально замкнутые кон-

такты кнопки “стоп”, обмотка реле К1, нулевой провод, в результате чего замыкаются контакты К1.1, К1.2, К1.3. Тогда через нагрузку начинает протекать ток по следующей цепи: фазный провод, замкнутый контакт К1.1, обмотка II трансформатора Тр1, резистор нагрузки, обмотка I трансформатора Тр1, контакт К1.2, нулевой провод. Контакты К1.3 блокируют кнопку S1 и нагрузка остается подключенной после отпускания кнопки пуск.

Обмотки I и II трансформатора Тр1 имеют одинаковое число витков толстого провода (обычно 3-5 витков), а обмотка III имеет большое число витков тонкого провода. Трансформатор подключается так, что при одинаковых токах через обмотки I и II ЭДС в обмотке III не наводится. Если токи, протекающие через обмотки I и II трансформатора отличаются более чем на 10 мА, то в обмотке III наводится ЭДС, достаточная для размыкания контактов К2.1. В этом случае ток через обмотку реле К1 прекращается и размыкаются контакты К1.1 и К1.2, отключая нагрузку от сети. Таким образом, если через человека, коснувшегося одновременно фазного провода и какого-либо заземленного предмета, пойдет ток более 10 мА, то устройство защитного отключения отключит нагрузку от сети. Работоспособность устройства можно проверить, нажав на кнопку S3: если при этом нагрузка отключится от сети, то устройство исправно.

По окончании работы рекомендуется отключать нагрузку от сети нажатием на кнопку S3 (контроль). Если при нажатии на кнопку “контроль” устройство не отключается от сети, значит оно неисправно. В этом случае для отключения устройства необходимо нажать на кнопку “стоп”.

*Устройство защитного отключения является дополнительной мерой защиты и его использование ни в коей мере не позволяет отказаться от соблюдения стандартных правил техники электробезопасности.*

Устройство защитного отключения УЗОШ.10.2.010УХЛ4, входящее в комплект электроснабжения школьного кабинета физики, имеет следующие основные *характеристики*: питающее напряжение - 220 В, номинальный рабочий ток - 10 А, номинальное значение тока срабатывания при замыкании на землю - 0,01 А, время срабатывания при удвоенном значении тока срабатывания 0,02 А - не более 0,05 с.

Приведем также основные характеристики устройства защитного отключения УЗО.10.2.010.11.УХЛ2, выпускаемого для использования в быту: питающее напряжение - 220 В, номинальный ток нагрузки - 10 А, номинальная величина тока срабатывания при замыкании на землю - 0,01 А  $\pm 25\%$ , время выключения - не более 0,05 с.

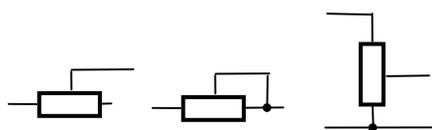
Значение тока срабатывания устройства защитного отключения можно легко определить экспериментально. Для этого сначала необходимо убедиться в работоспособности устройства, нажав на кнопку “контроль”. Если устройство исправно, то нагрузка отключится от сети. Затем собирают электрическую цепь, содержащую последовательно соединенные миллиамперметр переменного тока с пределом измерения 15-20 мА, постоянный резистор 15 кОм мощностью рассеяния 2 Вт и переменный резистор 10 кОм мощностью рассеяния 1 Вт. Один конец этой цепи подключается к защитному нулевому проводу (к металлическому корпусу электрораспределительного щита), а второй конец - в одно из гнезд розетки на выходе устройства защитного отключения. Уменьшая сопротивление переменного резистора, фиксируют значение тока, при котором устройство защитного отключения отключит нагрузку. Если отключение нагрузки не произошло, то неправильно выбрано гнездо розетки.

Проверить исправность устройства можно также, рассчитав ток утечки на землю, при котором происходит отключение устройства. Для этого между фазным и защитным нулевым проводами включают последовательно постоянный резистор 15 кОм и магазин сопротивлений. Уменьшая сопротивление магазина сопротивлений, определяют общее сопротивление цепи, при котором произойдет отключение устройства. Ток утечки рассчитывают из закона Ома. Если полученное таким образом значение тока окажется меньше приведенного в паспорте устройства, то устройство исправно.

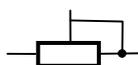
## II. Условные обозначения на принципиальных схемах и характеристики радиотехнических элементов

На принципиальных радиосхемах в нашей стране приняты следующие условные обозначения радиоэлементов:

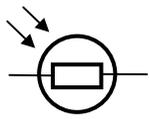
### Постоянные резисторы



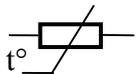
Переменные резисторы



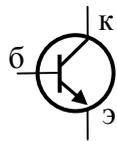
Подстроечный резистор



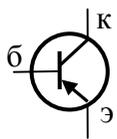
Фоторезистор



Терморезистор



Биполярный транзистор n-p-n структуры



Биполярный транзистор p-n-p структуры



Конденсатор постоянной емкости



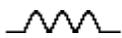
Конденсатор электролитический полярный



Конденсатор подстроечный



Конденсатор переменной емкости



Катушка без сердечника



Катушка с ферромагнитным сердечником



Катушка с указанным началом обмотки



Полупроводниковый диод



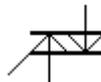
Стабилитрон



Варикап



Тиристор



Симистор



Фотодиод

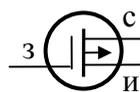


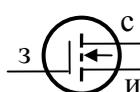
Светодиод

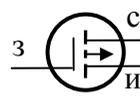
 Полевой транзистор с управляющим р-п переходом с каналом n-типа.

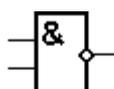
 Полевой транзистор с управляющим р-п переходом с каналом р-типа.

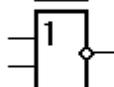
 Полевой транзистор с изолированным затвором со встроенным каналом n-типа.

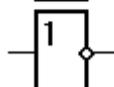
 Полевой транзистор с изолированным затвором со встроенным каналом р-типа.

 Полевой транзистор с изолированным затвором с индуцированным каналом n-типа.

 Полевой транзистор с изолированным затвором с индуцированным каналом р-типа.

 Логический элемент 2И-НЕ

 Логический элемент 2ИЛИ-НЕ

 Логический элемент НЕ

Примечание: Стрелка в условных обозначениях как полевых, так и биполярных транзисторов указывает направление от р области к n области.

Укажем основные характеристики радиоэлементов, которые Вам необходимо знать.

**Резисторы** могут быть постоянными (сопротивление которых нельзя изменить) и переменными (сопротивление которых можно менять от нуля до некоторого максимального значения). По конструкции различают пленочные, объемные и проволочные резисторы. В зависимости от материала, из которого выполняется токопроводящий (резистивный) элемент, резисторы подразделяются на углеродистые, металлопленочные, металлооксидные, металлодиэлектрические, композиционные и полупроводниковые. Резисторы, выполненные из полупроводниковых материалов, в отличие от остальных, характеризуются нелинейной вольт-амперной характеристикой (зависимостью силы тока от приложенного напряжения).

Основной характеристикой резисторов является их **номинальное сопротивление** - значение сопротивления, которое должен иметь резистор в соответствии с нормативной документацией. Фактическое же значение сопротивления каждого резистора может отличаться от номинального. Выраженное в процентах отклонение фактического значения сопротивления от номинального называется допуском. Оно определяет класс точности резистора:

- 1 класс - отклонение  $\pm 5 \%$ ,
- 2 класс - отклонение  $\pm 10 \%$ ,
- 3 класс - отклонение  $\pm 20 \%$ .

Постоянные резисторы имеют ограниченное число номинальных значений. Для каждого из классов они образуют ряды из 24 (для 1 класса), 12 (для 2 класса) и 6 (для 3 класса) чисел.

Эти ряды представляют собой геометрическую прогрессию со знаменателем  $q_n$ , равным: для ряда 6  $q_6 = \sqrt[6]{10} = 1,47$ ; для ряда 12  $q_{12} = \sqrt[12]{10} = 1,21$ ; для ряда 24  $q_{24} = \sqrt[24]{10} = 1,1$ ; для ряда 48  $q_{48} = \sqrt[48]{10} = 1,05$ ; для ряда 96  $q_{96} = \sqrt[96]{10} = 1,025$ ; для ряда 192  $q_{192} = \sqrt[192]{10} = 1,012$ .

Для резисторов третьего класса точности номинальные значения сопротивления образуют следующий ряд чисел: 10, 15, 22, 33, 47, 68. Для резисторов второго класса точности в этот ряд входят еще шесть чисел: 12, 18, 27, 39, 56, 82. У резисторов первого класса ряд номинальных значений образует 24 числа. К ряду для второго класса добавляются следующие числа: 11, 13, 16, 20, 24, 30, 36, 43, 51, 62, 75, 91. Конкретные значения сопротивлений получают умножением соответствующих чисел рядов на  $10^n$ , где  $n$  - любое целое число.

Для резисторов с меньшими допустимыми отклонениями установлены ряды номинальных значений из 48 и 96 чисел.

Следует помнить, что допустимые отклонения указываются для определенной температуры и влажности.

Следующая важная характеристика резисторов - **номинальная мощность рассеяния** - максимально допустимая мощность, которая может быть рассеяна (выделена) на резисторе при сохранении его параметров в установленных пределах в течение длительного времени (срока службы). Этот параметр связан с выделением в проводнике теплоты при протекании по нему электрического тока. Количество выделяющейся в проводнике теплоты по закону Джоуля-Ленца прямо пропорционально квадрату силы тока, сопротивлению резистора и времени протекания тока. Эта теплота рассеивается в окру-

жающую среду. Чем больше площадь поверхности резистора, тем быстрее отводится тепло и тем меньше он нагревается. Если теплоотвод осуществляется плохо, то возможно изменение сопротивления резистора и даже его сгорание.

В зависимости от геометрических размеров резисторы могут иметь мощность рассеяния от 0,01 до 500 Вт. На условных обозначениях мощность рассеяния показывается с помощью горизонтальных, вертикальных и наклонных линий внутри прямоугольника резистора (см. условные обозначения).

**Температурный коэффициент сопротивления (ТКС)** - это параметр, характеризующий относительное изменение сопротивления резистора при изменении температуры окружающей среды на  $1^{\circ}\text{C}$ .

**Частотные свойства резисторов** определяются тем, что кроме активного сопротивления они обладают и реактивным сопротивлением (емкостным и индуктивным), которое зависит от формы и строения резистора. В связи с этим полное сопротивление резисторов зависит от частоты протекающего по ним переменного тока.

К характеристикам резисторов относятся также их электрическая прочность и уровень собственных шумов.

На корпусах резисторов указывается их номинальное сопротивление, класс точности (допустимые отклонения сопротивления от номинального) и тип резистора. Сопротивления до 100 Ом выражаются в омах, вместо запятой десятичной дроби ставится буква R, E или ничего не ставится. Сопротивления от 100 Ом до 100 кОм выражаются в килоомах и вместо запятой десятичной дроби ставится буква K. Сопротивления от 100 кОм до 100 МОм выражаются в мегаомах и вместо запятой десятичной дроби ставится буква M.

Например, 4,7 Ом - 4E7; 47 Ом - 47 E; 4,7 кОм - 4K7; 47 кОм - 47 K; 0,47 МОм - M47; 4,7 МОм - 4M7; 47 МОм - 47 M.

Допустимые отклонения сопротивления от номинального обозначаются буквами:

допуск, %	$\pm 0,1$	$\pm 0,2$	$\pm 0,5$	$\pm 1$	$\pm 2$	$\pm 5$	$\pm 10$	$\pm 20$
буква кода	Ж	У	Д	Р	Л	И	С	В

В последнее время все чаще применяют цветовую маркировку постоянных резисторов. Она представляет собой совокупность точек или круговых полос, нанесенных на поверхность резистора. Эти точки и полосы ставятся вместо цифр, обозначающих номинальное сопротивление резистора и допустимое отклонение его сопротивления от номинального.

Перед применением цветового кода номинальное сопротивление выражают в омах двумя или тремя цифрами (последняя из которых не должна равняться нулю) и множителем  $10^n$ , где  $n$  - любое целое число от  $-2$  до  $+9$ .

Маркировочные знаки располагают на резисторе слева направо в следующем порядке:

первый знак - первая цифра в значении сопротивления;

второй знак - вторая цифра;

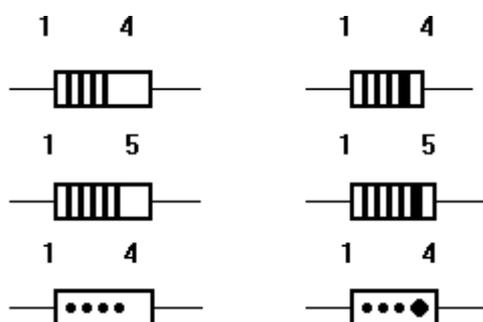
третий знак - третья цифра (или множитель, если значение номинального сопротивления выражено двумя цифрами);

четвертый знак - множитель (или допускаемое отклонение);

пятый знак - допускаемое отклонение.

Приняты следующие цвета маркировочных знаков:

Цвет знака	Номинальное сопротивление, Ом				Допускаемое отклонение, %
	Первая цифра	Вторая цифра	Третья цифра	Множитель	
Серебристый	-	-	-	$10^{-2}$	$\pm 10$
Золотистый	-	-	-	$10^{-1}$	$\pm 5$
Черный	-	0	-	1	-
Коричневый	1	1	1	10	$\pm 1$
Красный	2	2	2	$10^2$	$\pm 2$
Оранжевый	3	3	3	$10^3$	-
Желтый	4	4	4	$10^4$	-
Зеленый	5	5	5	$10^5$	$\pm 0,5$
Голубой	6	6	6	$10^6$	$\pm 0,25$
Фиолетовый	7	7	7	$10^7$	$\pm 0,1$
Серый	8	8	8	$10^8$	$\pm 0,05$
Белый	9	9	9	$10^9$	-



Маркировочные знаки наносят ближе к одному из торцов резистора. Первым считается знак, расположенный рядом с торцом. Если длина резистора не позволяет сдвинуть маркировку к одному из концов, то последний знак делают в 1,5 раза крупнее остальных (рис. 5).

Рис. 5

**Электрический конденсатор** представляет собой систему из двух проводников электрического тока (обкладок), разделенных диэлектриком. Основной характеристикой конденсатора является его **электрическая емкость**, или просто емкость, которая характеризует способность конденсатора накапливать электрический заряд. Емкость конденсатора определяется отношением накапливаемого в нем электрического заряда к приложенному напряжению. Она зависит от материала диэлектрика, формы и взаимного расположения обкладок.

В цепях постоянного тока конденсатор не проводит электрический ток, поскольку между его обкладками находится диэлектрик. В цепях же переменного тока конденсатор становится проводником за счет протекания токов перезарядки. Емкостное сопротивление конденсатора обратно пропорционально частоте переменного тока и емкости, измеряется оно в омах.

Существуют конденсаторы постоянные (емкость которых нельзя изменить), полупеременные (подстроечные) и переменные. По роду диэлектрика выделяют бумажные, металlobумажные, пленочные, металлопленочные, слюдяные, керамические, стеклоэмалевые и воздушные конденсаторы.

Особый тип конденсаторов - электролитические. В них в качестве диэлектрика используется слой оксида, образованный на металле, выступающем одной из обкладок конденсатора. Второй обкладкой является жидкий или пастообразный электролит. Электролитические конденсаторы обладают малыми размерами, большой емкостью, но и большими потерями энергии. *При включении электролитических конденсаторов в цепь необходимо соблюдать полярность!*

**Номинальная емкость конденсатора** - это емкость, которую он должен иметь в соответствии с нормативной документацией. Отличие фактической емкости конденсатора от номинальной не может быть больше допустимой. Как и для резисторов номинальные емкости конденсаторов с допустимыми отклонениями  $\pm 5\%$ ,  $\pm 10\%$ ,  $\pm 20\%$  выбираются из рядов умножением соответствующих чисел на  $10^n$ , где  $n$  - любое целое число.

**Номинальное рабочее напряжение** - это максимальное напряжение, при котором конденсатор может надежно работать в течение минимальной наработки в условиях, указанных в технической документации.

**Температурный коэффициент емкости** - параметр, характеризующий относительное изменение емкости при изменении температуры окружающей среды на  $1^\circ\text{C}$ .

При прохождении электрического тока в конденсаторе возникают **потери энергии**, обусловленные проводимостью диэлектрика, нагревом металлических элементов, контактов в местах соединений и др. Мощность потерь в конденсаторе прямо пропорциональна его реактивной мощности ( $P_p = U^2 \omega C$ ) и тангенсу угла потерь  $\operatorname{tg} \delta$ . Величина, обратная  $\operatorname{tg} \delta$ , называется **добротностью конденсатора**. Чем больше добротность конденсатора, тем меньше потери энергии в нем (при прочих равных условиях).

На корпусах конденсаторов достаточно большого размера обозначается тип, номинальная емкость, максимальное рабочее напряжение и допустимое отклонение емкости от номинального значения.

Емкости до 100 пФ выражаются в пикофарадах и обозначаются буквой П (р); емкости от 100 пФ до 0,1 мкФ - в нанофарадах и обозначаются буквой Н (н); емкости выше 0,1 мкФ - в микрофарадах и обозначаются буквой М (μ). Как и для резисторов буквы ставятся вместо запятой десятичной дроби, которая выражает значение емкости. Если емкость выражена целым числом, то буква ставится после него; если емкость конденсатора меньше единицы, то буква ставится вместо нуля и запятой перед цифрами.

Допустимые отклонения емкости от номинального значения указаны такими же буквами, как и для резисторов.

Вам известно, что проводник, намотанный на сердечник в виде **катушки**, в цепях переменного тока обладает индуктивным сопротивлением, которое зависит от частоты тока и геометрических характеристик проводника. Зависимость сопротивления от геометрических размеров и магнитной проницаемости среды выражается **индуктивностью** проводника. Индуктивность характеризует количество энергии, запасенное катушкой при протекании по ней электрического тока. Она зависит от формы, размеров, числа витков катушки и материала ее сердечника.

По конструкции выделяют цилиндрические, плоские (спиральные) и тороидальные катушки. Они могут быть одно- и многослойными, с сердечниками и без них, экранированными и нет.

**Добротность катушки** - отношение ее реактивного сопротивления к активному сопротивлению потерь.

**Температурный коэффициент индуктивности** равен относительному изменению индуктивности при изменении температуры окружающей среды на  $1^{\circ} \text{C}$ .

Паразитным параметром, обуславливающим увеличение потерь энергии в катушке, является ее собственная емкость.

### III. Электрические измерения

При проведении радиотехнических измерений корпуса измерительных приборов соединяют между собой и с общим проводом исследуемого устройства. Радиоизмерительные приборы комплектуются коаксиальными кабелями. *Коаксиальный кабель* - это высокочастотный кабель, у которого один из проводов, представляющий собой трубу, полностью охватывает другой провод. Кабель называют коаксиальным потому, что внутренний провод располагается точно по оси трубы. В коаксиальном кабеле электромагнитное поле сосредоточено в пространстве между проводами и поэтому потери на излучение практически отсутствуют. Очень часто внешний провод делается в виде гибкой хорошо проводящей оплетки и кабель заполняется пластичным изолятором. Такой кабель хорошо изгибается.

Внешняя проводящая оплетка коаксиального кабеля соединяется с корпусом измерительного прибора. Центральную проводящую жилу коаксиального кабеля очень часто называют сигнальной. С одной стороны коаксиального кабеля, применяемого в измерительном приборе, имеется специальный штеккер, а на другом конце коаксиального кабеля имеются два гибких проводника (обычно с зажимами “крокодил”). Гибкий проводник, соединяющийся с внешней проводящей оплеткой коаксиального кабеля, обычно окрашивают в черный цвет.

При измерении напряжений в радиотехнических цепях вольтметрами с незначительным внутренним сопротивлением не всегда следует переходить на более чувствительный предел измерения, так как погрешность измерения, появляющаяся вследствие уменьшения внутреннего сопротивления прибора может оказаться большей, чем та, которая получается на менее чувствительном пределе измерительного прибора.

При проведении радиотехнических измерений необходимо особое внимание обращать на правильный выбор частотного диапазона измерительного прибора.

В зависимости от объекта измерений, требуемой точности результата и допустимых условий (рабочей частоты, предельного напряжения и др.) используют различные методы (метод вольтметра-амперметра, метод непосред-

ственной оценки, метод моста, резонансный метод, метод дискретного счета и др.). Мы познакомимся с методом вольтметра-амперметра для измерения сопротивлений, емкостей и индуктивностей и методом непосредственной оценки для измерения сопротивления.

## 1. Делитель напряжения

Достаточно часто в некоторых участках схемы необходимо иметь величину напряжения меньше, чем напряжение источника питания. В этом случае можно использовать делитель напряжения на резисторах (рис. 6). Изменяя соотношение между величинами сопротивлений  $R_1$  и  $R_2$ , на выходе делителя

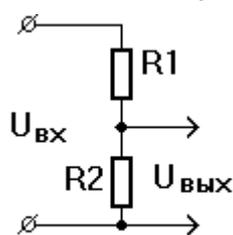


Рис. 6

можно получить любое значение напряжения, но не более входного. Выходное напряжение делителя при бесконечно большом сопротивлении нагрузки можно рассчитать по формуле

$$U_{\text{вых}} = U_{\text{вх}} \frac{R_2}{R_1 + R_2} \quad (1)$$

Для объяснения принципа работы электронных схем необходимо хорошо представлять работу делителя напряжения на резисторах. Можно выделить три задачи, которые необходимо быстро решать при рассмотрении принципа работы электронных устройств, содержащих делитель напряжения:

1. Как и почему изменяется выходное напряжение делителя, если входное напряжение не изменяется (постоянное напряжение или переменное напряжение с неизменяющейся со временем амплитудой), сопротивление резистора  $R_2$  не изменяется, а сопротивление резистора  $R_1$  увеличивается (уменьшается)?
2. Как и почему изменяется выходное напряжение делителя, если входное напряжение не изменяется (постоянное напряжение или переменное напряжение с неизменяющейся со временем амплитудой), сопротивление резистора  $R_1$  не изменяется, а сопротивление резистора  $R_2$  увеличивается (уменьшается)?
3. Как и почему изменяется выходное напряжение делителя, если сопротивления резисторов  $R_1$ ,  $R_2$  не изменяются, а входное напряжение увеличивается (уменьшается)?

Для всех трех задач дать ответ на поставленный вопрос можно, проанализировав формулу для определения выходного напряжения делителя. Решить указанные задачи можно и другим способом.

В первой задаче для определения изменения выходного напряжения воспользуемся формулой  $U_{\text{вых}}=I_{\text{д}}*R_2$ . Так как сопротивление резистора  $R_2$  неизменно, то для ответа на вопрос задачи достаточно выяснить, как будет изменяться ток  $I_{\text{д}}$  при увеличении (уменьшении) сопротивления резистора  $R_1$ . При увеличении сопротивления резистора  $R_1$  общее сопротивление последовательно соединенных резисторов  $R_1$  и  $R_2$  будет увеличиваться и при неизменном входном напряжении делителя будет уменьшаться ток делителя  $I_{\text{д}}$  (по закону Ома для участка цепи). Уменьшение тока делителя при неизменном сопротивлении резистора  $R_2$  приведет к уменьшению выходного напряжения.

При уменьшении сопротивления резистора  $R_1$  сила тока в цепи увеличивается и увеличивается выходное напряжение.

Во второй задаче при увеличении сопротивления резистора  $R_2$  общее сопротивление цепи увеличится, следовательно при неизменном входном напряжении сила тока в цепи уменьшится. Использовать формулу  $U_{\text{вых}}=I_{\text{д}}*R_2$  для определения изменения выходного напряжения нельзя, так как в этом случае сила тока  $I_{\text{д}}$  уменьшается, а сопротивление  $R_2$  увеличивается. Поэтому определим сначала, как изменится напряжение  $U_1$ :  $U_1=I_{\text{д}}*R_1$ . Поскольку сила тока  $I_{\text{д}}$  уменьшается, а сопротивление  $R_1$  не изменяется, то напряжение  $U_1$  уменьшится. Входное напряжение равно сумме напряжений на резисторах  $R_1$  и  $R_2$ :  $U_{\text{вх}}=U_1+U_{\text{вых}}$ . Поскольку входное напряжение не изменяется, то при уменьшении напряжения на первом резисторе выходное напряжение (напряжение на втором резисторе) увеличивается.

Таким образом, при увеличении сопротивления того резистора делителя, с которого снимается выходное напряжение, выходное напряжение увеличивается, и наоборот.

В третьей задаче при увеличении (уменьшении) входного напряжения выходное напряжение делителя увеличивается (уменьшается). (Самостоятельно привести два варианта обоснования).

Сопротивления резисторов делителя при конечном значении сопротивления нагрузки можно рассчитать по формулам:

$$R_1 = \frac{U_{\text{вх}} - U_{\text{вых}}}{I_{\text{н}} + I_{\text{д}}}; \quad R_2 = \frac{U_{\text{вых}}}{I_{\text{д}}} \quad (2)$$

где  $U_{\text{вх}}$  и  $U_{\text{вых}}$  - входное и выходное напряжение делителя, а  $I_{\text{д}}$  и  $I_{\text{н}}$  - ток делителя и ток нагрузки.

Делители напряжения рекомендуется использовать при малой силе тока нагрузки и небольших ее колебаниях.

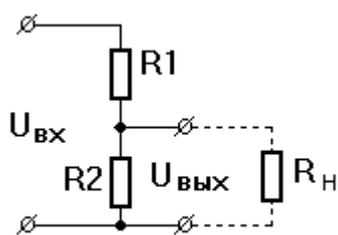


Рис. 7

Часто используют понятие коэффициента деления входного напряжения. Он равен:

$$K = \frac{U_{\text{вх}}}{U_{\text{вых}}} = \frac{I_{\text{д}} * (R_1 + R_2)}{I_{\text{д}} * R_2} = \frac{R_1 + R_2}{R_2} \quad (3)$$

В качестве делителя можно использовать потенциометры, в которых плавно изменяется отношение входного и выходного напряжений.

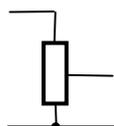


Рис. 8

## 2. Способы подключения электроизмерительных приборов (амперметр, вольтметр) к участку цепи в зависимости от его сопротивления

Для измерения активных сопротивлений с помощью амперметра и вольтметра можно воспользоваться одной из схем (рис. 9, 10).

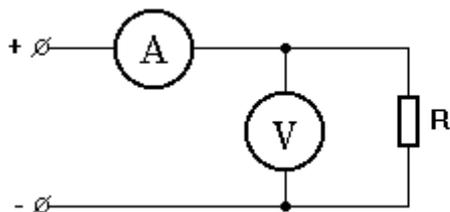


Рис. 9

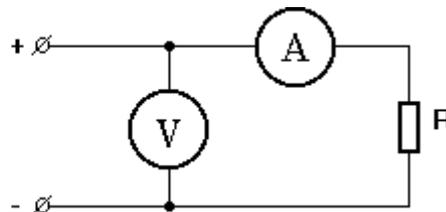


Рис. 10

В обоих случаях сопротивление рассчитывается по формуле:

$$R = \frac{U_R}{I_R} \quad (1)$$

Если бы измерительные приборы были идеальными (внутреннее сопротивление амперметра равно нулю, вольтметра - бесконечности), то они не вносили бы искажений в электрическую цепь и полученное в результате расчета значение сопротивления было бы верным. Наличие же конечных сопротивлений у измерительных приборов приводит в обеих схемах к погрешности измерений.

Значение сопротивления  $R$ , измеренного по схеме 9, будет меньше его действительного значения, поскольку амперметр измеряет сумму токов, проходящих через вольтметр и через резистор:

$$U_V = U_R, \quad I_A = I_R + I_V$$

С учетом внутреннего сопротивления вольтметра значение сопротивления будет равно:

$$R = \frac{U_R}{I_R} = \frac{U_V}{I_A - I_V} = \frac{U_V}{I_A - \frac{U_V}{r_V}} \quad (2)$$

Из схемы и формулы видно, что чем больше внутреннее сопротивление вольтметра по сравнению с сопротивлением резистора, тем меньший ток проходит через вольтметр и тем меньше погрешность измерений.

Значение сопротивления  $R$ , измеренного по схеме 10, будет больше его действительного значения, так как вольтметр измеряет сумму напряжений на амперметре и резисторе:

$$U_V = U_R + U_A, \quad I_A = I_R$$

С учетом внутреннего сопротивления амперметра значение сопротивления будет равно:

$$R = \frac{U_R}{I_R} = \frac{U_V - U_A}{I_A} = \frac{U_V - I_A * r_A}{I_A} \quad (3)$$

Погрешность измерений в этом случае будет тем меньше, чем меньше сопротивление амперметра по сравнению с измеряемым сопротивлением.

Таким образом, схемой 9 следует пользоваться для измерения малых сопротивлений, а схемой 10 - для измерения больших сопротивлений. Для более точных расчетов значения сопротивления необходимо учитывать внутренние сопротивления измерительных приборов и вместо формулы (1) использовать формулы (2) и (3) в зависимости от выбранной схемы.

### 3. Последовательная и параллельная схемы омметров

В омметрах применен метод непосредственной оценки измеряемой величины, которая оценивается непосредственно по шкале, заранее проградуированной в соответствующих единицах, или считывается с электронного табло цифровых приборов. Наиболее простейшим омметром является электромеханический омметр с однорамочным измерительным механизмом. Он может быть выполнен по последовательной или параллельной схемам. Омметр состоит из источника питания, измерительного механизма и переменного резистора.

Источником питания омметров подобного вида служит, как правило, батарея гальванических элементов. В качестве измерителя  $I$  используется однорамочный магнитоэлектрический измерительный механизм с добавочным со-

противлением  $R_d$  (примером такого измерительного механизма служит гальванометр магнитоэлектрической системы).

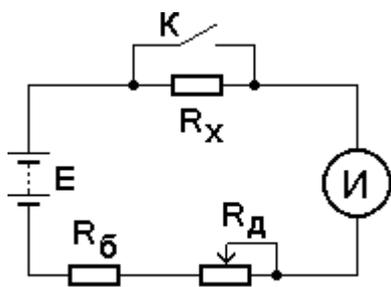


Рис. 11

Рассмотрим сначала последовательную схему омметра (рис. 11).

При включении в цепь резистора с неизвестным сопротивлением измеряется сила тока, которая обратно пропорциональна сопротивлению цепи. Сила тока, протекающего через измерительный механизм при разомкнутом ключе  $K$ , определяется выражением:

$$I = \frac{U}{R_x + R_{и} + R_d + R_б}, \quad (1)$$

где  $R_{и}$  - сопротивление измерительного механизма,  $R_б$  - сопротивление батареи элементов,  $R_d$  - добавочный резистор,  $R_x$  - измеряемое сопротивление.

С другой стороны, эта же сила тока равна:

$$I = K_I * \alpha, \quad (2)$$

где  $K_I$  - постоянная измерительного механизма по току,

$\alpha$  - угол поворота подвижной части измерительного механизма.

Приравняв формулы (1) и (2), найдем  $\alpha$ :

$$\alpha = \frac{U}{K_I * (R_x + R_{и} + R_d + R_б)} \quad (3)$$

При постоянных значениях  $U$ ,  $K_I$ ,  $R_б$ ,  $R_{и}$  и  $R_d$  угол поворота измерительного механизма  $\alpha$  определяется значением измеряемого сопротивления  $R_x$ , то есть шкала прибора может быть проградуирована в единицах сопротивления. Из формулы для  $\alpha$  следует, что шкала у омметра неравномерная.

При бесконечно большом сопротивлении  $R_x$  стрелка прибора не отклоняется, так как ток равен нулю. При нулевом сопротивлении (или замкнутом ключе  $K$ ) сила тока наибольшая и стрелка отклоняется на всю шкалу. Таким образом, нуль шкалы находится у рассматриваемых омметров справа, что соответствует максимальному углу поворота подвижной части измерительного механизма, так как при  $R_x=0$   $\alpha$  максимален. Промежуточные значения сопротивления  $R_x$  вызовут отклонение стрелки омметра в пределах от нуля шкалы до бесконечного сопротивления на шкале.

Недостатком этого способа измерения является то, что с течением времени ЭДС батареи уменьшается, что приводит к погрешности в измерении

сопротивления. Для поддержания постоянного напряжения на измерительном механизме используют добавочный резистор  $R_d$ . При замкнутом ключе  $K$  производится установка нуля омметра изменением сопротивления резистора  $R_d$ .

Омметры с последовательной схемой используются для измерения сравнительно больших сопротивлений (единиц килоом), при меньших значениях  $R_x$  эта схема имеет малую чувствительность.

При измерении небольших сопротивлений применяются омметры, выполненные по параллельной схеме (рис. 12).

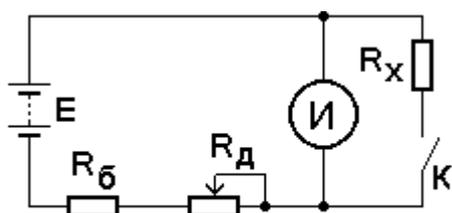


Рис. 12

При замыкании ключа  $K$  ток протекает по двум параллельно соединенным участкам: через измерительный механизм и измеряемый резистор  $R_x$ . Если резистор  $R_x$  отсутствует и замкнут ключ (короткое замыкание выводов измерительного механизма), то весь ток протекает через ключ и стрелка измерительного механизма не отклоняется. Если же

в качестве резистора  $R_x$  взято бесконечно большое сопротивление (соответствует разомкнутому ключу), то весь ток протекает через измерительный механизм и его стрелка отклоняется на всю шкалу. Таким образом, нуль шкалы у такого типа омметров слева. Для контроля правильности показаний прибора размыкают ключ. В этом случае стрелка должна находиться в крайнем правом положении.

Проверку омметров можно провести с помощью магазина сопротивлений. Рассмотрим параметры **магазина сопротивлений измерительного Р33**. Он применяется в качестве меры сопротивления постоянному току и дает возможность получать сопротивления от 0,1 до 99999,9 Ом. Величину сопротивления, введенного в цепь магазина, следует определять, суммируя результаты умножения чисел на лимбах, указанных стрелками, на множители у стрелок, учитывая при этом начальное сопротивление прибора. Среднее значение начального сопротивления (сопротивление при установке всех декадных переключателей на нулевые показания) не превышает 0,06 Ом.

Магазин сопротивления предназначен для работы при температуре окружающего воздуха от 10°C до 30°C и относительной влажности воздуха от 25% до 80% в рабочем диапазоне температур. Нормальные условия: температура (20±5)°C; относительная влажность (60±20)%.

При подключении к зажимам “0” и “0,9 Ω” включается первая декада магазина (9x0,1), при подключении к зажимам “0” и “9,9 Ω” включаются первые две декады магазина (9x0,1 и 9x1), а при подключении к зажимам “0” и “9999,9 Ω” включаются все декады магазина.

При подключении магазина в схему нельзя допускать, чтобы токи через него превышали значения, указанные в таблице.

Декады	9x0,1	9x1	9x10	9x100	9x1000	9x10000
Допустимая сила тока, А	0,5	0,5	0,16	0,05	0,016	0,005

#### 4. Измерение емкости конденсаторов

Измерение емкости конденсаторов может быть осуществлено различными методами. Один из наиболее простых - это метод вольтметра-амперметра. Он основан на измерении емкостного сопротивления конденсатора, которое обратно пропорционально емкости и частоте электрического тока:

$$X_C = \frac{1}{\omega * C_x} = \frac{U_C}{I}, \quad (1)$$

откуда  $C_x = \frac{I}{\omega * U_C}. \quad (2)$

Следовательно, для измерения емкости этим методом необходимо знать частоту напряжения, подаваемого от источника питания.

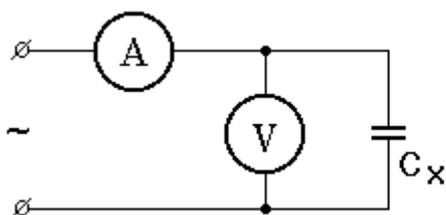


Рис. 13

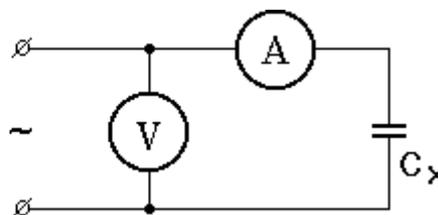


Рис. 14

Как и в случае измерения активного сопротивления в зависимости от величины емкостного сопротивления может быть использована одна из схем (рис. 13, 14). При больших емкостях, то есть малых емкостных сопротивлениях, меньше погрешность измерения при использовании схемы 13; при измерении малых емкостей, то есть больших емкостных сопротивлений, лучше пользоваться схемой 14.

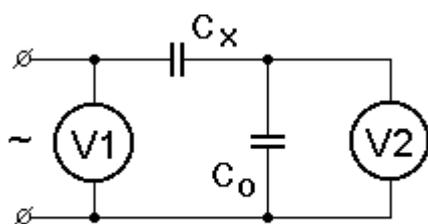


Рис. 15

Одной из разновидностей метода вольтметра-амперметра является метод двух вольтметров, используемых для измерения малых емкостей (рис. 15). Вольтметром  $V_1$  измеряется напряжение питания, а вольтметром  $V_2$  - напряжение на конденсаторе известной емкости  $C_0$ :

$$U_2 = I * X_{C_0} = \frac{I}{\omega * C_0}. \quad (3)$$

Сила тока  $I$  в неразветвленной цепи равна: 
$$I = \frac{U_1}{\frac{1}{\omega * C_x} + \frac{1}{\omega * C_0}}, \quad (4)$$

отсюда 
$$C_x = \frac{C_0 * U_2}{U_1 - U_2}. \quad (5)$$

Емкость конденсатора  $C_0$  должна быть значительной (сопротивление его мало), чтобы вольтметр  $V_2$  вносил незначительные изменения в электрическую цепь. При  $C_0 \gg C_x$  выражение для расчета емкости можно упростить:

$$C_x = \frac{C_0 * U_2}{U_1}. \quad (6)$$

## 5. Измерение индуктивности

Одним из методов измерения индуктивности является метод вольтметра-амперметра. При его использовании необходимо выполнение условия: активное сопротивление катушки  $R_L$  должно быть значительно меньше ее индуктивного сопротивления  $X_L$ . Тогда из закона Ома

$$I = \frac{U_L}{\omega * L}, \quad \text{откуда} \quad L = \frac{U_L}{\omega * I}.$$

Как и в случае измерения активных сопротивлений, в зависимости от значения индуктивного сопротивления катушки можно пользоваться схемой рис. 16 (при малых индуктивных сопротивлениях, то есть малых индуктивностях) или схемой рис. 17 (при больших индуктивных сопротивлениях, то есть больших индуктивностях).

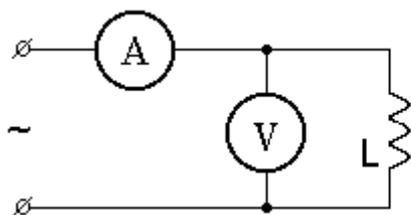


Рис. 16

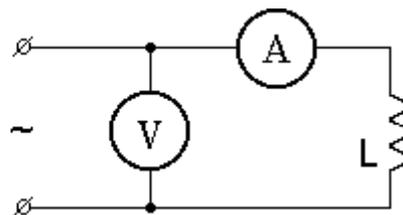


Рис. 17

Для уменьшения погрешности измерения необходимо также учитывать активное сопротивление катушки, так как ее общее сопротивление

$$Z = \frac{U_L}{I} = \sqrt{R_L^2 + \omega^2 * L^2}, \quad \text{отсюда } L = \frac{\sqrt{Z^2 - R_L^2}}{\omega}. \quad (1)$$

С увеличением частоты подаваемого напряжения точность измерений уменьшается из-за влияния собственной емкости катушки и входной емкости вольтметра, которые суммируются. Емкость и измеряемая индуктивность образуют параллельный контур, сопротивление которого при резонансе возрастает, что эквивалентно увеличению индуктивности. Поэтому значение индуктивности, полученное в результате измерения, будет больше действительного значения, причем погрешность увеличивается при увеличении частоты напряжения питания.

## 6. Экспериментальное определение структуры и выводов (эмиттер, база, коллектор) биполярного транзистора

Вам известно, что у биполярных транзисторов имеются три области: база (средняя), эмиттер и коллектор (крайние).

На рисунках, поясняющих принцип работы биполярного транзистора, области эмиттера и коллектора выглядят симметрично и казалось бы, что выводы коллектора и эмиттера можно поменять местами. Однако конструктивно эмиттер и коллектор выполняются по-разному (имеют неодинаковую концентрацию носителей заряда и площадь поверхности). Поэтому менять их местами не следует, так как получится существенно меньший коэффициент усиления по току и меньшая мощность рассеяния транзистора. Для некоторых транзисторов в этом случае может возникнуть лавинный пробой перехода база-эмиттер, что нарушит нормальную работу собранного электронного устройства. На рис. 18 приведены две выходные характеристики транзистора КТ315А в схеме включения с общим эмиттером: 1 - для стандартного включения транзистора, 2 - для

случая, когда эмиттер и коллектор транзистора поменяли местами (инверсный режим работы).

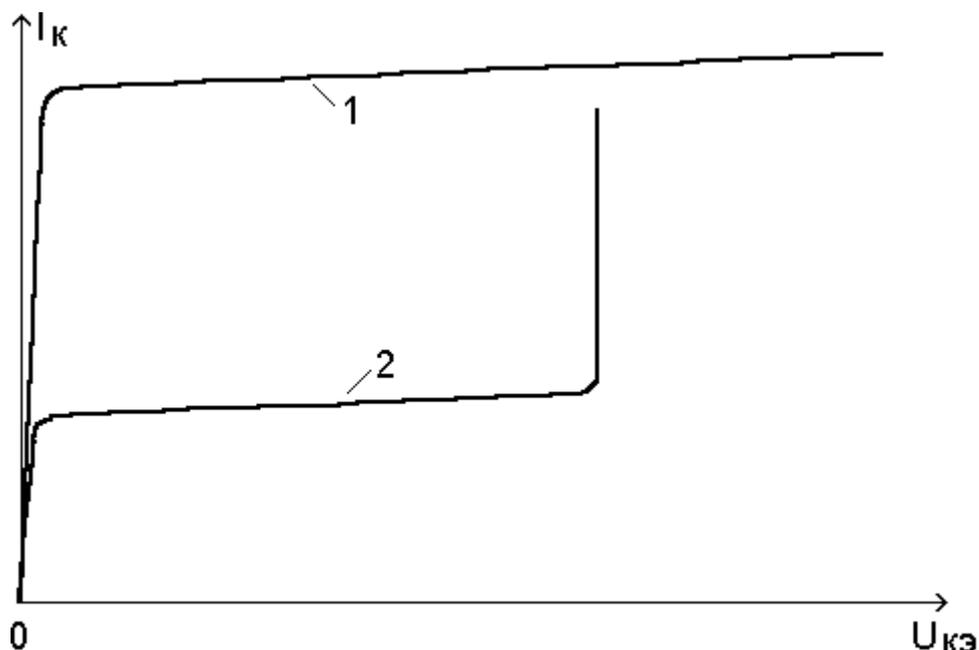


Рис. 18

Последнее время все чаще используют транзисторы, извлеченные из неработающих электронных приборов. В связи с этим возникает проблема определения структуры и выводов транзисторов. При экспериментальном определении структуры транзистора (p-n-p или n-p-n) его можно рассматривать состоящим из двух диодов, соединенных в зависимости от структуры анодами или катодами (рис. 19 а, б), причем точка соединения диодов соответствует выводу базы транзистора. Для определения структуры и вывода базы транзистора воспользуемся омметром с известной полярностью напряжения, подаваемого на гнезда омметра от внутреннего источника питания. Обычно положительный полюс внутреннего источника питания омметра соединен с гнездом “общий”.

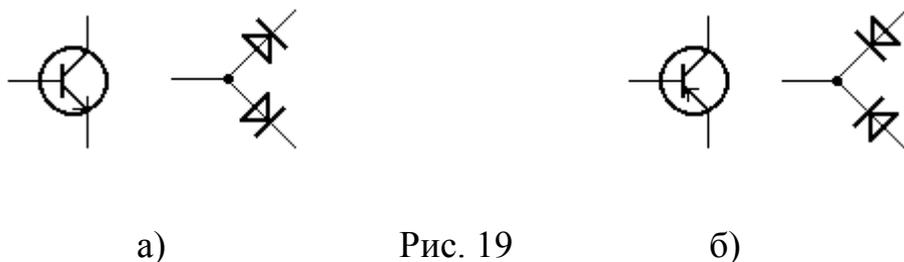


Рис. 19

Следует иметь в виду, что существуют омметры и с другой полярностью напряжения на гнездах. Так, например, авометр Ц20-05 выпускается в двух

модификациях: в одной из них на общее гнездо омметра выведен плюс внутреннего источника питания, а в другой - минус. Поэтому перед экспериментальным определением структуры и вывода базы транзистора следует с помощью диода с маркированной полярностью проверить, какой полюс внутреннего источника питания омметра соединен с общим гнездом.

При одной полярности щупов омметра, подключаемых к переходу транзистора, сопротивление перехода оказывается малым (прямое подключение), а при другой - большим (обратное подключение). Если при малом сопротивлении переходов транзистора плюсовой щуп омметра касался одного и того же вывода, значит это вывод базы и транзистор имеет структуру n-p-n. Если в этой же ситуации минусовой щуп омметра касался одного и того же вывода (базы), то транзистор p-n-p типа.

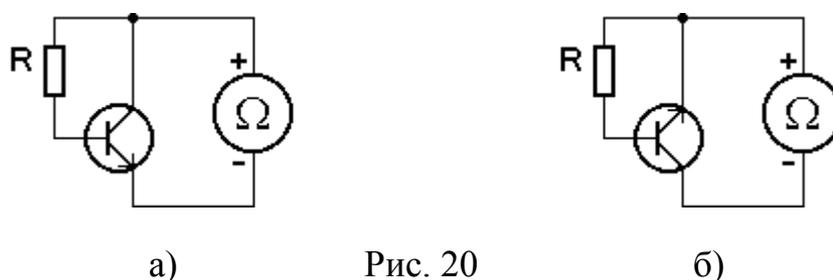


Рис. 20

После того, как определена структура транзистора и найден вывод базы транзистора, приступают к определению выводов эмиттера и коллектора. Существует несколько вариантов экспериментального определения выводов эмиттера и коллектора. Рассмотрим два из них.

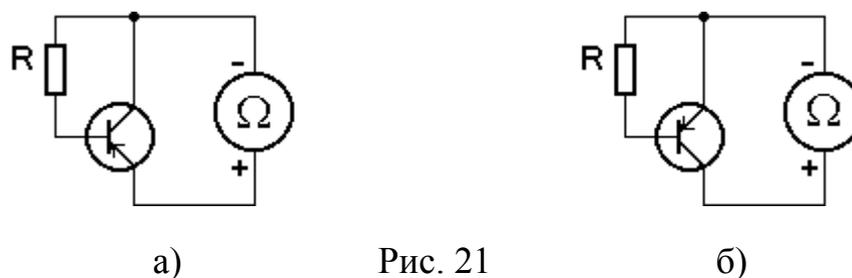


Рис. 21

Возьмем резистор сопротивлением 10-100 кОм и включим его между выводом базы и предполагаемым выводом коллектора. К выводам эмиттера и коллектора омметр можно подключить так, как показано на рис. 20 а и 20 б для транзистора n-p-n типа, а на рис. 21 а и 21 б - для транзистора p-n-p типа. На всех рисунках предполагаемый вывод коллектора расположен сверху (по рисунку). Правильному выбору выводов коллектора и эмиттера соответствует меньшее сопротивление, фиксируемое омметром, т. е. подключение по схемам рис. 20 а, 21 а.

Рассмотрим второй вариант определения выводов коллектора и эмиттера. В качестве источника питания используют любой источник постоянного напряжения (3-9 В). Миллиамперметр включают между положительным полюсом источника и предполагаемым выводом коллектора для транзисторов n-p-n типа (рис. 22а и 22б), между отрицательным полюсом источника и предполагаемым выводом коллектора для транзисторов р-n-р типа (рис. 23а и 23б). Предполагаемый вывод коллектора, как и в предыдущем случае, расположен на рисунке вверху. Правильному выводу коллектора соответствует больший ток, фиксируемый миллиамперметром.

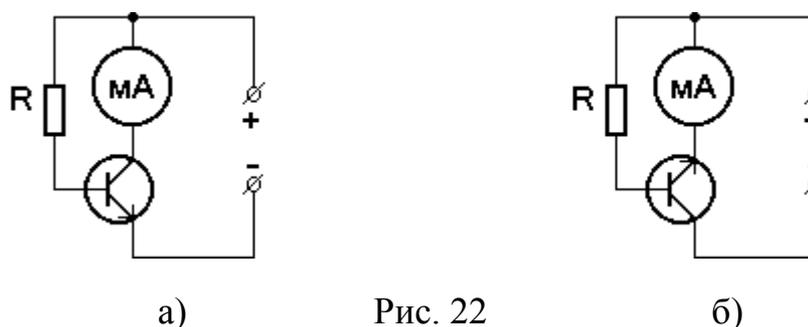


Рис. 22

В этом варианте можно определить не только выводы транзистора, но и приблизительно определить коэффициент усиления транзистора по току:

$$\beta = \frac{\Delta I_{\text{к}}}{\Delta I_{\text{б}}} \approx \frac{I_{\text{к}}}{I_{\text{б}}}, \quad (1)$$

где  $I_{\text{к}}$  - сила тока коллектора,  $I_{\text{б}}$  - сила тока базы.

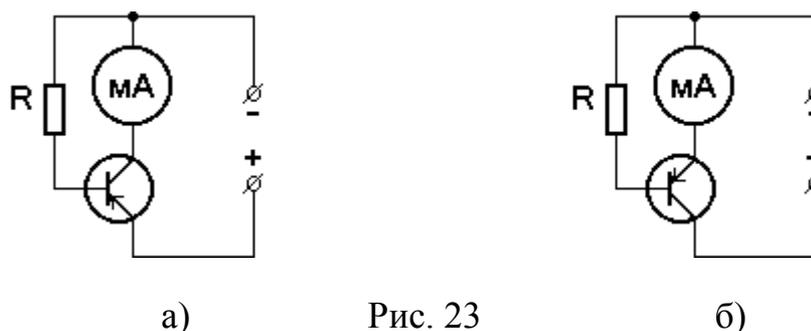


Рис. 23

Ток базы можно рассчитать по формуле

$$I_{\text{б}} = \frac{U_{\text{п}} - U_{\text{бэ}}}{R_{\text{б}}}, \quad (2)$$

где  $U_{\text{п}}$  - напряжение источника питания,  $U_{\text{бэ}}$  - напряжение между базой и эмиттером транзистора.

Для кремниевых транзисторов напряжение база-эмиттер составляет примерно 0,6 В. Выберем напряжение питания 4,5 В и сопротивление резистора 390 кОм. Тогда  $I_b = 10^{-2}$  мА, и коэффициент усиления определяется из формулы:

$$\beta \approx \frac{100I_k}{\text{мА}}, \quad (3)$$

где  $I_k$  - сила тока коллектора, выраженная в миллиамперах.

## 7. Структурная схема осциллографа

Электронно-лучевой осциллограф - это прибор, служащий для наблюдения и измерения параметров электрических сигналов. В нем используется отклонение электронного луча для получения изображения мгновенных значений функциональных зависимостей переменных величин, одной из которых обычно является время.

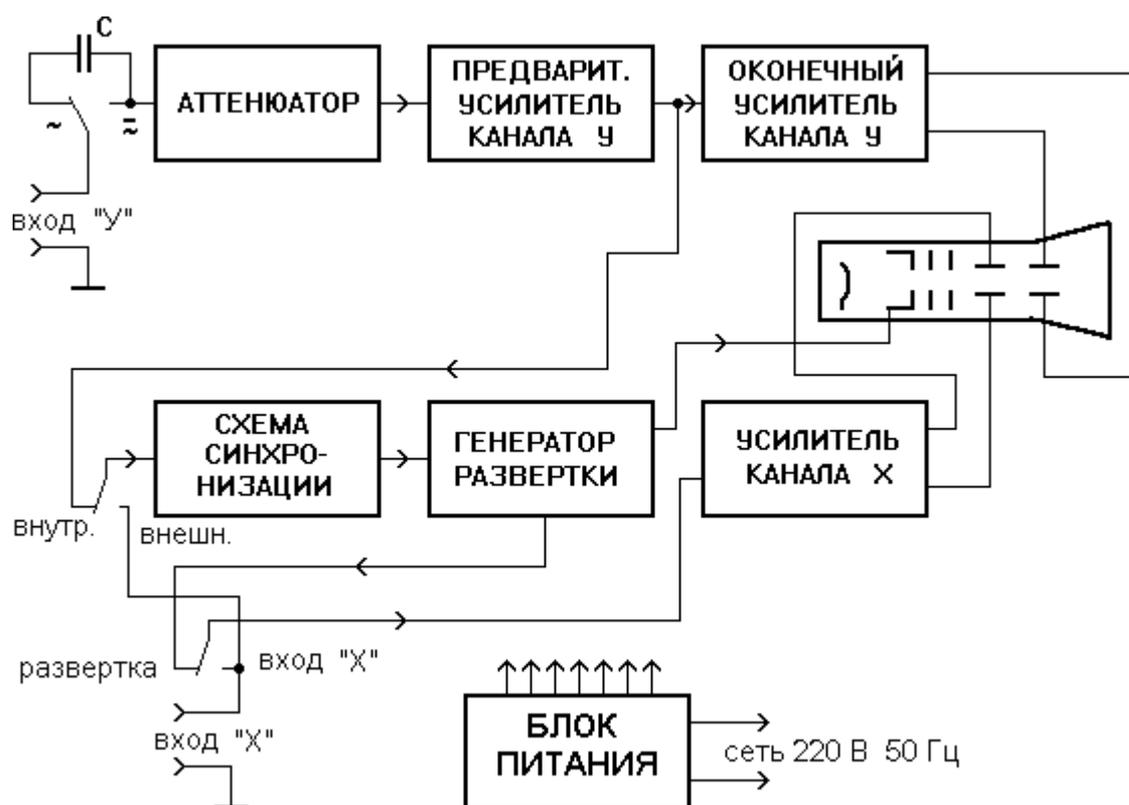


Рис. 24

Осциллограф содержит следующие основные блоки: электронно-лучевую трубку (ЭЛТ), усилитель вертикально отклонения, генератор раз-

вертки и блок питания. На рис. 24 представлена структурная схема осциллографа ОМЛ-3М.

Напомним, что в ЭЛТ создается поток электронов, движение которого управляется напряжением, подаваемым на вертикально и горизонтально отклоняющие пластины. Если на вход “У” подано исследуемое напряжение (при необходимости оно усиливается усилителем), то на экране осциллографа будет видна вертикальная линия, длина которой равна удвоенной амплитуде колебаний. Для изучения изменения сигнала с течением времени необходимо подать напряжение на горизонтально отклоняющие пластины. Оно вырабатывается в генераторе развертки, который предназначен для равномерного перемещения луча вдоль оси X от левого до правого края экрана, а затем быстрого возвращения его в крайнее левое положение. Частоту напряжения, вырабатываемого генератором развертки, можно ступенчато и плавно менять в достаточно больших пределах (как правило, от 10 Гц до 1 МГц и более).

Если напряжение на входе “У” равно нулю, но включен генератор развертки, на экране будет видна горизонтальная линия. При наличии двух напряжений одновременно (входного и с генератора развертки) на экране будет видна осциллограмма исследуемого сигнала.

Чтобы получить неподвижное изображение, частота генератора развертки должна быть равна или в целое число раз меньше частоты исследуемого сигнала. Поскольку частота генератора развертки недостаточно стабильна, его нужно синхронизировать (согласовать во времени) с частотой исследуемого сигнала. Когда частота генератора развертки близка частоте исследуемого напряжения, то это напряжение изменяет частоту генератора развертки до точного совпадения с частотой исследуемого сигнала.

Согласование частоты генератора развертки с частотой исследуемого сигнала обеспечивает блок синхронизации. Существует три варианта синхронизации: внешняя, внутренняя и от сети. Синхронизацию от сети применяют для исследования сигналов, частота которых равна или кратна частоте питающей сети (50 Гц). Наиболее часто используют внутреннюю синхронизацию. В этом случае часть исследуемого напряжения подается в блок синхронизации, в котором вырабатываются импульсы, управляющие работой генератора развертки. Исследуемое напряжение как бы “навязывает” свой период генератору развертки. Если при этом период собственных колебаний генератора развертки почти равен (или почти кратен) периоду колебаний исследуемого напряжения, то колеба-

ния генератора синхронизируются и происходят в такт с исследуемым напряжением.

Генератор развертки может работать в двух режимах: в режиме непрерывной генерации и в ждущем режиме. В ждущем режиме генератор развертки начинает вырабатывать пилообразное напряжение, если на вход “У” осциллографа поступает исследуемый сигнал достаточной амплитуды (в этом режиме, например, не удастся обеспечить внутреннюю синхронизацию при исследовании выпрямленного напряжения с малым коэффициентом пульсаций).

## **8. Применение осциллографа для измерения амплитуды и частоты электрических сигналов**

Осциллографы, выпускаемые в последние годы имеют, как правило, калиброванную длительность развертки по оси Х и калиброванный коэффициент усиления усилителя “У”. Это позволяет легко определять частоту и напряжение исследуемого сигнала.

В осциллографе ОМЛ-3М имеются следующие калиброванные длительности развертки: 50 мс/дел, 20 мс/дел, 10 мс/дел, 5 мс/дел, 2 мс/дел, 1 мс/дел, 0,5 мс/дел, 0,2 мс/дел, 0,1 мс/дел, 50 мкс/дел, 20 мкс/дел, 10 мкс/дел, 5 мкс/дел, 2 мкс/дел, 1 мкс/дел, 0,5 мкс/дел, 0,2 мкс/дел, 0,1 мкс/дел. Калиброванный коэффициент отклонения по оси У (связан с коэффициентом усиления по оси У) в осциллографе ОМЛ-3М имеет следующие значения: 50 В/дел, 10 В/дел, 5 В/дел, 2 В/дел, 1 В/дел, 0,5 В/дел, 0,2 В/дел, 0,1 В/дел, 0,05 В/дел, 0,02 В/дел, 0,01 В/дел.

### *Порядок включения осциллографа.*

1. Включить вилку шнура питания в сеть 220 В, 50 Гц.
2. Установить ручки фокус, смещение по горизонтали, смещение по вертикали в средние положения.
3. Установить максимальный коэффициент вертикального отклонения 50 В/дел (при этом нижняя кнопка переключателя “В/дел” должна быть отжата).
4. Установить любую длительность развертки (кнопками “Время/дел”).
5. Установить автоколебательный режим работы развертки (кнопка “авт.-ждущ.” отжата).
6. Установить переключатель “разв.-вх.Х” в положение “разв.” (кнопка отжа-

та).

7. Установить переключатель “внутр.-внешн.” в положение “внутр.” (кнопка отжата).
8. Включить прибор поворотом ручки “яркость” вправо до упора.
9. Добиться органами управления оптимальной яркости и фокусировки луча развертки.

Прибор готов к проведению измерений через 5 минут после включения. Для измерения параметров электрических сигналов ручками смещения сигнала совместите сигнал с делениями шкалы так, чтобы было удобно проводить измерения. Выберите положения переключателей “В/дел” такими, чтобы размер исследуемого сигнала по вертикали получался от 2 до 6 делений.

Рассмотрим определение *частоты* исследуемого сигнала. Пусть период исследуемого сигнала занимает два деления, а длительность развертки установлена 10 мс/дел. Тогда период исследуемого сигнала будет равен:  $2 \text{ дел} * 10 \text{ мс/дел} = 20 \text{ мс}$ . Затем из формулы связи периода и частоты исследуемого сигнала ( $f = 1/T$ ) определим его частоту:

$$f = 1/20 \text{ мс} = 50 \text{ Гц}$$

Рассмотрим теперь, как определяется *амплитуда* исследуемого сигнала. Пусть исследуемый сигнал имеет синусоидальную форму. Амплитуда синусоидального сигнала равна половине размаха изображения по вертикали. Для ее нахождения определим сначала, сколько делений занимает изображение сигнала по вертикали. Умножив число делений, соответствующее амплитуде, на коэффициент отклонения в вольтах на деление, получим амплитуду сигнала в вольтах.

Например, изображение по вертикали занимает 4 деления. Следовательно амплитуда исследуемого сигнала на экране осциллографа будет составлять два деления. Если коэффициент отклонения равен 5 В/дел, то амплитуда сигнала будет равна 10 В.

При проведении исследований с помощью электронного осциллографа обязательно надо обращать внимание на *полосу пропускания* канала вертикального отклонения. Проведем эксперимент с осциллографами ОМЛ-3М и ОМШ-3М. Электронный осциллограф ОМЛ-3М имеет полосу пропускания канала “У” от 0 до 5 МГц, а осциллограф ОМШ-3М - от 0 до 25 кГц. На входы вертикального отклонения обоих осциллографов подадим одновременно прямоугольные импульсы длительностью 2-3 микросекунды со скважностью равной двум. На экране осциллографа ОМЛ-3М форма импульсов прямоугольная, а на экране осциллографа ОМШ-3М импульсы имеют форму аналогичную форме импульсов на выходе интегрирующей RC - цепи при подаче на

ее вход прямоугольных импульсов напряжения (рис. 25). При изменении в широких пределах частоты следования прямоугольных импульсов, подаваемых на вертикальные входы осциллографов, наблюдаем изменение формы сигнала на экранах. Полученные результаты можно объяснить, анализируя спектральный состав прямоугольных импульсов. Результаты проведенного эксперимента убеждают в необходимости учета величины полосы пропускания канала вертикального отклонения осциллографа для наблюдения без искажений прямоугольных импульсов.

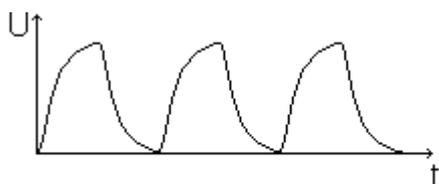


Рис. 25

мых на вертикальные входы осциллографов, наблюдаем изменение формы сигнала на экранах. Полученные результаты можно объяснить, анализируя спектральный состав прямоугольных импульсов. Результаты проведенного эксперимента убеждают в необходимости учета величины полосы пропускания канала вертикального отклонения осциллографа для наблюдения без искажений прямоугольных импульсов.

денного эксперимента убеждают в необходимости учета величины полосы пропускания канала вертикального отклонения осциллографа для наблюдения без искажений прямоугольных импульсов.

## 9. Получение вольт-амперной характеристики двухполюсника (резистора, диода) на экране осциллографа

### Наблюдение вольт-амперной характеристики резистора на экране осциллографа

Для получения вольт-амперной характеристики (ВАХ) резистора на экране осциллографа необходимо, чтобы отклонение луча по оси “У” осциллографа было пропорционально току, протекающему через резистор, а по оси “Х” - напряжению на его концах. Отклонение луча по оси “У” осциллографа проградуировано в вольтах на деление. Если параллельно входу “У” подключить известный резистор небольшого сопротивления, то, зная падение напряжения на этом резисторе, можно определить протекающий через него ток. Поэтому можно проградуировать вход “У” в миллиамперах на деление, если напряжение снимается с эталонного резистора  $R_{эт}$  (резистора известного сопротивления).

Пусть нам необходимо получить по оси У коэффициент отклонения 1 мА/дел. Рассчитаем, чему должно быть равно сопротивление эталонного резистора. В осциллографе необходимо выбрать наименьший коэффициент отклонения в В/дел по оси У. Это следует из общего требования к приборам для измерения тока (падение напряжения на амперметре должно быть как можно меньше, чтобы не изменять режим работы исследуемой цепи). Для осциллографа ОМЛ-3М минимальный коэффициент отклонения 0,01 В/дел. Из закона Ома для участка цепи следует, что  $R_{эт}$  равно частному от деления коэффициента отклонения по напряжению на коэффициент отклонения по току.

$$\text{В нашем случае } R_{\text{эт}} = \frac{0,01 \text{ В/дел}}{0,001 \text{ А/дел}} = 10 \text{ Ом}$$

Для наблюдения вольт-амперной характеристики резистора на экране осциллографа последовательно с исследуемым резистором подключают эталонный резистор  $R_{\text{эт}}$  (резистор известного сопротивления). Возможны две схемы подключения (рис. 26, 27).

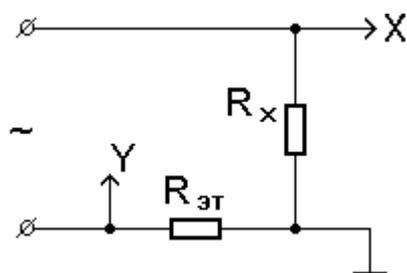


Рис. 26

Рассмотрим схему рис. 26. В ней корпус осциллографа подключен к точке соединения резисторов  $R_{\text{эт}}$  и  $R$ . Напряжение с резистора  $R_{\text{эт}}$  подается на вход “У” осциллографа, а напряжение с исследуемого резистора  $R$  подается на вход “Х” осциллографа.

В схеме рис. 27 корпус осциллографа подключается к нижнему (по схеме) выводу резистора  $R_{\text{эт}}$ , вход “У” - к точке соединения эталонного и исследуемого резисторов, а вход “Х” - к верхнему (по схеме) выводу исследуемого резистора.

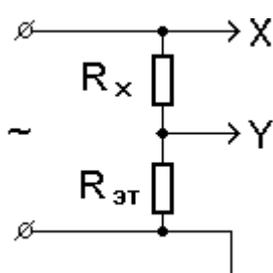


Рис. 27

ВАХ резистора представляет собой прямую линию, которая на экране осциллографа может располагаться в любом из квадрантов в зависимости от схемы подключения осциллографа (рис. 26, 27) и от того, куда отклоняется электронный луч осциллографа при подаче на его вход положительного потенциала относительно корпуса.

Пусть, например, в осциллографе при подаче на входы “У” и “Х” положительного потенциала относительно корпуса смещение луча происходит вверх и вправо (чаще всего в осциллографах реализован именно такой вариант). Тогда ВАХ резистора, получаемая с помощью схемы рис. 27, будет расположена в первом и третьем квадрантах.

### **Наблюдение вольт-амперной характеристики полупроводникового диода на экране осциллографа**

Рассмотрим сначала снятие вольт-амперной характеристики диода по точкам. При этом необходимо учитывать способы подключения амперметра и вольтметра в зависимости от сопротивления участка цепи, на котором измеряют ток и напряжение.

При снятии по точкам обратной ветви вольт-амперной характеристики диода измерительные приборы подключают по схеме рис. 28, так как внутреннее сопротивление амперметра значительно меньше обратного сопротивления диода и напряжение  $U_B$ , измеряемое вольтметром, будет примерно равно напряжению на диоде  $U_D$ . В выражении  $U_B = U_D + U_a$  можно пренебречь величиной напряжения на миллиамперметре  $U_a$  по сравнению с величиной  $U_D$ .

При снятии по точкам прямой ветви вольт-амперной характеристики

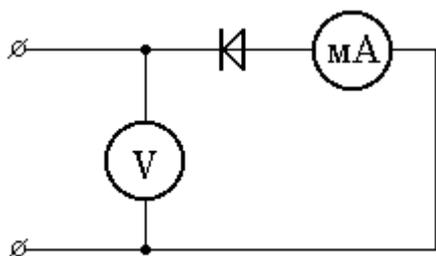


Рис. 28

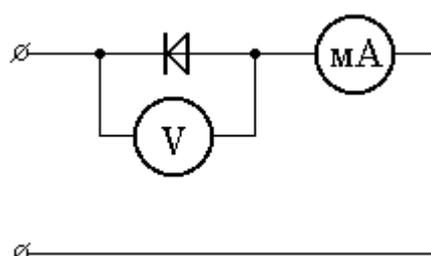


Рис. 29

ки диода измерительные приборы подключают по схеме рис. 29, так как внутреннее сопротивление вольтметра значительно больше прямого сопротивления диода. Для снятия начального участка ВАХ диода необходимо использовать вольтметр с большим внутренним сопротивлением (более 1 МОм), так как в противном случае погрешность измерений оказывается весьма существенной за счет больших токов, протекающих через вольтметр (сравнимых с токами, протекающими через диод).

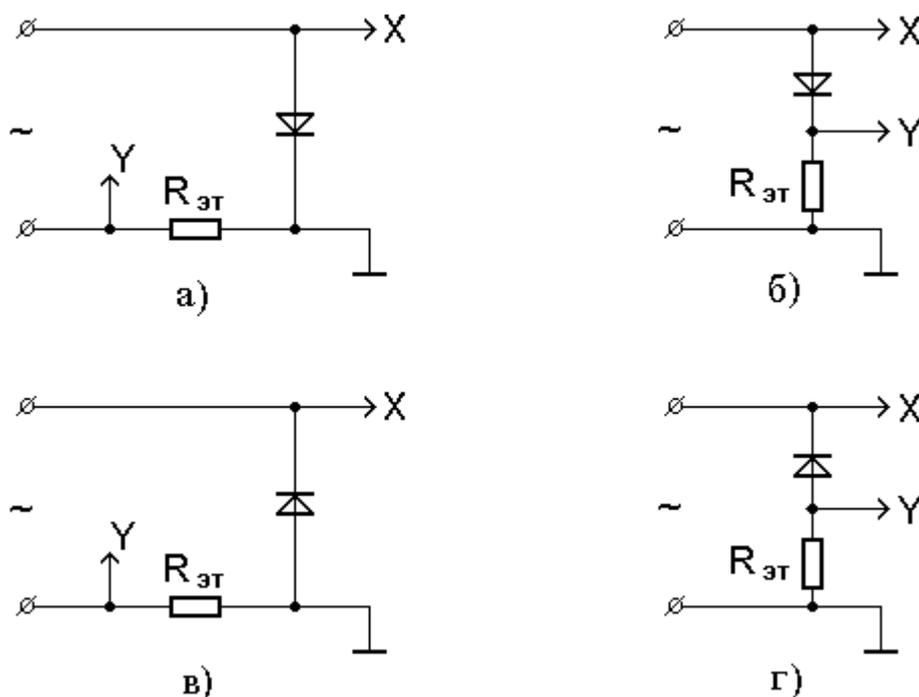


Рис. 30

Схему рис. 28 можно использовать и для снятия прямой ветви ВАХ диода, если внутреннее сопротивление миллиамперметра будет существенно меньше прямого сопротивления диода. Схему рис. 29 можно использовать и для снятия обратной ветви ВАХ диода, если внутреннее сопротивление вольтметра будет существенно больше обратного сопротивления диода. Изменить схему рис. 28 для снятия прямой ветви, а схему рис. 29 для снятия обратной ветви ВАХ диода можно двумя способами: либо изменяя полярность источника питания, либо изменяя полярность подключения исследуемого диода.

Преобразуем рассмотренные схемы для снятия ВАХ диода на осциллографе. На экране осциллографа обычно наблюдают одновременно прямую и обратную ветви ВАХ диода, используя для этого переменное напряжение. Соответственно получаются 4 варианта подключения приборов для наблюдения ВАХ диода на экране осциллографа (рис. 30).

## **IV. Монтаж и исследование радиотехнических устройств**

### **10. Особенности монтажа радиотехнических элементов**

При монтаже радиотехнических элементов применяют скрутку (холодную пайку) и горячую пайку. Следует иметь в виду, что “холодная пайка” при эксплуатации собранного устройства может быть горячей (нагревается место скрутки проводов вследствие повышенного сопротивления), а горячая пайка всегда холодная.

Для пайки радиоэлементов обычно используют оловянно-свинцовый припой и канифольный флюс (сухая канифоль или раствор канифоли в спирте). Использовать для пайки радиоэлементов кислотный флюс нельзя, так как с течением времени электрический контакт в месте пайки может нарушиться. Пайку производят электрическим паяльником с медным наконечником. В учебных заведениях применяются паяльники, рассчитанные на напряжение 42 В.

Флюс при пайке необходим для смачивания спаиваемых поверхностей и равномерного растекания припоя. Флюс защищает место пайки от окисления. Качественная пайка получается при определенной температуре жала паяльника, а следовательно при определенной температуре поверхности спаиваемых деталей. При недостаточной температуре припой образует кашеобразную массу, которая при остывании не обеспечивает надежного механического и элект-

трического контакта. При высокой температуре жала паяльника очень быстро выгорает канифольный флюс, загрязняется жало паяльника и поверхность спаиваемых деталей.

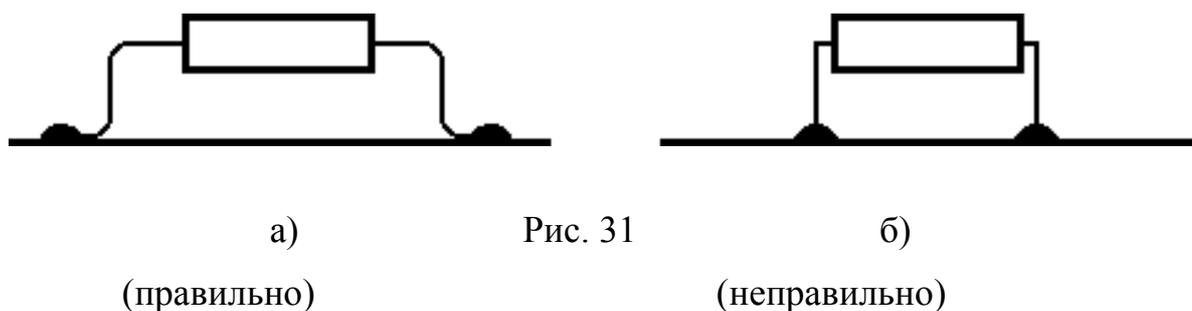
При пайке необходимо следить, чтобы жало паяльника было залужено (покрыто тонким слоем олова) и не содержало сгоревших остатков канифольного флюса. Если жало покрыто слоем окислы, то выполнить пайку радиоэлементов будет невозможно, так как теплопроводность окислы меньше теплопроводности олова и меди, следовательно тепловой поток от паяльника к месту пайки будет существенно ослаблен, место пайки не прогреется и к нему с помощью жала паяльника нельзя доставить порцию припоя.

Перед пайкой спаиваемые детали должны быть тщательно очищены от окислов и покрыты канифольным лаком (15-20 % раствор канифоли в спирте). Подготовленные к пайке монтажные провода должны иметь оголенную часть не более 2-3 миллиметров, при пайке обмоточных проводов ПЭВ (провод эмалевый влагостойкий) необходимо удалить с поверхности провода изоляционный лак.

Залуживание жала паяльника производят следующим образом: жало горячего паяльника зачищают напильником и как можно быстрее касаются им флюса и припоя. Удобно пользоваться мелкой металлической сеткой, на которой находится флюс и припой. Окислы с поверхности жала паяльника удаляют, прижимая жало к поверхности металлической сетки и перемещая его; канифольный флюс защищает жало от окисления. Место пайки должно прогреваться паяльником 3-5 секунд (паяльником не рекомендуется пользоваться как кисточкой).

При монтаже необходимо правильно формировать выводы радиоэлементов. На рис. 31 приведены примеры правильного (а) и неправильного (б) формирования выводов резистора для монтажа на одной стороне фольгированного материала.

При пайке радиоэлементов пинцет используется не только для удержания радиоэлементов, а также в качестве теплоотвода.



Перед монтажом радиоэлементов их необходимо проверить. Резисторы проверяют с помощью омметра, измеряя их сопротивление постоянному току. Большинство конденсаторов можно проверить, измеряя их емкость методом вольтметра-амперметра. Катушки индуктивности чаще всего проверяют, измеряя их сопротивление постоянному току. Для высокочастотных катушек это сопротивление близко к нулю. Проверить таким образом межвитковое замыкание в катушке нельзя (для его определения существуют другие способы).

Исправность полупроводниковых диодов проверяют омметром, измеряя сопротивление р-п перехода в прямом и обратном направлениях. В прямом направлении сопротивление диода малое, в обратном - большое (следует иметь в виду, что омметром, выполненным по параллельной схеме, сопротивление кремниевого диода в прямом направлении измерить не удастся, так как напряжение на зажимах омметра недостаточно для преодоления потенциального барьера р-п перехода). При проверке транзисторов нужно проверить не только исправность двух р-п переходов, но и сопротивление между выводами эмиттер-коллектор транзистора. Оно должно быть большим.

## 11. Исследование двухполупериодного выпрямителя

Из курса физики Вам известно, что **выпрямитель** представляет собой прибор, преобразующий переменный по величине и направлению ток в ток одного направления. Выпрямители относятся к вторичным источникам электропитания.

Простейший выпрямитель переменного тока состоит из трансформатора и полупроводникового диода (рис. 32). Для простоты будем считать трансформатор и диод идеальными, то есть у трансформатора активное сопротивление обмоток равно нулю, прямое сопротивление диода также равно нулю, а обратное сопротивление диода равно бесконечности (обратным током можно пренебречь).

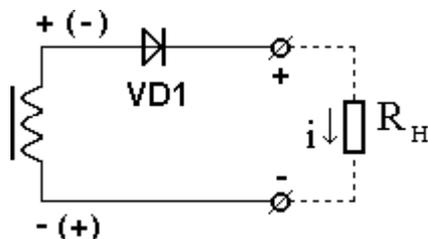


Рис. 32

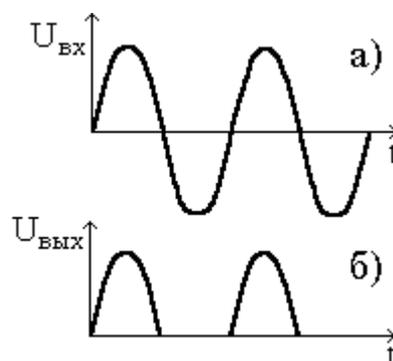


Рис. 33

На вход выпрямителя со вторичной обмотки трансформатора подается синусоидальное напряжение (рис. 33а). В первый полупериод, когда на верхней (по схеме) точке обмотки положительный потенциал относительно нижней точки, диод открыт и через нагрузочный резистор протекает ток. Во второй полупериод (полярность напряжения указана в скобках) диод закрыт и ток в резисторе отсутствует. Таким образом, выходное напряжение (оно снимается с нагрузочного резистора) имеет форму половинок синусоиды (рис. 33 б). Оно называется пульсирующим.

Рассмотренный выпрямитель называется *однополупериодным*, поскольку в нем используются только половины каждого из периодов сетевого напряжения. Схема однополупериодного выпрямителя в практике применяется очень редко, поскольку получается большой коэффициент пульсаций выпрямленного напряжения (по сравнению с двухполупериодным выпрямителем при одинаковых сопротивлениях нагрузки).

В практике применяются *двухполупериодные* выпрямители. Они бывают мостовыми и с выводом от средней точки вторичной обмотки трансформатора. В двухполупериодных выпрямителях используются оба полупериода напряжения сети, поэтому они являются более эффективными, чем однополупериодные.

Рассмотрим работу двухполупериодного выпрямителя с двумя диодами и выводом от средней точки вторичной обмотки трансформатора (рис. 34). Его можно рассматривать как совокупность двух однополупериодных выпрямителей, к которым подсоединен один и тот же резистор нагрузки.

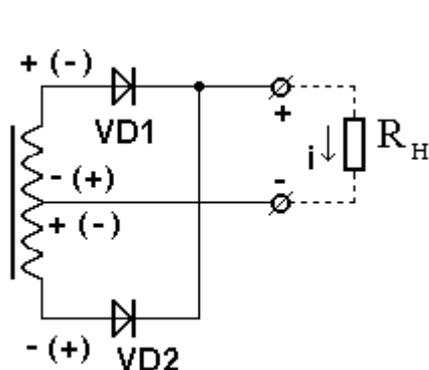


Рис. 34

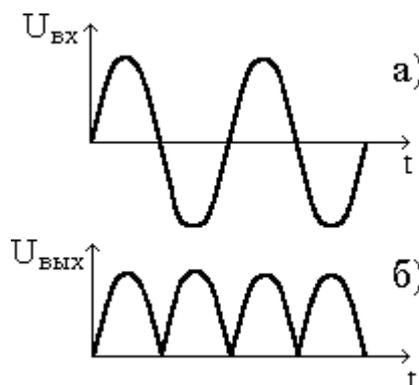


Рис. 35

Пусть в первый полупериод на верхней (по схеме) точке обмотки трансформатора оказался положительный потенциал относительно нижней точки и, соответственно, относительно средней точки. Тогда ток будет протекать от верхней точки обмотки через диод VD1 к выводу “+”, через резистор нагрузки

к выводу “-” и средней точке обмотки. Во второй полупериод на нижней (по схеме) точке обмотки окажется положительный потенциал относительно средней и верхней точки. Ток в этом случае будет протекать от нижней точки обмотки через диод VD2 к выводу “+”, через резистор нагрузки к выводу “-” и средней точке вторичной обмотки трансформатора. Таким образом, ток через резистор все время протекает в одном направлении и на выходе получается форма напряжения, изображенная на рис. 35 б.

Недостатком рассмотренного выпрямителя является то, что в каждый из полупериодов напряжение снимается только с половины вторичной обмотки трансформатора.

Более экономичным является двухполупериодный выпрямитель, собранный на четырех диодах (рис. 36). Эта схема называется *мостовой*, поскольку в ней применен диодный мост. К одной из диагоналей моста присоединяют вторичную обмотку трансформатора, а к другой - нагрузочный резистор. Иногда на схемах диодный мост изображают с помощью одного диода (рис. 37).

В положительный полупериод сетевого напряжения (сверху по схеме на обмотке “+”, снизу “-”) ток протекает от верхней точки обмотки через диод VD2 к клемме “+”, через резистор нагрузки к клемме “-”, через диод VD4 к нижней точке обмотки. В отрицательный полупериод сетевого напряжения (полярность показана в скобках) ток протекает от нижней точки обмотки че-

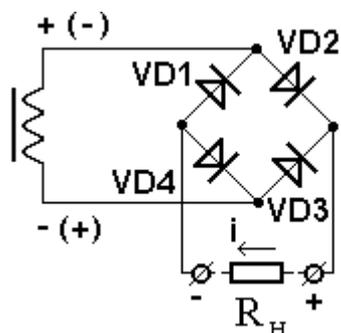


Рис. 36

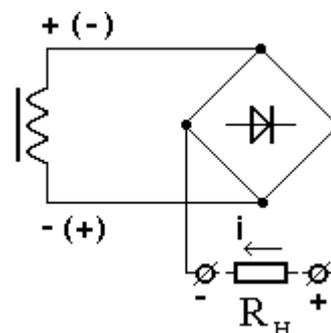


Рис. 37

рез диод VD3 к клемме “+”, через резистор нагрузки к клемме “-”, через диод VD1 к верхней точке обмотки. Таким образом, каждая пара диодов работает поочередно и оба полупериода ток через резистор нагрузки имеет одно и то же направление (рис. 35 б).

Выпрямленное напряжение, получаемое на выходе всех рассмотренных типов выпрямителей, является пульсирующим; в нем можно выделить постоянную и переменную составляющие. Постоянная составляющая выпрямлен-

ного напряжения - это среднее значение напряжения за период. Коэффициент пульсаций - это отношение амплитуды первой гармоники выпрямленного напряжения к постоянной составляющей выпрямленного напряжения. Для нормальной работы большинства электронных устройств необходимо, чтобы пульсации напряжения были как можно меньше. Поэтому на выходе выпрямителей достаточно часто устанавливают *сглаживающие фильтры*, уменьшающие пульсации выпрямленного напряжения.

Основными элементами фильтров служат конденсаторы, катушки индуктивности и транзисторы, сопротивления которых различны для постоянного и переменного токов. В зависимости от используемых элементов различают емкостные, индуктивные и электронные фильтры.

Простейшим емкостным фильтром служит конденсатор, включаемый параллельно резистору нагрузки. Рассмотрим, как изменится выходное напряжение при использовании такого фильтра в однополупериодном выпрямителе (рис. 38). В интервал времени  $\Delta t$  положительного полупериода сетевого напряжения конденсатор через открытый диод заряжается в полярности, указанной на схеме. Когда напряжение на вторичной обмотке трансформатора становится меньше напряжения, до которого зарядился конденсатор, он начинает разряжаться через нагрузочный резистор. Причем направление разрядного тока совпадает с направлением тока, протекающего в резисторе через открытый диод. В следующий полупериод конденсатор через открытый диод снова заряжается и процессы разрядки повторяются. Тем самым заполняются паузы в токе, протекающем через резистор, и пульсации выпрямленного напряжения сглаживаются (рис. 39).

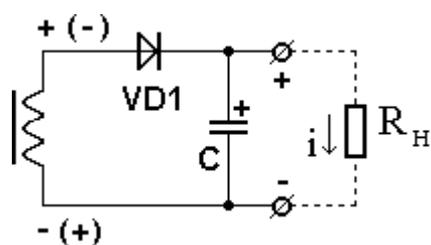


Рис. 38

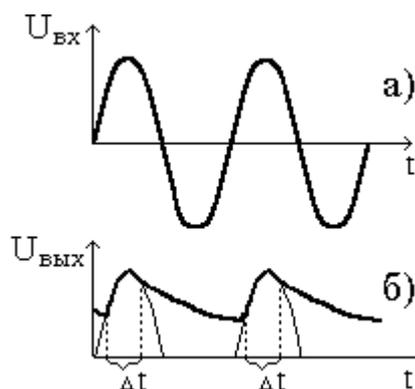


Рис. 39

Аналогично работают емкостные фильтры и в других типах выпрямителей.

При расчете схем выпрямителей необходимо знать следующие электрические параметры полупроводниковых диодов:

- максимально допустимое значение амплитуды обратного напряжения;
- максимально допустимое значение амплитуды тока, протекающего через диод в прямом направлении;
- максимально допустимое среднее значение выпрямленного тока;
- максимальное значение тока через диод при максимально допустимом обратном напряжении;
- прямое падение напряжения на диоде при заданном токе через диод;
- максимально допустимое значение частоты выпрямленного переменного напряжения.

Для исследования зависимости постоянной и переменной составляющих выпрямленного напряжения от тока нагрузки собирают приборы по схеме рис. 40.

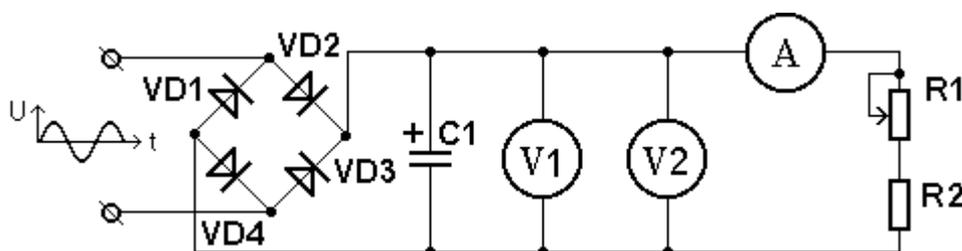


Рис. 40

Переменное напряжение на вход выпрямителя подают с клемм “~” источника В-24. Это напряжение оценивают встроенным в источник вольтметром. Вольтметром V1 измеряют постоянную, а вольтметром V2 переменную составляющие выпрямленного напряжения. В качестве вольтметра V1 можно взять прибор Щ-4313, АВО-63 или любой другой прибор, измеряющий постоянное напряжение. Для измерения переменного напряжения (V2) используют вольтметр ВЗ-38, измеряющий только переменные напряжения (применить для измерения переменной составляющей выпрямленного напряжения авометр АВО-63 непосредственно без разделительного конденсатора нельзя, так как при измерении переменного напряжения он измеряет и его постоянную составляющую). Вольтметр ВЗ-38 измеряет эффективное значение переменного напряжения. При исследовании выпрямителя будем считать, что амплитуду первой гармоники можно приблизительно определить, умножив показания вольтметра ВЗ-38 на  $\sqrt{2}$ . Для измерения выпрямленного тока можно использовать Щ-4313, АВО-63, любой другой прибор, измеряющий постоянный ток.

Монтажная плата рассмотренного выпрямителя приведена на рис. 41. В качестве переменного резистора  $R_1$  используют магазин сопротивлений. Подключение измерительных приборов к плате производится с помощью разъемов. Сопротивления резисторов  $R_1$  и  $R_2$  выбирают такими, чтобы постоянная времени цепи разряда конденсатора фильтра могла меняться примерно от 0,1 до 10 периодов переменного напряжения на входе выпрямителя. Кроме этого резистор  $R_2$  должен иметь сопротивление такое, чтобы не превысить максимально допустимый прямой ток через полупроводниковые диоды. После того как выбраны полупроводниковые диоды, конденсатор, рассчитаны сопротивления резисторов  $R_1$  и  $R_2$ , выбрано переменное напряжение на входе выпрямителя, определяют мощности рассеяния резисторов  $R_1$  и  $R_2$  (чтобы резисторы  $R_1$  и  $R_2$  не вышли из строя). Минимальное сопротивление резистора  $R_2$  получим, разделив максимальное напряжение, приложенное к резистору, на средний ток, протекающий через диоды в прямом направлении.

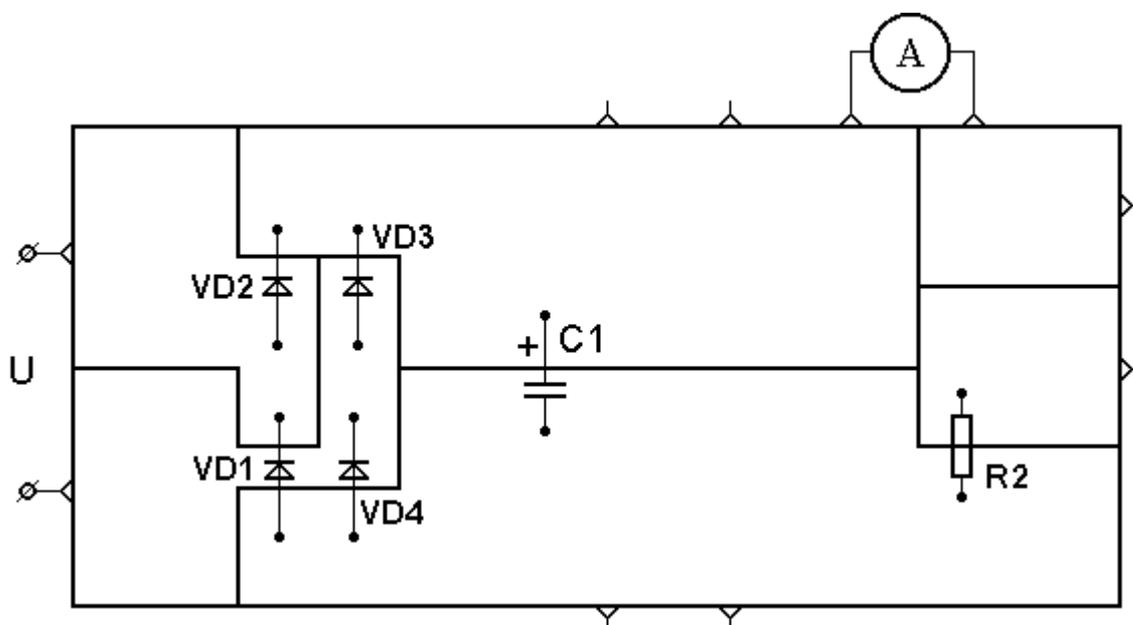


Рис. 41

В результате исследования можно построить графики зависимостей постоянной и переменной составляющих выпрямленного напряжения и коэффициента пульсаций от тока нагрузки.

Коэффициент пульсаций выпрямленного напряжения с достаточной для практического использования точностью можно быстро определить с помощью осциллографа ОМЛ-3М, измеряя постоянную и переменную составляющие выпрямленного напряжения по осциллограммам. С помощью осцилло-

графа можно пронаблюдать форму выпрямленного напряжения для трех существенно различающихся сопротивлений нагрузки. Среднюю из нагрузок выбирают так, чтобы произведение сопротивления нагрузки на емкость конденсатора фильтра равнялось периоду пульсаций выпрямленного напряжения.

Перед исследованием выпрямителя необходимо дать ответы на ряд вопросов. Первый и основной из них - какое максимальное напряжение можно подавать на вход исследуемого выпрямителя, чтобы не вывести из строя полупроводниковые диоды и конденсатор? При исследовании напряжение на входе выпрямителя выбирают в 3-5 раз меньше максимально допустимого.

## 12. Параметры усилителей электрических колебаний низкой частоты и их измерение

В литературе усилители электрических колебаний низкой частоты называют усилителями низкой частоты. Под *усилителями низкой частоты* в данном пособии мы будем понимать усилители электрических колебаний в диапазоне частот от 20 Гц до 20 кГц.

Усилитель низкой частоты потребителем может рассматриваться как черный ящик с регулятором громкости, регуляторами тембра (если таковые имеются) и шестью клеммами, две из которых предназначены для подключения источника усиливаемого сигнала (звукосниматель, микрофон и т. д.), две - для подключения нагрузки (обычно громкоговоритель) и две - для подключения источника питания.

Рассмотрим основные параметры и характеристики усилителей низкой частоты.

**Коэффициент гармоник** усилителя представляет собой отношение мощности появившихся в выходном сигнале высших гармоник напряжения к мощности первой гармоники на выходе усилителя при условии, что сопротивление нагрузки активное, а на вход усилителя подается напряжение от генератора синусоидальной ЭДС.

$$K_{\text{г}} = \frac{\sqrt{U_2^2 + U_3^2 + U_4^2 + \dots}}{U_1} \quad (1)$$

где  $U_1$ ,  $U_2$ ,  $U_3$  и т.д. - действующие значения первой, второй, третьей и т.д. гармоник выходного сигнала. Для усилителей среднего класса коэффициент гармоник составляет примерно 5-7%. Для высококачественных усилителей низкой частоты коэффициент гармоник составляет десятые и даже сотые доли процента.

**Номинальная выходная мощность** усилителя - это наибольшая мощность на выходе усилителя при сопротивлении нагрузки равном выходному сопротивлению усилителя и заданном значении коэффициента гармоник.

**Номинальное выходное напряжение усилителя** - это напряжение на выходе усилителя, соответствующее номинальной выходной мощности.

**Номинальное входное напряжение или чувствительность усилителя** - это напряжение на входе усилителя, соответствующее номинальной выходной мощности.

**Максимальная выходная мощность усилителя** - это мощность на выходе усилителя при сопротивлении нагрузки равном выходному сопротивлению усилителя и коэффициенте гармоник 10 %.

**Входное сопротивление усилителя** - это сопротивление входа усилителя для переменного тока. Обычно указывают активную составляющую входного сопротивления и входную емкость.

**Выходное сопротивление усилителя** - это сопротивление выхода усилителя для переменного тока.

**Коэффициент усиления напряжения усилителя** показывает, во сколько раз переменное напряжение сигнала на выходе усилителя больше вызвавшего его напряжения на входе (при этом надо следить, чтобы коэффициент гармоник не превысил заданного значения):

$$K = \frac{U_{\text{ВЫХ}}}{U_{\text{ВХ}}} \quad (2)$$

Коэффициент усиления напряжения для усилителей низкой частоты обычно определяют на частоте 400 или 1000 Гц. Для определения коэффициента усиления удобно построить амплитудную характеристику усилителя.

**Амплитудная характеристика усилителя** - это зависимость выходного напряжения от входного синусоидального напряжения при неизменной частоте. Следует иметь в виду, что выходное напряжение желательно измерять электронным вольтметром, детектор которого реагирует на среднеквадратичное значение напряжения.

Амплитудную характеристику усилителей низкой частоты обычно строят для частоты 1000 Гц. Примерный вид амплитудной характеристики усилителя показан на рис. 42.

Пунктиром показана амплитудная характеристика идеального усилителя.

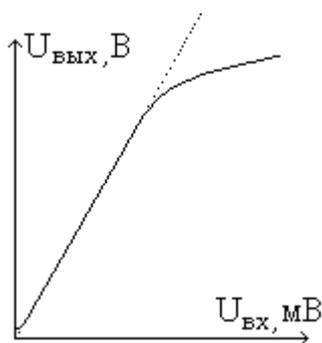


Рис. 42

Амплитудная характеристика реального усилителя отличается от прямой линии в области малых и больших уровней входного сигнала. При малых уровнях входного сигнала отклонение амплитудной характеристики от прямой линии обусловлено собственными шумами усилителя, фоном (пульсации питающего напряжения) и наводками, а при больших уровнях — нелинейностью характеристик активных элементов (транзисторов, электронных ламп и т.п.).

**Динамический диапазон усилителя** — это отношение максимального входного напряжения усилителя к минимальному входному, которое может быть усилено при допустимых искажениях и уровне помех. Обычно динамический диапазон усилителя указывают в децибелах.

$$D = \frac{U_{\text{ВХ МАК}}}{U_{\text{ВХ МИН}}} \quad (3) \quad D(\text{дБ}) = 20 \lg \frac{U_{\text{ВХ МАК}}}{U_{\text{ВХ МИН}}} \quad (4)$$

**Уровень собственных шумов усилителя** — это отношение среднеквадратичного напряжения шумов на выходе усилителя к номинальному выходному напряжению. Обычно уровень шумов выражают в децибелах.

$$N_{\text{ш}} = \frac{U_{\text{ш.ВЫХ}}}{U_{\text{Н ВЫХ}}} \quad (5) \quad N_{\text{ш}}(\text{дБ}) = 20 \lg \frac{U_{\text{ш.ВЫХ}}}{U_{\text{Н ВЫХ}}} \quad (6)$$

Иногда указывают напряжение шумов, приведенное ко входу усилителя:

$$U_{\text{ш.ВХ}} = \frac{U_{\text{ш.ВЫХ}}}{K} \quad (7),$$

где  $U_{\text{ш.ВЫХ}}$  — напряжение шумов на выходе усилителя,  $K$  — коэффициент усиления усилителя по напряжению. Собственные шумы усилителя — это в основном тепловые шумы пассивных и активных элементов. Напряжение шумов всегда несинусоидально, не периодически.

При питании усилителей от сети переменного тока мешающее напряжение на выходе усилителя в основном обусловлено фоном переменного тока. Фон переменного тока (периодическое напряжение с частотами, кратными частоте питающей сети переменного тока) с помощью осциллографа легко отличить от тепловых шумов.

**Уровень фона переменного тока** — это отношение среднеквадратичного напряжения фона на выходе усилителя к номинальному выходному напряжению. Обычно уровень фона выражают в децибелах:

$$N_{\phi} = 20 \lg \frac{U_{\text{Ф.ВЫХ}}}{U_{\text{Н Вых}}} \quad (8),$$

где  $U_{\text{Ф.ВЫХ}}$  - напряжение фона на выходе усилителя при закороченном входе усилителя.

**Коэффициент полезного действия усилителя** - это отношение мощности сигнала на нагрузке  $P_{\text{н}}$  к мощности  $P_0$ , потребляемой усилителем от источников питания:

$$\eta = \frac{P_{\text{н}}}{P_0} \quad (9).$$

**Коэффициент частотных искажений усилителя** - это отношение коэффициента усиления усилителя  $K_{\text{ср}}$  на средней частоте к коэффициенту усиления усилителя  $K_{\text{f}}$  на частоте, для которой определяется коэффициент частотных искажений. Для усилителей низкой частоты среднюю частоту берут равной 1000 Гц. Обычно коэффициент частотных искажений выражают в децибелах:

$$M = \frac{K_{\text{ср}}}{K_{\text{f}}}, \quad M \text{ (дБ)} = 20 \lg \frac{K_{\text{ср}}}{K_{\text{f}}} \quad (10).$$

**Частотная или амплитудно-частотная характеристика усилителя** - это зависимость коэффициента усиления  $K$  от частоты  $f$  (рис. 45). Частоту  $f$  по оси  $X$  обычно откладывают в логарифмическом масштабе. Иногда частотную характеристику усилителя строят, откладывая по оси  $Y$  значения коэффициента частотных искажений  $M$ (дБ), а по оси  $X$  - десятичный логарифм частоты  $f$ . При усилении речи и музыки усилителями среднего класса допускают частотные искажения  $\pm 3$  дБ.

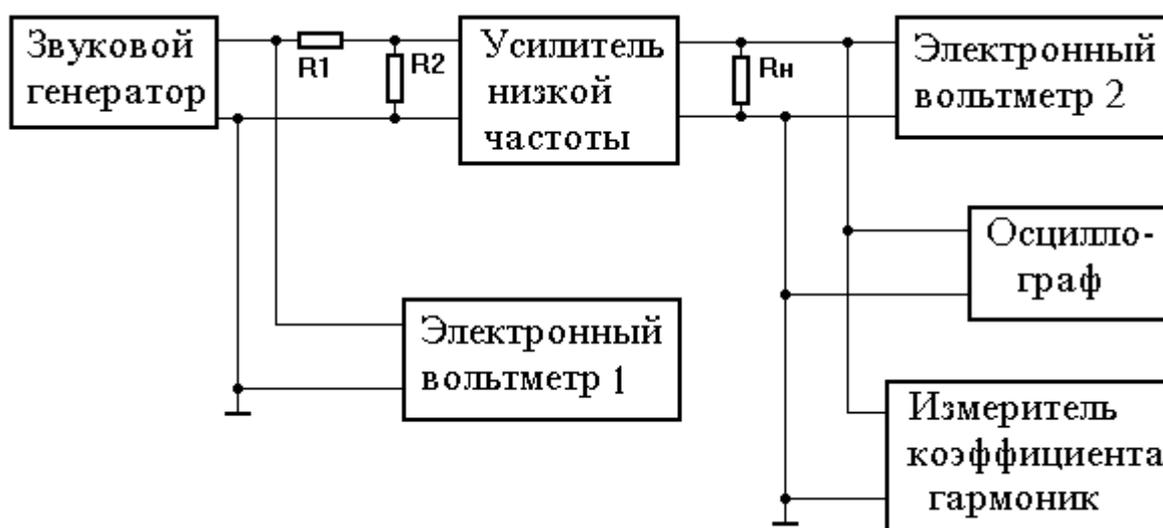


Рис. 43

**Диапазон усиливаемых усилителем частот или полоса пропускания усилителя** - это диапазон частот, в котором коэффициент частотных искажений не превышает заданного значения.

Для измерения основных параметров усилителя собирают установку по рис. 43.

### **Измерение чувствительности и номинальной выходной мощности усилителя низкой частоты**

Предварительно задают необходимое значение коэффициента гармоник на выходе усилителя. Регулятор громкости усилителя устанавливают в положение максимальной громкости, а регуляторы тембра в среднее положение. Включают в сеть все измерительные приборы и подают питающее напряжение на усилитель. Со звукового генератора через делитель напряжения на резисторах  $R_1$ ,  $R_2$  на вход усилителя подают синусоидальное напряжение частотой 1000 Гц. Постепенно увеличивают синусоидальное напряжение на входе усилителя и одновременно измеряют коэффициент гармоник сигнала на выходе усилителя. Как только коэффициент гармоник достигнет заданного значения, измеряют напряжение на выходе усилителя  $U_{н.вых}$  и определяют напряжение на входе усилителя  $U_{н.вх}$ . Если входное сопротивление усилителя значительно больше сопротивления резистора  $R_2$ , то напряжение на входе усилителя определяют после измерения электронным вольтметром  $U_1$  напряжения на входе делителя напряжения  $R_1$ ,  $R_2$ .

$$U_{вх} = U_1 \frac{R_2}{R_1 + R_2} \quad (11)$$

При небольшой чувствительности усилителя можно обойтись без делителя напряжения, так как мешающие напряжения, возникающие при подключении к входной цепи усилителя измерительных проводов, не окажут существенного влияния на результаты измерений.

Входное напряжение  $U_{н.вх}$  характеризует чувствительность усилителя при заданном коэффициенте гармоник на выходе усилителя. Номинальную выходную мощность на нагрузке  $R_n$  определяют по формуле:

$$P_n = \frac{U_{н.вых}^2}{R_n} \quad (12)$$

Коэффициент гармоник 5-8 % можно примерно определить с помощью осциллографа. При таком коэффициенте гармоник заметно искажение синусоиды на экране осциллографа. Искажение синусоиды обнаружить проще, ес-

ли воспользоваться двухлучевым осциллографом и сигнал на выходе усилителя сравнивать с сигналом на входе.

Таким образом, измерить чувствительность и определить номинальную выходную мощность усилителя низкой частоты при коэффициенте гармоник сигнала на выходе усилителя 5 - 8 % можно приблизительно без измерителя коэффициента гармоник. Максимальную выходную мощность усилителя определяют при коэффициенте гармоник 10 %.

### Измерение входного сопротивления усилителя

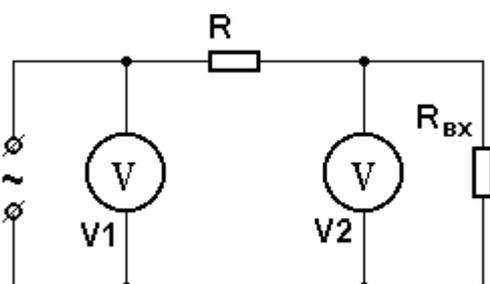


Рис. 44

Входное сопротивление усилителя низкой частоты обычно измеряют на частоте 1000 Гц. Если входное сопротивление усилителя  $R_{вх}$  значительно меньше внутреннего сопротивления используемого вольтметра, то для определения входного сопротивления усилителя последовательно с его входом включают резистор, сопротивление которого примерно равно входному

сопротивлению усилителя. Два электронных вольтметра подключают так, как показано на рис. 44, где  $R_{вх}$  - входное сопротивление усилителя. Определение входного сопротивления усилителя сводится к решению следующей задачи: известны напряжения  $U_1$  и  $U_2$ , показываемые вольтметрами  $V_1$  и  $V_2$ , сопротивление резистора  $R$ ; требуется определить  $R_{вх}$ . Так как внутреннее сопротивление вольтметра  $V_2$  значительно больше входного сопротивления усилителя, то:

$$\frac{R_{вх}}{R_{вх} + R} = \frac{U_2}{U_1}, \quad R_{вх} = R \frac{U_2}{U_1 - U_2} \quad (13)$$

Если входное сопротивление усилителя окажется соизмеримым с внутренним сопротивлением вольтметра, то определять  $R_{вх}$  таким образом нельзя.

В этом случае для определения входного сопротивления усилителя собирают приборы по схеме рис. 43, но только без измерителя коэффициента гармоник. На вход усилителя подают синусоидальное напряжение частотой 1000 Гц, не превышающее по величине номинальное входное напряжение. Измеряют входное  $U_{вх1}$  и выходное  $U_{вых1}$  напряжения усилителя и определяют коэффициент усиления напряжения  $K = (U_{вых1}) / (U_{вх1})$ . Затем последовательно со входом усилителя включают резистор  $R$  и, не изменяя напряжения на выходе звукового генератора, измеряют

напряжение на выходе усилителя  $U_{\text{ВЫХ2}}$ . Напряжение на выходе усилителя уменьшилось, так как при включении резистора  $R$  последовательно со входом усилителя часть напряжения с выхода генератора падает на резисторе  $R$ , а часть - на входном сопротивлении  $R_{\text{ВХ}}$ . На основании законов последовательного соединения можно записать:

$$U_{\text{ВХ1}} = U_R + U_{R_{\text{ВХ}}} \quad (14).$$

$$U_{R_{\text{ВХ}}} = I * R_{\text{ВХ}} = \frac{U_{\text{ВХ1}}}{R + R_{\text{ВХ}}} R_{\text{ВХ}} \quad (15)$$

Выразим  $U_{R_{\text{ВХ}}}$  и  $U_{\text{ВХ1}}$  через напряжения на выходе усилителя

$$U_{R_{\text{ВХ}}} = \frac{U_{\text{ВЫХ2}}}{K} \quad (16), \quad U_{\text{ВХ1}} = \frac{U_{\text{ВЫХ1}}}{K} \quad (17)$$

Подставив (16) и (17) в (15) получим:

$$U_{\text{ВЫХ2}} = \frac{U_{\text{ВЫХ1}} * R_{\text{ВХ}}}{R + R_{\text{ВХ}}} \quad (18)$$

Из (18) получим выражение для входного сопротивления усилителя:

$$R_{\text{ВХ}} = R \frac{U_{\text{ВЫХ2}}}{U_{\text{ВЫХ1}} - U_{\text{ВЫХ2}}} \quad (19)$$

Для повышения точности определения  $R_{\text{ВХ}}$  необходимо, чтобы сопротивление резистора  $R$  было одного порядка с входным сопротивлением усилителя  $R_{\text{ВХ}}$ .

### Измерение выходного сопротивления усилителя

Выходное сопротивление усилителя определяют из закона Ома для полной цепи

$$I = \frac{\varepsilon}{R_{\text{Н}} + R_{\text{ВН}}} \quad (20),$$

где  $R_{\text{Н}}$  - сопротивление нагрузки,  $R_{\text{ВН}}$  - внутреннее (выходное) сопротивление источника. Учитывая, что напряжение на зажимах источника  $U = I * R_{\text{Н}}$  из 20 получим

$$U = \varepsilon - I * R_{\text{ВН}} \quad (21)$$

Отключим  $R_{\text{Н}}$ , тогда ток  $I$  будет очень маленьким, следовательно напряжение на зажимах источника  $U$  будет равно электродвижущей силе  $\varepsilon$ . Подключим  $R_{\text{Н}}$ . Тогда падение напряжения внутри источника  $\varepsilon - U_{R_{\text{Н}}}$  будет относиться к падению напряжения на нагрузке  $U_{R_{\text{Н}}}$  как внутреннее сопротивление источника относится к сопротивлению нагрузки

$$\frac{\varepsilon - U_{R_H}}{U_{R_H}} = \frac{R_{вн}}{R_H} \quad (22)$$

$$R_{вн} = R_H \left( \frac{\varepsilon}{U_{R_H}} - 1 \right) \quad (23)$$

Для более точного определения внутреннего (выходного) сопротивления источника необходимо взять сопротивление  $R_H$  одного порядка с внутренним.

Выходное сопротивление усилителя измеряют обычно на частоте 1000 Гц. От звукового генератора на вход усилителя подают синусоидальное напряжение 1000 Гц такое, чтобы при отключенной нагрузке коэффициент гармоник сигнала на выходе усилителя не превышал заданного для данного усилителя значения.

Для определения выходного сопротивления  $R_{вых}$  измеряют выходное напряжение усилителя дважды. При отключенной нагрузке выходное напряжение будет равно ЭДС, а при подключенной -  $U_{R_H}$ .

Выходное сопротивление усилителя определяют по формуле

$$R_{вых} = R_H \left( \frac{\varepsilon}{U_{R_H}} - 1 \right) \quad (24)$$

### Построение амплитудной характеристики

Важную информацию о качестве усилителя можно получить из амплитудной характеристики. Для снятия амплитудной характеристики собирают приборы по схеме рис. 43, исключив измеритель гармоник. Со звукового генератора на вход усилителя подают синусоидальное напряжение частотой 1000 Гц такое, чтобы стало заметным отличие сигнала на выходе усилителя от синусоидального. Полученное значение входного напряжения увеличивают примерно в 1,5 раза и измеряют выходное напряжение усилителя электронным вольтметром. Полученные значения входного и выходного напряжения усилителя дадут одну из точек (крайнюю) амплитудной характеристики усилителя. Затем, уменьшая входное напряжение, снимают зависимость выходного напряжения от входного. Из амплитудной характеристики усилителя легко определяется коэффициент усиления по напряжению  $K = (U_{вых}) / (U_{вх})$ . Входное и выходное напряжения усилителя для определения коэффициента усиления необходимо выбирать на линейном участке амплитудной характеристики. В этом случае коэффициент усиления усилителя не будет зависеть от входного напряжения.

### Измерение уровня собственных шумов усилителя

Для определения уровня собственных шумов усилителя измеряют выходное напряжение усилителя, подключив ко входу усилителя резистор, сопротивление которого равно входному сопротивлению усилителя. Уровень собственных шумов усилителя выражают в децибелах:

$$N_{ш} \text{ (дБ)} = 20 \lg \frac{U_{ш. \text{ВЫХ}}}{U_{н \text{ ВЫХ}}} \quad (25)$$

### Определение коэффициента полезного действия усилителя

Коэффициент полезного действия усилителя определяют при подаче на вход синусоидального напряжения частотой 1000 Гц соответствующего номинальной выходной мощности. Определяют номинальную выходную мощность по формуле

$$P_{н} = \frac{U_{н \text{ ВЫХ}}^2}{R_{н}} \quad (26)$$

Мощность, потребляемую усилителем от источников (источника), определяют по формуле  $P_0 = I * U$ , где  $I$  - ток, потребляемый от источника,  $U$  - напряжение на клеммах усилителя, предназначенных для подключения источника питания (схему подключения амперметра и вольтметра выбирают с учетом минимальной погрешности определения потребляемой усилителем мощности в зависимости от имеющихся в наличии амперметра и вольтметра).

### Определение диапазона усиливаемых частот

Для определения диапазона усиливаемых частот и коэффициента частотных искажений строят частотную (амплитудно-частотную) характеристику.

Из определения амплитудно-частотной характеристики усилителя следует, что для ее построения на вход усилителя можно подавать любое напряжение, соответствующее линейному участку амплитудной характеристики. Однако при слишком маленьких входных напряжениях могут появиться погрешности, обусловленные шумами и фоном переменного тока. При больших входных напряжениях могут проявиться нелинейности элементов усилителя. Поэтому амплитудно-частотную характеристику обычно снимают при входном напряжении, соответствующем выходной мощности, равной 0,1 от номинальной.

Приборы для снятия амплитудно-частотной характеристики собирают по схеме рис. 43, причем измеритель гармоник и осциллограф можно не подключать.

Диапазон усиливаемых частот определяется из амплитудно-частотной характеристики с учетом допустимых частотных искажений. Амплитудно-частотная характеристика усилителя - это зависимость коэффициента усиления по напряжению от частоты. Из рис. 45 видно, как определить диапазон

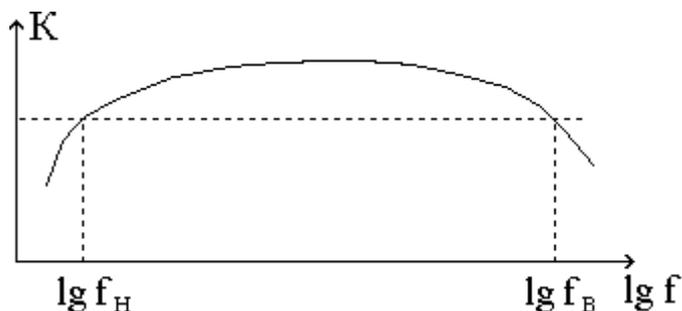


Рис. 45

усиливаемых усилителем частот (полоса пропускания) при уменьшении коэффициента усиления на граничных частотах до 0,7 от максимального, что соответствует коэффициенту частотных искажений 3 дБ.

### 13. Монтаж усилителя низкой частоты

В усилителях на биполярных транзисторах используется три схемы подключения транзистора: с общей базой, с общим эмиттером, с общим коллектором. Наибольшее распространение получила схема включения с общим эмиттером.

Параметры транзистора в значительной степени зависят от температуры. Изменение температуры окружающей среды приводит к изменению рабочего режима транзистора в простой схеме усилителя (рис. 46). Такая схема усили-

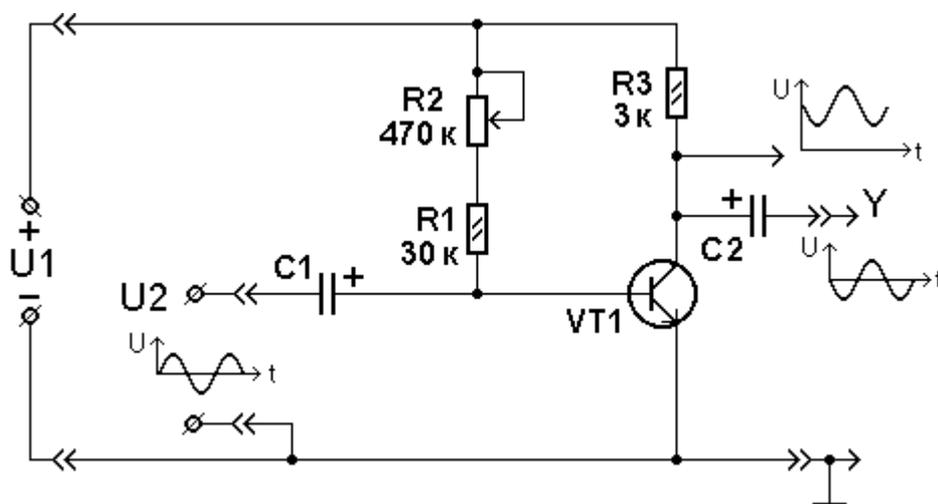


Рис. 46

теля используется очень редко. Для стабилизации режима работы транзистора при изменении температуры используют схемы коллекторной (рис. 47) и эмиттерной (рис. 48) стабилизации режима работы транзистора.

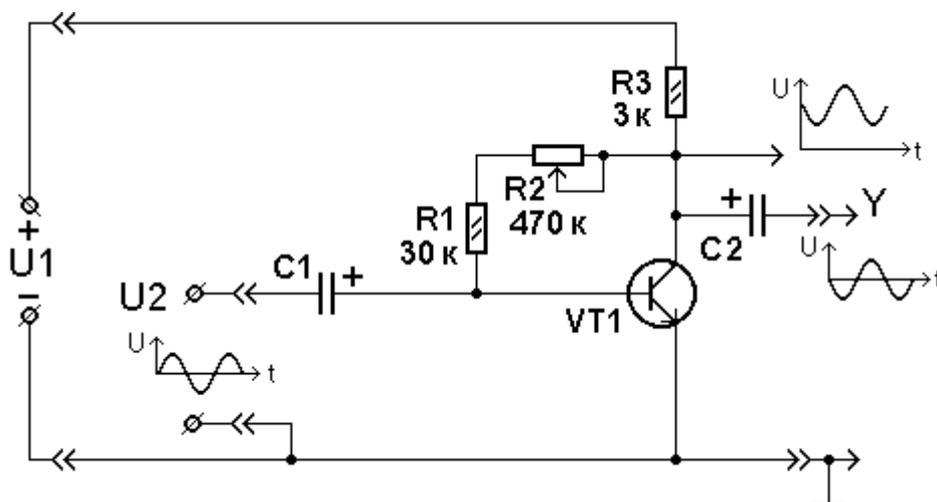


Рис. 47

Коллекторная температурная стабилизация режима работы транзистора применяется обычно в радиолюбительских конструкциях,

так как требуется подбирать сопротивление резистора в цепи базы при установке транзистора с другим коэффициентом усиления по току. В эмиттерной стабилизации этого делать не надо, поэтому она широко применяется как в промышленных, так и в радиолюбительских конструкциях.

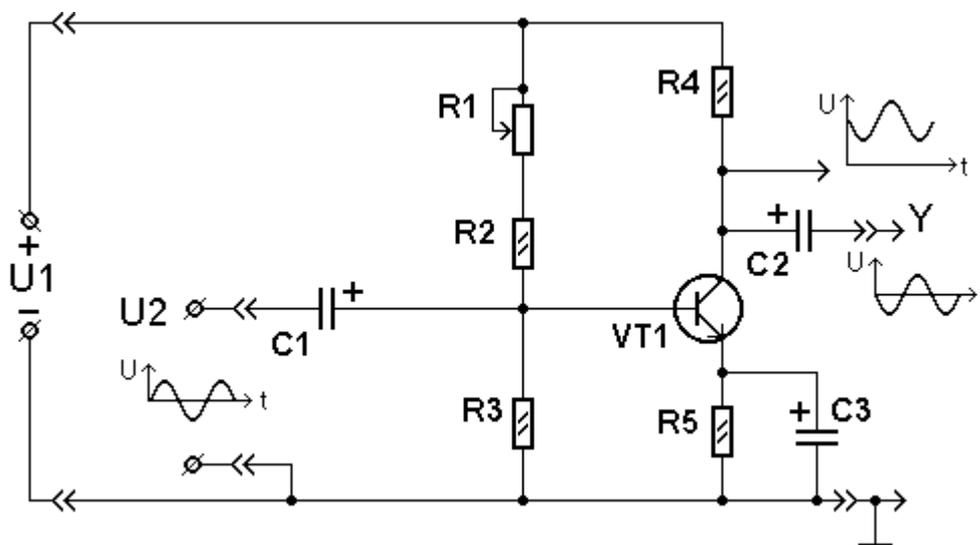


Рис. 48

Для усиления гармонических сигналов по напряжению обычно выбирают режим А работы транзистора - такой режим работы, при котором ток в выходной цепи транзистора существует в течение всего периода усиливаемого сигнала. Режим работы А в схемах рис. 46, 47, 48 устанавливают переменным резистором, наблюдая на экране осциллографа форму выходного сигнала. В ре-

жиме А ограничения выходного сигнала отсутствуют при входных напряжениях меньше номинального, а если ограничения существуют, то они симметричны (сверху и снизу).

Входные цепи чувствительного усилителя низкой частоты обязательно выполняются экранированным проводом, причем экран соединяется с корпусом усилителя в одной точке. От выбора этой точки зависит уровень мешающих напряжений.

Для исследования работы усилителя по схеме рис. 48 можно собрать усилитель, используя приведенную на рис. 49 монтажную плату.

Примечание: при монтаже усилителей высокой частоты монтажная плата будет другой, т.к. необходимо уменьшить паразитные емкости монтажа.

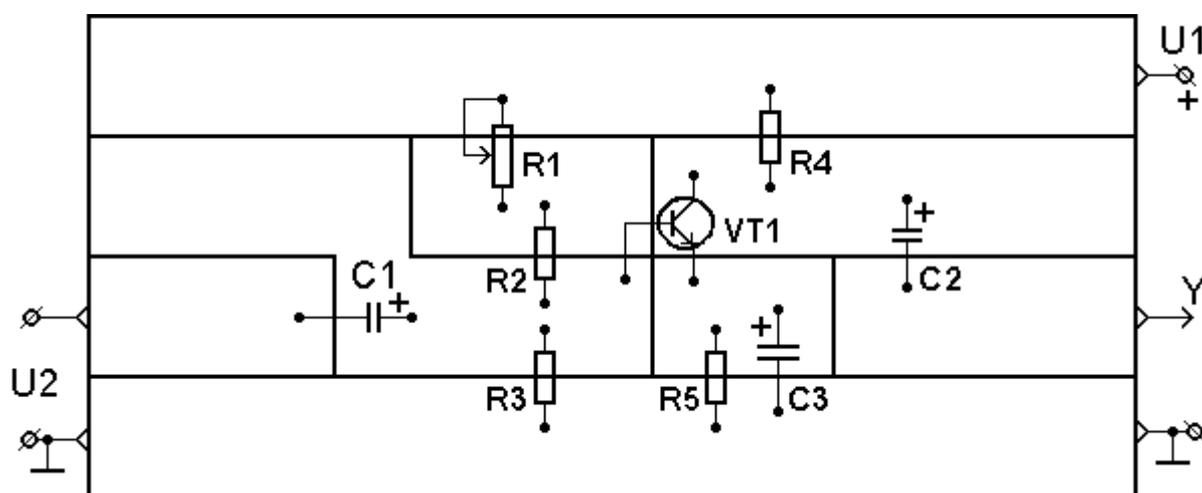


Рис. 49

В усилителях низкой частоты на биполярных транзисторах применяются разделительные конденсаторы большой емкости. Это, как правило, электролитические конденсаторы, при подключении которых в электрическую цепь необходимо соблюдать полярность. Если источник усиливаемого сигнала не имеет постоянной составляющей и к выходу усилителя подключается нагрузка, не имеющая постоянного напряжения на своих зажимах, то полярность конденсаторов при использовании транзисторов n-p-n типа должна быть такой, как показано на рис. 48, а для транзистора p-n-p типа - на рис. 50 (изменяется полярность включения источника питания и полярность подключения конденсаторов).

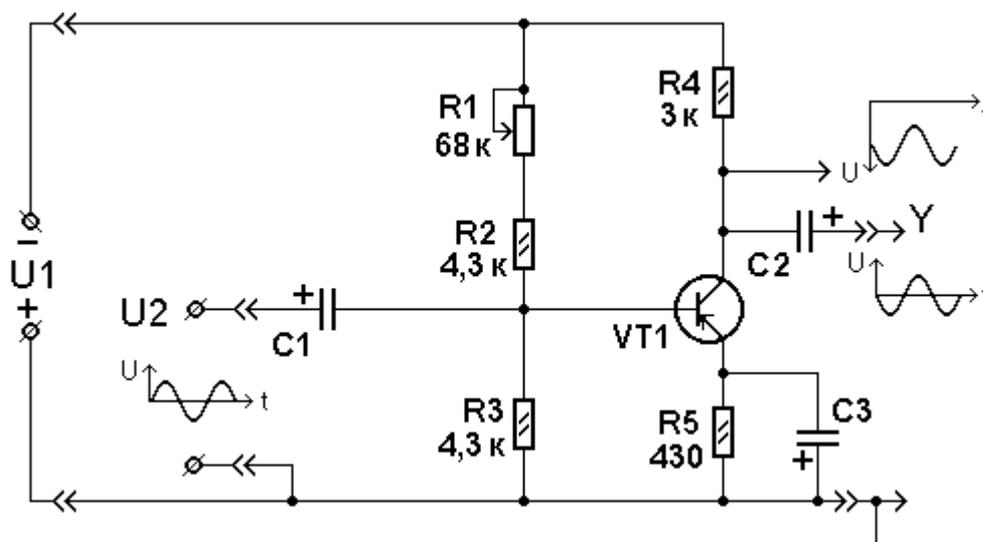


Рис. 50

#### 14. Химические источники тока

Для питания радиоэлектронных устройств на транзисторах необходимо постоянное напряжение. Если радиоэлектронное устройство потребляет маленькую мощность, то такое устройство достаточно часто питают от химического источника тока. Химические источники тока подразделяются на первичные и вторичные. К первичным источникам тока относятся различные гальванические элементы и батареи, составленные из них. Вторичные источники тока - это аккумуляторы.

Рассмотрим основные параметры первичных источников тока.

**Электродвижущая сила** измеряется на зажимах источника при бесконечно большом сопротивлении внешней цепи. Напряжение на зажимах элемента или батареи измеряется под нагрузкой. Различают начальное, среднее и конечное напряжение. Конечное напряжение - это напряжение, до которого может разряжаться источник тока при его эксплуатации.

**Внутреннее сопротивление источника тока** определяет падение напряжения внутри него (чем меньше внутреннее сопротивление источника тока, тем большим будет ток разрядки при заданном напряжении на зажимах источника).

**Разрядная емкость источника** - это электрический заряд, который можно получить от источника при определенных условиях его эксплуатации. Разрядная емкость зависит от силы тока разряда. Однако с некоторым приближением можно считать разрядную емкость постоянной, не зависящей в определенных пределах от тока нагрузки. Например, батарейка карманного фонаря

имеет разрядную емкость  $0,5 \text{ А}\cdot\text{ч}$  ( $1\text{Кл}=1\text{А}\cdot 1\text{с}$ , тогда  $1\text{А}\cdot\text{ч}=3600 \text{ Кл}$ ) и при токе разрядки  $100 \text{ мА}$  работает 5 часов, тогда при токе разрядки  $250 \text{ мА}$  батарея проработает 2 часа.

**Номинальная разрядная емкость источника тока** - это электрический заряд, который должен отдать источник тока непосредственно при его изготовлении при номинальном режиме разряда (задается либо ток разрядки, либо сопротивление внешней цепи).

**Саморазряд источника тока** - это потеря разрядной емкости при разомкнутой внешней цепи (при повышении температуры окружающей среды саморазряд увеличивается).

**Сохранность источника тока** - это время, в течение которого элемент сохраняет определенную часть номинальной емкости.

**Удельная емкость источника тока по массе** - это отношение разрядной емкости источника тока к его массе.

**Удельная емкость источника тока по объему** - это отношение разрядной емкости источника тока к его объему.

### **Зарядка малогабаритных аккумуляторов и восстановление гальванических элементов**

Аккумуляторы характеризуют следующими основными параметрами: зарядная и разрядная емкости, коэффициент отдачи по емкости, срок службы аккумулятора.

**Зарядная емкость аккумулятора** - это электрический заряд, проходящий через аккумулятор при его полной зарядке.

**Разрядная емкость аккумулятора** - это электрический заряд, отдаваемый аккумулятором при его полной разрядке.

**Коэффициент отдачи по емкости** - это отношение разрядной емкости к зарядной.

**Срок службы аккумулятора** - это время работы, по истечении которого разрядная емкость аккумулятора станет меньше определенной нормированной величины.

Зарядка малогабаритных аккумуляторов и восстановление гальванических элементов и батарей обычно производится током, численно равным  $0,1$  емкости аккумулятора или гальванического элемента, выраженной в  $\text{А}\cdot\text{ч}$ . Имеются различные *способы зарядки аккумуляторов*:

- зарядка фиксированным током в течение определенного времени (обычно током, численно равным  $0,1$  емкости, в течение 16 часов);

- зарядка уменьшающимся по величине током до определенного напряжения;
- зарядка несимметричным током;
- поочередная зарядка и разрядка в течение определенных промежутков времени (например, в течение 0,01с зарядка и 0,01с разрядка, но меньшим током, или зарядка и разрядка одним током, но в течение разного времени).

Рассмотрим по упрощенной схеме (рис. 51) принцип работы устройства для зарядки аккумуляторов карманного фонарика. В положительный полупериод сетевого напряжения через конденсатор  $C_1$ , диод  $VD1$  и аккумуляторы протекает ток зарядки. Конденсатор заряжается до напряжения примерно 300 В (амплитуда сетевого напряжения) равна:

$$220 \text{ В} * \sqrt{2} = 311 \text{ В}, \quad 215 \text{ В} * \sqrt{2} = 304 \text{ В},$$

а напряжение на аккумуляторах на более 4,5 В). Если бы не было диода  $VD2$ , ток зарядки аккумулятора прекратился бы, поскольку конденсатор заряжен и не может разрядиться в отрицательный полупериод сетевого напряжения.

В отрицательный полупериод конденсатор перезаряжается через диод

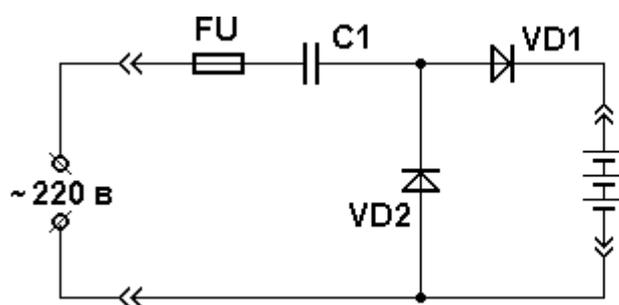


Рис. 51

$VD2$  (до напряжения 310 В). Тогда в следующий положительный полупериод конденсатор получает возможность заряжаться через диод  $VD1$  и аккумуляторы.

Импульсы токов, протекающих через диоды при перезарядках конденсатора, окажутся большими. Для их ограничения в практическую схему (рис. 52) включают резистор  $R_2$  сопротивлением 100 - 200 Ом при емкости аккумулятора менее 0,55 А\*ч (при большей емкости заряжаемого аккумулятора сопротивление резистора  $R_2$  необходимо уменьшить).

Собранное по данной схеме зарядное устройство имеет следующий недостаток. После отключения устройства от сети конденсатор может оказаться заряженным и разрядится через тело человека, коснувшегося вилки устройства. Чтобы обеспечить разрядку конденсатора  $C_1$  после отключения устройства от сети необходим резистор  $R_1$  (рис. 53).

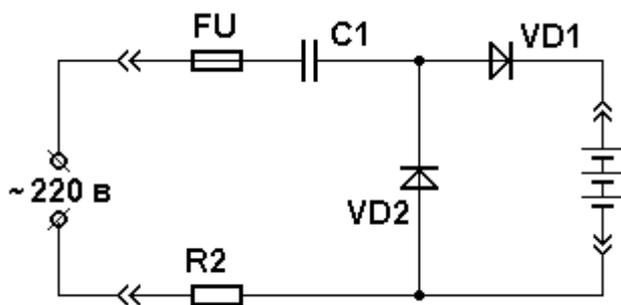


Рис. 52

Сопrotивление резистора  $R_1$  выбирают в диапазоне 110 - 510 кОм (указанный диапазон может быть изменен) независимо от емкости заряжаемого аккумулятора. Возьмем карманный фонарик, в котором используются три последовательно соединенных аккумулятора Д-0,26Д (зарядное устройство вмонтировано в корпус фонарика). Зарядный ток для каждого из этих аккумуляторов выбирают 26 мА, т.е. зарядный ток берут численно равным 0,1 от емкости аккумулятора, выраженной в А\*ч. Выберем полупроводниковые диоды VD1 и VD2 с учетом среднего значения выпрямленного тока и максимально допустимого обратного напряжения. Через диод VD2 должен протекать средний ток 26 мА. Ток, протекающий через VD1, будет примерно таким же (доказать самостоятельно).

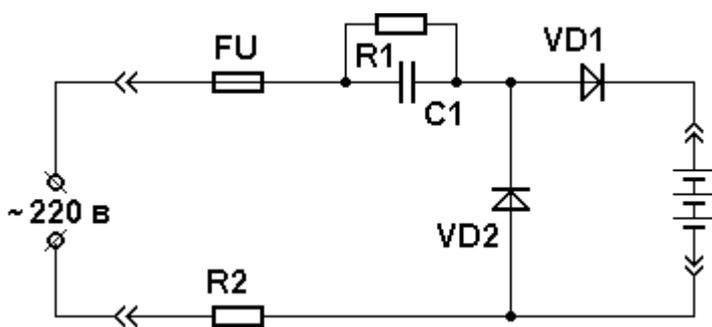


Рис. 53

Рассчитаем обратные напряжения, приложенные к диодам. При подключенном аккумуляторе к каждому из диодов приложено обратное напряжение не более 5 В. Если зарядное устройство включено в сеть при отключенных аккумуляторах, то к диоду VD1 напряжение ни в прямом, ни в обратном направлении не прикладывается, а к диоду VD2 прикладывается достаточно большое обратное напряжение, зависящее от соотношения сопротивления резистора  $R_1$  и сопротивления обратно смещенного p-n перехода диода (при большом обратном сопротивлении диода к диоду окажется приложенным практически все сетевое напряжение, амплитуда которого составляет примерно 300 В).

Возьмем резисторы  $R_1=220$  кОм, а  $R_2=200$  Ом. При токе 26 мА к резистору  $R_2$  будет приложено напряжение 5,2 В (по закону Ома для участка цепи). Можно считать примерно, что к резистору  $R_1$  приложено напряжение 210-215 В (амплитуды переменного напряжения на резисторе для положительного и

Сопrotивление резистора  $R_1$  выбирают в диапазоне 110 - 510 кОм (указанный диапазон может быть изменен) независимо от емкости заряжаемого аккумулятора. Возьмем карманный фонарик, в котором используются три последовательно соединенных аккумулятора Д-0,26Д (зарядное устройство вмонтировано в корпус

отрицательного полупериодов сетевого напряжения немного отличаются). Рассчитаем мощности, которые рассеиваются на резисторах  $R_1$  и  $R_2$ :

$$P = \frac{U^2}{R}, \quad P_{R2}=0,2 \text{ Вт}, \quad P_{R1}=0,4 \text{ Вт}.$$

Следовательно, выбираем резистор  $R_1$  мощностью рассеяния 0,5 Вт, а резистор  $R_2$  мощностью рассеяния 0,25 Вт.

Определим емкость и рабочее напряжение конденсатора  $C_1$ . Через резистор  $R_1$  будет протекать ток 1 мА (220 В:220 кОм), а зарядный ток аккумуляторов должен быть 26 мА. Следовательно, через конденсатор должен протекать ток 25 мА. Из закона Ома для участка цепи определим сопротивление конденсатора переменному току  $X_C$ , а затем из формулы

$$X_c = \frac{1}{2\pi fC}$$

определим емкость конденсатора  $C_1$ , зная частоту напряжения питающей сети.

Конденсатор может заряжаться до амплитудного напряжения и поэтому его рабочее напряжение необходимо выбирать не менее 300 В.

Ответим на вопрос, почему в зарядном устройстве карманного фонарика применен конденсатор, а не использована более простая схема только с одним резистором  $R_1$  (рис. 54). Для этого рассчитаем сопротивление резистора  $R_1$  и выделяющуюся на нем мощность:  $U_{R1}=215 \text{ В}$ ,  $I=26 \text{ мА}$ , тогда  $R_1=8,2 \text{ кОм}$ , а  $P \approx 5 \text{ Вт}$ .

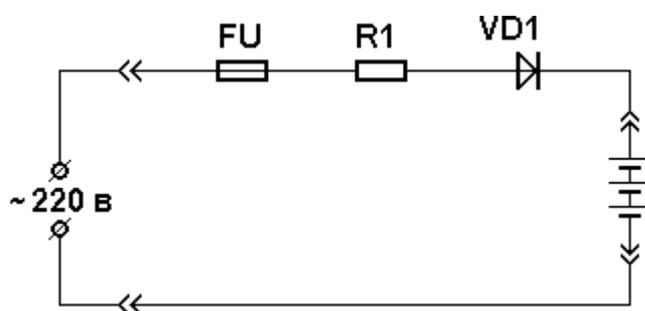


Рис. 54

Величина мощности рассеяния 5 Вт является достаточно большой для резистора и разместить резистор такой мощности в миниатюрном закрытом корпусе фонарика нельзя, так как будет перегрев зарядного устройства. Собранный по этой схеме зарядное устройство можно использовать, если взять напряжение питания не 220 В, а существенно меньшее, например, 12 В. В этом случае на резисторе  $R_1$  выделяется меньшая мощность, так как ток зарядки определяется емкостью аккумулятора, а сопротивление резистора  $R_1$  существенно меньше.

Перед началом работы с малогабаритными аккумуляторами и гальваническими элементами необходимо проверить их пригодность к эксплуатации. С этой целью измеряют напряжение на зажимах аккумулятора или гальванического элемента при подключенной нагрузке. Для каждого аккумулятора и гальванического элемента в справочнике указывается либо номинальный ток нагрузки, либо номинальное сопротивление нагрузки. Так, например, ЭДС полностью заряженного никелево-кадмиевого аккумулятора равна 1,35 В, номинальный ток разряда - численно равен 0,1 емкости аккумулятора, выраженной в А\*ч, номинальное напряжение в начале разряда - 1,25 В, а в конце - 1 В. Разряд аккумулятора до напряжения менее 1 В приводит к резкому сокращению срока службы.

Многочисленные исследования последних лет показали, что заряжать можно не только аккумуляторы, но и гальванические элементы. Однако, гальванические элементы при зарядке не восстанавливают свою первоначальную емкость, а их подзарядка, как правило, может быть осуществлена только один раз. Заряжают гальванические элементы так же, как и малогабаритные аккумуляторы.

Продлить срок службы некоторых гальванических элементов можно также введением в элемент с помощью шприца электролита, после этого производится зарядка элемента.

## Приложение

Для грамотной эксплуатации различных электронных приборов необходимо знать их основные параметры и учитывать их при включении приборов в электрические цепи.

Приведем основные характеристики используемых в лаборатории источников питания и радиоизмерительных приборов.

**Выпрямитель ВС-24 (и его модификации ВС-24М, В-24)** предназначен для получения регулируемого напряжения переменного тока от 0 до 30 В и постоянного (пульсирующего) от 0 до 24 В.

Питание источника осуществляется от сети переменного тока напряжением 220 В или 127 В частотой 50 Гц.

Максимально допустимая сила тока нагрузки - 10 А. При одновременном подключении к прибору нагрузок постоянного и переменного напряжения суммарное значение силы тока не должно превышать 10 А.

Предохранитель, включаемый на напряжение сети 220 В, должен быть рассчитан на силу тока 2 А. Заменять предохранители большими по номинальному току не допускается.

Следует иметь в виду, что располагаемые на передней панели прибора амперметр (со шкалой на 10 А) и вольтметр (со шкалой на 50 В) включены в цепь постоянного тока. Величина переменного напряжения ориентировочно определяется по шкале плавного регулятора.

Время непрерывной работы выпрямителя не более 45 минут.

**Источник электропитания для практикума ИЭПП-2** предназначен для получения:

наименование параметра	номинальное значение	максимально допустимый ток нагрузки
стабилизированное напряжение постоянного тока	0,5 - 12 В	1 А
стабилизированное напряжение постоянного тока	12 В	1,5 А
нестабилизированное напряжение постоянного тока	0 - 36 В	0,1 А
напряжение переменного тока	12 В	0,5 А
напряжение переменного тока	36 В	1,5 А

Питание источника осуществляется от сети переменного тока напряжением 220 В или 36 В частотой 50 Гц.

Мощность, потребляемая источником при номинальном значении напряжения питания, не превышает 130 Вт. Суммарная нагрузка со всех выводов не должна превышать 70 Вт.

Допускаемое изменение выходного стабилизированного напряжения 12 В при изменении предельного напряжения питающей сети от -10% до +15% не превышает  $\pm 0,2$  В при токе нагрузки 1 А и  $\pm 0,5$  В при токе нагрузки 1,5 А.

Пульсация выходного стабилизированного напряжения источника при токе нагрузки 1 А не превышает  $\pm 0,07$  В.

Пульсация выходного нестабилизированного напряжения источника при токе нагрузки 0,1 А не превышает  $\pm 2$  В.

Допускаемое изменение выходных напряжений переменного тока не превышает:

- 1 В для выхода 12 В при токе нагрузки 0,5 А;
- 3 В для выхода 36 В при токе нагрузки 1,5 А.

*Порядок работы с источниками электропитания:*

1. Проверьте соответствие предохранителя напряжению питающей сети и току, на который он должен быть рассчитан.
2. Подключите нагрузки, рассчитав предварительно, чтобы суммарные силы токов и мощности не превышали допустимые значения.
3. Установите по шкале на задней стенке необходимый ток защиты (для источника ИЭПП-2).
4. Установите ручки регуляторов напряжений в крайнее положение против часовой стрелки.
5. Подсоедините шнур источника питания в сеть и включите источник.
6. Произведите по вольтметру плавную регулировку необходимых напряжений соответствующими ручками регуляторов. Проверьте выходные напряжения и токи других подключенных нагрузок.
7. Закончив измерения, отключите источник питания от сети и нагрузок.

**Осциллограф малогабаритный любительский ОМЛ-3М** предназначен для:

- наблюдения формы импульсов любой полярности с длительностью от 0,2 мкс до 0,1 с и размахом от 10 мВ до 300 В;
- наблюдения периодических колебаний в диапазоне частот от 3 Гц до 5 МГц;
- измерения амплитуд исследуемых сигналов от 20 мВ до 150 В;
- измерения временных интервалов от 0,4 мкс до 0,2 с.

Питание осциллографа осуществляется от сети переменного тока напряжением  $220 \text{ В} \pm 10 \%$ , частотой 50 Гц. Мощность, потребляемая от сети, - 30 Вт.

Погрешность измерения амплитуд импульсных сигналов в диапазоне от 20 мВ до 150 В - не более 15 %.

Погрешность измерения временных интервалов в диапазоне от 0,4 мкс до 0,2 с при величине изображения по горизонтали от 4 до 6 делений - не более 15 %.

Продолжительность непрерывной работы осциллографа - не более 8 часов.

*Максимально допустимые величины постоянного и переменного напряжения, подаваемого на вход "У" осциллографа, можно определить, умножив число делений по вертикали (6 делений) на цену деления включенного в данный момент переключателя "В/дел".*

**Прибор комбинированный цифровой Щ4313** предназначен для измерения:

- силы и напряжения постоянного тока;
- среднеквадратичного значения силы и напряжения переменного тока синусоидальной формы;
- сопротивления постоянному току.

Питание прибора осуществляется как от сети переменного тока напряжением  $(220 \pm 22) \text{ В}$  и частотой 50 Гц, так и от встроенного источника постоянного тока с напряжением 12 - 20 В. Время непрерывной работы прибора при питании от сети - не более 24 часов.

Выбор полярности измеряемой величины осуществляется автоматически, выбор диапазона измерений и рода измеряемой величины - вручную. Время измерения не более 3 с для измерения силы тока и напряжения и 15 с для измерения сопротивления постоянному току.

Входное сопротивление вольтметра постоянного тока составляет не менее 20 МОм на пределе до 200 мВ и 1 МОм - на остальных пределах. Входное сопротивление вольтметра переменного тока (активное) - 1 МОм. Падение напряжения на миллиамперметрах постоянного и переменного тока составляет не более 600 мВ. Эти данные необходимо учитывать при проведении точных измерений (см. подробнее на С. 28 - 29).

*Категорически запрещается подключать, отключать и переключать ход работы и диапазоны измерений при включенном напряжении в исследуемой цепи, а также подавать на вход прибора напряжение свыше 1000 В. Появле-*

ние на индикаторе показания “I” является сигналом перегрузки и необходимости переключения прибора на больший предел измерений.

Порядок работы.

1. Проверить положение всех кнопок переключателей - они должны быть в отжатом состоянии.
2. Включить прибор нажатием кнопки “ПИТ”.
3. Установить род измеряемой величины и требуемый диапазон измерений нажатием соответствующих кнопок.
4. Подключить соединительные шнуры к гнездам прибора и к исследуемой цепи, произвести отсчет показаний по индикатору.

**Милливольтметр ВЗ-38А** предназначен для измерения среднеквадратичного значения напряжения переменного тока синусоидальной формы от 0,1 мВ до 300 В в диапазоне частот от 20 Гц до 5 МГц.

Питание прибора осуществляется от сети переменного тока напряжением  $(220 \pm 22)$  В и частотой  $(50 \pm 0,5)$  Гц.

Погрешность прибора в рабочих областях частот, выраженная в процентах от верхнего предела установленного поддиапазона, не превышает значений, указанных в таблице:

Под-диапазоны	45 Гц - 1МГц	20Гц - 45 Гц	1МГц -3МГц	3МГц-5 МГц
1 - 300 мВ	$\pm 2,5$	$\pm 4,0$	$\pm 4,0$	$\pm 6,0$
1 - 300 В	$\pm 2,5$	$\pm 4,0$	$\pm 6,0$	$\pm 6,0$

Время установления рабочего режима - 15 минут. Время непрерывной работы прибора - не более 8 часов.

Активное входное сопротивление прибора, измеренное на частоте 45 Гц, составляет не менее 5 МОм на поддиапазонах с верхними пределами 1 - 300 мВ и не менее 4 МОм на поддиапазонах с верхними пределами 1 - 300 В.

Порядок работы.

1. Подать измеряемое напряжение на входную розетку с помощью измерительного кабеля из комплекта прибора. Кабель со штекселями используют на частотах до 1 МГц, кабель со штеккером - для измерений на частотах свыше 1 МГц.
2. Установить переключатель поддиапазонов в положение, соответствующее предполагаемому значению измеряемого напряжения (если оно неизвестно, то необходимо установить поддиапазон измерения 300 В).

При отсутствии сигнала и замкнутом входе указатель прибора может отклоняться от нулевого деления до 5 % от значения верхнего предела установленного поддиапазона из-за собственных шумов прибора.

3. Произвести отсчет показаний прибора по шкале.

Необходимо помнить, что прибором можно измерять напряжение только тех источников, один полюс которых подсоединен к нулевому потенциалу (заземлен). *Измерять напряжение сети прибором ВЗ-38А запрещается.*

**Ампервольтметр АВО-63** предназначен для измерения силы тока и напряжения в цепях постоянного и переменного тока синусоидальной формы, сопротивления постоянному току и емкости.

Погрешность прибора при измерениях в нормальных условиях ( $20 \pm 5$  °С) не превышает  $\pm 4$  % от максимального значения шкалы для силы тока и напряжения и  $\pm 10$  % для сопротивления. Начальные 15 % от всей длины шкалы являются нерабочими, погрешность прибора на этом участке шкалы повышена. Рабочее положение прибора - горизонтальное.

Порядок работы с ампервольтметром.

1. Измерение силы тока и напряжения:

- проверить положение ручки переключателя: указатель (белая точка) должен находиться против обозначения “Ω” для измерений в цепях постоянного тока и против обозначения “~” для измерений в цепях переменного тока;
- вставить короткий наконечник одного соединительного провода в гнездо “общ”, а другого - в одно из гнезд, соответствующее измеряемому параметру (надписи “-mA”, “~mA”, “-V”, “~V”) и необходимому пределу показаний прибора (*при первом измерении лучше выбрать заведомо больший предел*);
- включить прибор при помощи щупов в измеряемую цепь, соблюдая полярность в цепях постоянного тока (провод, вставленный в гнездо “общ”, необходимо через всех потребителей соединить с “-” источника тока; если при измерении стрелка прибора отклонилась влево от нуля, то прибор был включен в цепь неправильно и щупы необходимо поменять местами);
- отсчет производить по шкале, обозначенной “-” или “~” (для постоянного и переменного тока соответственно), с учетом выбранного предела измерений.

При измерениях силы тока в цепях с малым напряжением необходимо учитывать падение напряжения на миллиамперметре (см. подробнее С. 28-29):

для миллиамперметра постоянного тока		для миллиамперметра переменного тока	
предел	падение напряжения	предел	падение напряжения
0,2 мА	0,22 В	0,5 мА	0,6 В
0,5 мА	0,63 В	5 мА	3,5 В
5 мА	0,87 В	50 мА	3,5 В
50 мА	0,9 В	500 мА	3,5 В
500 мА	0,9 В		

Внутреннее сопротивление вольтметра постоянного тока равно 5000 Ом/В, внутреннее сопротивление вольтметра переменного тока равно 2000 Ом/В.

## 2. Измерение сопротивления:

- измерения проводить только в обесточенных цепях;
- установить переключатель так, чтобы его указатель (белая точка) был расположен против обозначения “Ω”;
- вставить короткий наконечник одного соединительного провода в гнездо “общ”, расположенное в нижнем ряду, а другого - в одно из гнезд нижнего ряда (обозначенного “Ωх”) в соответствии с выбранным множителем;
- перед началом измерений установить нуль омметра, для чего замкнуть накоротко щупы соединительных проводов и вращением ручки переменного резистора установить стрелку прибора на “0” по верхней шкале с надписью “Ω” (*во избежание быстрого разряда элементов, питающих цепь омметра, нельзя оставлять на длительное время щупы замкнутыми накоротко*; если стрелка прибора не устанавливается на нуль при максимальном повороте головки переменного резистора, необходимо вскрыть крышку, проверить исправность элементов и при необходимости заменить их);
- отсчет производить по верхней шкале прибора с учетом выбранного множителя.

## Литература

1. Алгинин Б.Е. Кружок электронной автоматики: Пособие для руководителей кружков: Из опыта работы. - М.: Просвещение, 1990. - 192 с.
2. Ампервольтметр АВО-63 (учебный). Паспорт.
3. Бартенев В.Г., Алгинин Б.Е. От самоделок на логических элементах до микроЭВМ. - М.: Просвещение, 1993. - 189 с.
4. Богатырев А.Н. Радиоэлектроника, автоматика и элементы ЭВМ: Учеб. пособие для 8 - 9 кл. сред. шк. - М.: Просвещение, 1990. - 175 с.
5. Вайнштейн Л.И. Памятка населению по электробезопасности. - М.: Энергоатомиздат, 1987. - 64 с.
6. Гершензон Е.М. и др. Радиотехника: Учеб. пособие для ст-в физ.-мат. фак. пед. ин-тов / Е.М.Гершензон, Г.Д.Полянина, Н.В.Соина. - М.: Просвещение, 1986. - 319 с.
7. Городецкий И. Определитель структуры и выводов транзистора // Радио. - №4. - 1996. - С.38-39.
8. Дик Ю.И., Мигунов А.Ф. Требования к конструированию самодельных приборов по физике // Физика в школе. - № 1. - 1983. - С. 76 - 80.
9. Долин П.А. Действие электрического тока на человека и первая помощь пострадавшему. - М.: Энергия, 1976. - 128 с.
10. Жеребцов И.П. Основы электроники. - Л.: Энергоатомиздат, 1985. - 352 с.
11. Иванов Б.С. Электронные самоделки: Кн. для учащихся 5 - 8 кл. - М.: Просвещение, 1993. - 191 с.
12. Измерения в электронике: Справочник / В.А.Кузнецов, В.А.Долгов, В.М.Коневских и др.; Под ред. В.А.Кузнецова. - М.: Энергоатомиздат, 1987. - 512 с.
13. Источник электропитания для практикума ИЭПП-2. Техническое описание, инструкция по эксплуатации и паспорт.
14. Комский Д.М. Кружок технической кибернетики: Пособие для руководителей кружков. - М.: Просвещение, 1991. - 192 с.
15. Кораблев В.П. Устройства электробезопасности. - М.: Энергия, 1979. - 72 с.
16. Ляшко М.Н. Радиотехника: Лаб. практикум. - Мн.: Выш.школа, 1981. - 269 с.
17. Магазин сопротивлений измерительный R33. Техническое описание и инструкция по эксплуатации.
18. Малинин В.Н. Высококачественное воспроизведение звука. - М.: Знание, 1969. - 64 с.
19. Манаев Е.И. Основы радиоэлектроники: Учеб. пособие для вузов. - М.: Радио и связь, 1985. - 488 с.

20. Милливольтметр ВЗ-38А. Паспорт.
21. Основы промышленной электроники: Учеб. пособие для неэлектротехн. спец. вузов/ В.Г.Герасимов, О.М.Князьков, А.Е. Краснопольский, В.В.Сухоруков; Под ред. В.Г.Герасимова. - М.: Высш.шк., 1986. - 336 с.
22. Осциллограф малогабаритный любительский ОМЛ-3М. Руководство по эксплуатации.
23. Охрана труда в радио- и электронной промышленности: Учебник для техникумов/ С.П.Павлов, Л.С.Виноградов, Н.Ф.Крылова и др.; Под ред. С.П. Павлова. - М.: Радио и связь, 1985. - 200 с.
24. Пахомов Ю. Основные параметры усилителя НЧ и их измерение // Радио. - № 4. - 1974. - С. 51 - 54.
25. Поляков В.Т. Посвящение в радиоэлектронику. - М.: Радио и связь, 1988. - 352 с.
26. Правила безопасности труда для кабинетов (лабораторий) физики. В кн.: Физика в школе: Сб. нормат. документов/ Сост. Н.А.Ермолаева, В.А.Орлов. - М.: Просвещение, 1987. - С.198-222.
27. Прибор комбинированный цифровой Щ4313. Паспорт.
28. Резников З.М. Прикладная физика: Учеб. пособие для учащихся по факультатив. курсу: 10 кл. - М.: Просвещение, 1989. - 239 с.
29. Соболевский А.Г. Измерения при настройке радиоаппаратуры. - М.: Энергия, 1980. - 144 с.
30. Терещук Р.М., Терещук К.М., Седов С.А. Полупроводниковые приемно-усилительные устройства. Справочник радиолюбителя. - Киев: Наукова думка, 1981. - 672 с.
31. Туманов Б.В. Первая помощь при поражении электрическим током. М.: Энергия, 1967. - 20 с.
32. Устройство защитного отключения УЗОШ 10.2.010 УХЛ 4. Паспорт.
33. Устройство защитного отключения УЗО.10.2.010.11.УХЛ2. Руководство по эксплуатации.
34. Цветовая маркировка постоянных резисторов // Радио. - №9. - 1986. - С. 59.
35. Цыкин Г.С. Усилители электрических сигналов. - М.: Энергия, 1969. - 384 с.

Иноземцев Василий Алексеевич  
Иноземцева Светлана Васильевна

Вводный практикум по электронике

Редактор Лозинский В.П.

Издательство Брянского государственного педагогического  
университета имени академика И.Г.Петровского  
241036, Брянск, ул.Бежицкая, 14

ЛР № 020070 от 25.04.97

Подписано в печать 31.05.97. Формат 60 x 84 1/16. Усл. п.л. 5.0  
Тираж 300 экз. Печать офсетная. Заказ №

Отпечатано в подразделении оперативной полиграфии  
Брянского ИПКРО  
241036, Брянск, ул.Бежицкая, 34“А”