

**ИССЫК-КУЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
им. К.ТЫНЫСТАНОВА**

Турукбаева А., Торубаева У.

**МЕТОДИЧЕСКОЕ РУКОВОДСТВО
К ЛАБОРАТОРНЫМ РАБОТАМ ПО ИНФОРМАЦИОННО-
ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКЕ**

КАРАКОЛ, 2017

УДК: 681.2
ББК: 32.965
М 54

Учебно-методическое пособие
рекомендовано к изданию решением
Учебно-методического Совета ИГУ им.
К.Тыныстанов (протокол №4 от
22.12.2015)

Рецензенты:

к.ф.-м.н., доцент Клименко О.И.

директор ЦИТО и ПКК ИГД и ГТ
доктор тех.наук, профессор Татыбеков А.Т.

Составители: преп. Турукбаева А., ст. преп. Торубаева У.С.

М 54 Методическое руководство к лабораторным работам по
информационно-измерительной технике. /Сост. А.Турукбаева,
У.Торубаева; ИГУ им. К.Тыныстанов. –Каракол, 2017. -48 с.

ISBN 978-9967-454-89-7

Излагаются краткие сведения из теории, необходимые для
выполнения лабораторных работ, порядок выполнения работы, указания
по оформлению отчёта, контрольные вопросы для проверки усвоенного
материала.

Предназначены для студентов, изучающих дисциплину
«Информационно-измерительная техника и электроника» по направлению
подготовки «Электроснабжение».

М 2004010000-16
ISBN 978-9967-454-89-7

УДК: 681.2
ББК: 32.965

© Сост А.Турукбаева, У.Торубаева,
2017.

@ ИГУ им. К.Тыныстанов, 2017.

ВВЕДЕНИЕ

В практической жизни человек всюду имеет дело с измерениями. На каждом шагу встречаются измерения таких величин, как длина, объем, вес, время и др. Измерения являются одним из важнейших путей познания природы человеком. Они дают количественную характеристику окружающего мира, раскрывая человеку действующие в природе закономерности. Все отрасли техники не могли бы существовать без развернутой системы измерений, определяющих как все технологические процессы, контроль и управление ими, так и свойства и качество выпускаемой продукции. Велико значение измерений в современном обществе.

Особенно возросла роль измерений в век широкого внедрения новой техники, развития электроники, автоматизации, атомной энергетики, космических полетов. Высокая точность управления полетами космических аппаратов достигнута благодаря современным совершенным средствам измерений, устанавливаемым как на самих космических аппаратах, так и в измерительно-управляющих центрах.

Большое разнообразие явлений, с которыми приходится сталкиваться, определяет широкий круг величин, подлежащих измерению. Во всех случаях проведения измерений, независимо от измеряемой величины, метода и средства измерений, есть общее, что составляет основу измерений - это сравнение опытным путем данной величины с другой подобной ей, принятой за единицу. При всяком измерении мы с помощью эксперимента оцениваем физическую величину в виде некоторого числа принятых для нее единиц, т.е. находим ее значение. Измерение – познавательный процесс, заключающийся в сравнении данной величины с известной величиной, принятой за единицу.

В настоящее время установлено следующее определение измерения: измерение есть нахождение значения физической величины опытным путем с помощью специальных технических средств.

Правила техники безопасности.

Правила поведения в кабинете

1. Будьте внимательны, дисциплинированы, осторожны; точно выполняйте устные и письменные указания преподавателя.
2. Не оставляйте рабочее место без разрешения преподавателя.
3. Располагайте на рабочем месте приборы, инструменты, материалы, оборудование в порядке, указанном преподавателем или письменной инструкции.
4. Не держите на рабочем месте предметы, не требующиеся при выполнении задания.

Правила техники электробезопасности.

1. Не включайте источники электропитания без разрешения преподавателя.
2. Производите сборку электрических цепей, переключения в них, монтаж и ремонт электрических устройств только при отключённом источнике электропитания.
3. Проверяйте наличие напряжения на источнике электропитания или других частях электроустановки с помощью контрольной лампы или указателя напряжения.
4. Следите, чтобы изоляция проводов была исправна, а на концах проводов были наконечники; при сборке схемы провода располагайте аккуратно.
5. Выполняйте работы соблюдая осторожность, чтобы случайно не прикоснуться к токоведущим частям, находящимся под напряжением.
6. По окончании работы или очередного наблюдения отключите источник электропитания, после чего разберите электрическую цепь.
7. Обнаружив неисправность в электрических устройствах, находящихся под напряжением, немедленно отключите источник электропитания и сообщите об этом преподавателю.

Лабораторная работа №1

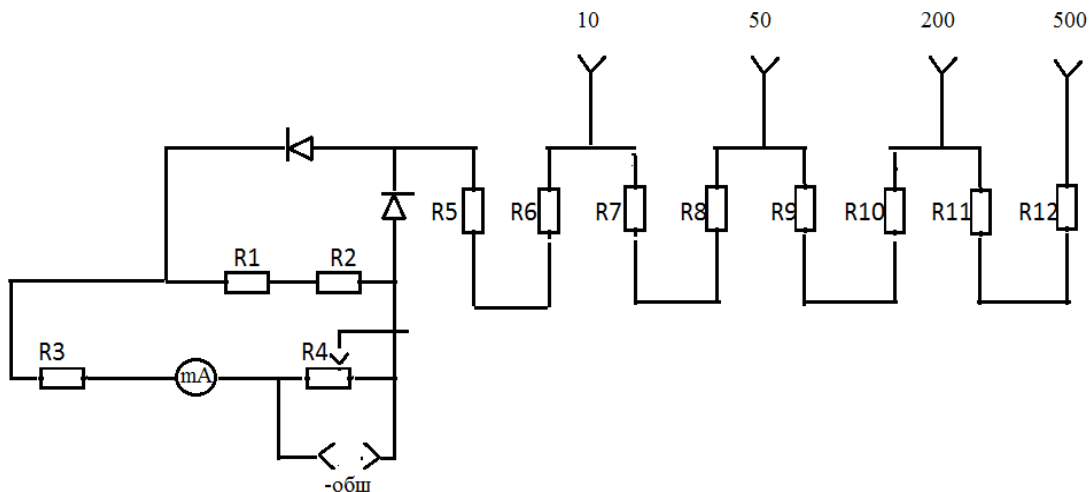
Измерительная цепь вольтметра переменного тока.

Изучаются: устройства радиоизмерительных приборов их основные характеристики и правила эксплуатации.

Приборы: комбинированный прибор АВО-6З, блок питания ИЭПП1.

Для обеспечения пяти пределов тока измерения переменного тока измерительная цепь вольтметра состоит из ряда добавочных сопротивлений, включенных последовательно измерительному прибору с выпрямителем (диоды Д9Б).

Каждое добавочное сопротивление, как и добавочное сопротивление, вольтметра постоянного тока состоит из двух последовательно соединенных резисторов типа ВС



Потребляемый ток при измерениях напряжения переменного тока составляет 0,5мА (500мкА). Добавочные сопротивления, подключены к той же точке схемы, на который измеряется сила тока 0,5мА.

Внутреннее сопротивление вольтметра переменному току равно $1/5 \cdot 10^{-4} = 200 \text{ Ом /В}$

Добавочные сопротивления имеют следующие значения:

а) для предела измерения 10В добавочное сопротивление равно $R5+R6+18,7\text{кОм}$;

б) для предела измерения 50В добавочное сопротивление равно $R5+R6+R7+R8=98,7\text{кОм}$;

в) для предела измерения 200В добавочное сопротивление равно $R5+R6+R7+R8+R9+R10=398,7\text{кОм}$;

г) предела измерения 500В добавочное сопротивление равно $R5+R6+R7+R8+R9+R10+R11+R12=1\text{МОм}$;

Измерения напряжения переменного тока.

1. Проверить положение переключателя. Указатель на ручке должен быть против обозначения «-»
2. Вставить короткий наконечник одного соединительного
3. провода в гнездо, обозначенное «общ»
4. Вставить короткий наконечник второго соединительного провода в одно из гнезд ряда с надписью «V»соответственно избранному пределу показаний измерения. Тщательно проверить правильность избранного предела и включение коротких наконечников.
5. Щупами или надетыми на них зажимами подключить прибор к точкам, между которыми надо измерить напряжение, при этом необходимо соблюдать осторожность.
6. Отсчет производить по шкале прибора обозначенной «-», с учетом избранного предела измерения.

При отсчете следует пользоваться оцифровкой шкалы. Для предела 10 В пользуются средним цифровым рядом (0,2,4,6,8,10). На пределе 10В цена каждого деления равно 0,2 В.

Для предела 50 и 500В пользуются верхним цифровым рядом (0,1,2,3,4,5) соответственно умножают цифры на 10 и 100; цена каждого деления шкалы соответственно равна 1 и 10В.

Для предела 200В пользуется нижним цифровым рядом (0,4,8,12,16,20) и умножают каждую цифру на 10; цена каждого деления шкалы равна 4В.

Перед измерением стрелка микроамперметра должна быть установлена на «0» шкалы переменного тока при помощи механического корректора. Шлиц корректора находится на лицевой стороне корпуса микроамперметра.

Меры предосторожности.

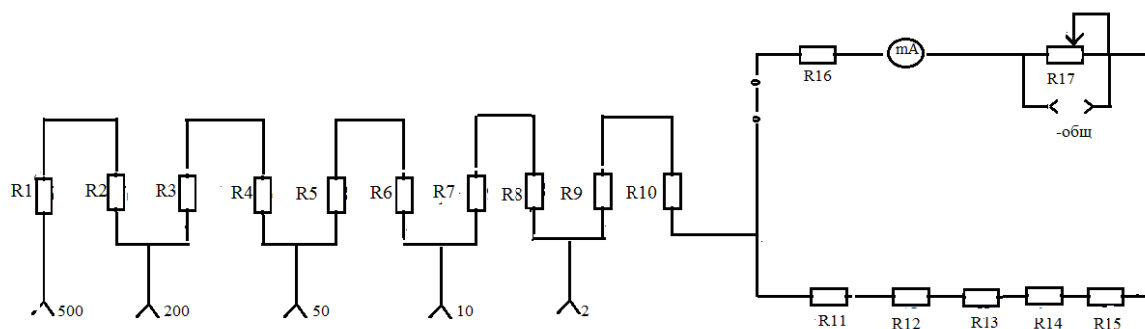
Запрещается, подключить прибор в цепь с напряжением величин превышающим установленный предел.

Лабораторная работа №2

Измерительная цепь вольтметра постоянного тока

Изучаются: устройства радиоизмерительных приборов, их основные характеристика и правила эксплуатации.

Приборы: Комбинированный прибор АВО-55, блок питания ИЭПП-1. Для обеспечения шести пределов измерения напряжения постоянного тока измерительная цепь вольтметра состоит из ряда последовательно соединенных добавочных резисторов.



Поскольку при измерении напряжения постоянного тока переключатель остается в положении «Ω» и один штекер вставляется в гнездо «общ» (т.е. как при измерении постоянного тока), универсальный шунт остается подключенным к микроамперметру не только при измерении постоянного тока, но и напряжения постоянного тока.

Поэтому при расчете величин добавочных сопротивлений вольтметра учитывается наличие шунта, и ток полного отклонения измерителя, равный 200 мкА (150 мкА через микроамперметра + 50 мкА через шунт), и внутреннее сопротивление измерителя, равное:

$$R_{изм} = R_{ш} \cdot R_{вн} / R_{ш} + R_{вн} = 4500 \cdot 1500 / 4500 + 1500 = 1125 \text{ Ом}$$

Следовательно, добавочное сопротивление для предела измерения 2В равно:

$$R_{доб} = U/I - R_{изм} = 2/200 \cdot 10^{-3} - 1125 = 8875 \text{ Ом}$$

(аналогично рассчитывается величина добавочных сопротивлений для каждого предела измерения.).

Добавочные сопротивления в авометре комплектуются из непроволочных резисторов типа ВС, точность которых весьма невелика $\pm 5\%$, $\pm 10\%$ или еще грубее. Поэтому, чтобы не превысить допустимую погрешность, добавочное сопротивление для предела 2В подбирается из двух последовательно соединенных резисторов типа ВС так, чтобы сумма этих двух резисторов $R_9 + R_{10}$ равнялась $8,8 \text{ кОм} \pm 1\%$

Для предела измерения 10В добавочное сопротивление состоит четырех последовательно соединенных резисторов $R_7 + R_8 + R_{10}$ Сумма резисторов $R_7 + R_8$ равно $40 \text{ кОм} \pm 1\%$. Для предела измерения 50 вольт добавочные сопротивления состоит из шести последовательно соединенных резисторов $R_3 + R_4 + R_5 + R_6 + R_7 + R_8 + R_9 + R_{10}$. Сумма резисторов $R_3 + R_4$ равна $759 \text{ кОм} \pm 1\%$.

Для предела измерения 500В добавочное сопротивления состоит из десяти последовательно соединенных резисторов $R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5 + R_6 + R_7 + R_8 + R_9 + R_{10}$. Сумма резисторов $R_1 + R_2$ равна $1,5 \text{ МОм} \pm 1\%$. Сила потребляемого тока при изменениях напряжения постоянного тока составляет 200 мкА. Внутреннее сопротивление вольтметра постоянного тока $R_{вн} = 5000 \text{ Ом} / \text{В}$.

Измерения напряжения постоянного тока.

1. Проверить положение переключателя. Указатель на ручке должен быть против обозначения «Ω».

2. Вставить короткий наконечник второго соединительного провода в гнездо, обозначенное «общ»

3. Вставить короткий наконечник второго соединительного провода в одно из гнезд ряда с надписью «V» соответственно избранному пределу показаний измерения.

Тщательно проверить правильность избранного предела и включение коротких наконечников.

4. Щупами (или надетыми на них зажимами) подключить авометр к точкам, между которыми необходимо измерить напряжение. При этом соблюсти полярность включения прибора, как указано выше.

5. Отчет производить по шкале, обозначенной «-» с учетом избранного предела измерения.

В целях быстрого отчета значения измеряемой величины надо руководствоваться оцифровкой шкалы следующим образом: при изменении на пределе 2 и 200 В нужно пользоваться нижним оцифрованными рядом (0,2,4,6,8,10): при этом надо учесть, что только при измерении на пределе 10 В оцифровка соответствует измеряемым величинам, в этом случае цена каждого деления равна 0,2В.

При измерениях на пределах 50 и 500 В отчет производят, пользуясь верхним цифровыми рядом (0,1,2,3,4,5): при этом цифры следует умножать на 10 при измерении на пределе 50 В и на 100- при измерении на 500В. Цена каждого деления при измерении на пределе 50В равна 1В, а при пределе 500 В-10 В.

При измерениях необходимо соблюдать большую осторожность, особенно при измерениях больших напряжений.

Инструкция по эксплуатации прибора.

Перед измерением стрелка вольтметра должна быть установлена на «0» шкалы постоянного тока при помощи механического корректора.

Шлиц корректора находится на лицевой стороне корпуса вольтметра.

Меры безопасности.

1. Запрещается: подключить прибор в цепь с током, величина которых превышает установленный предел.

2. При включение в цепь постоянного тока соблюдать полярность.

Лабораторная работа №3

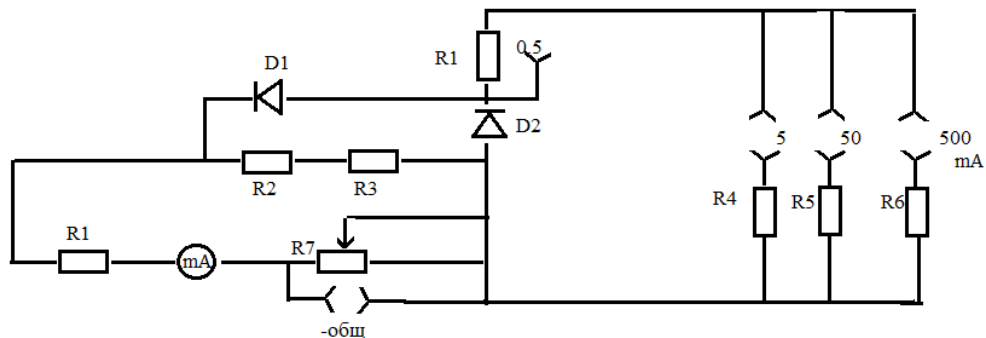
Измерительная цепь миллиамперметра переменного тока

Изучаются: Устройства радиоизмерительных приборов их основные характеристики и правил эксплуатации.

Приборы: Комбинированный прибор АВО-63, блок питания ИЭПП-1.

Для возможности использования магнитоэлектрического измерительного механизма микроамперметра при измерениях на переменном токе в измерительные цепи включен полупроводниковый выпрямитель типа Д9Б. Один диод включен в прямом направлении для положительного сигнала последовательно с микроамперметром. Второй диод – шунтирующий и включен в обратном направлении.

При положительном полупериоде переменного тока, ток проходит через диод Д1 и рамку измерительного механизма, через диод Д2, шунтирующий эту цепь, ток не проходит, так как он для этого направления имеет очень большое внутреннее сопротивление.



При отрицательном полупериоде ток проходит через диод Д2 имеющий для этого направления малое внутреннее сопротивление, и не проходит через цепь диод Д1 и обмотку рамки измерителя, следовательно, ток через измеритель проходит только в один полупериод. Такая схема выпрямления называется однополупериодной.

Включение выпрямителя происходит при установке переключателя в положение «~».

Поскольку ток полного отклонения измерителя равен 150 мкА универсальный шунт отключен, необходимо для получения первого предела измерения -0,5 мА шунтировать рамку микроамперметра.

Для этой цели служит шунт, состоящий из резистора типа ВС, на 3 кОм / R2/, последовательно соединенного с резистором R3, величина которого подбирается, к каждому прибору учитывая, разброс параметров

диода. Для остальных пределов измерения 5,50 и 500мА служат отдельные шунты R4, R5, и R6, которые подгоняется индивидуально к каждому прибору. Кроме того, последовательно с приборами М2003-1 и выпрямителем подключен резистор $R1=4,7$ кОм. При номинальном токе, равном верхнему пределу показаний измерения величина падения напряжения составляет.

на пределе:

0,5 мА около 0,6В

«5»

«5В»

«50»

«5»

«500»

«5»

Эти данные необходимо учитывать при измерениях в цепях с небольшим напряжением.

Измерения переменного тока.

1. Проверить положения переключателя: белая точка на ручке должна быть против обозначения «~»

2. Вставить короткий наконечник второго соединительного провода в гнездо, обозначенное «общ».

3. Вставить короткий наконечник второго соединительного провода в одно из гнезд ряда с надписью «~мА» соответственно избранному пределу показаний измерения. Необходимо также тщательно проверить правильность избранного предела и соблюсти необходимые меры предосторожности.

4. Включение прибора в цепь производится щупами или надежными на них специальными зажимами.

5. Отчет производить по шкале стрелочного прибора, обозначенной «~» с учетом избранного предела измерения.

6. При отчете следует руководствоваться цифрами верхнего ряда /0,1,2,4,5/, при этом как и в случае измерения силы постоянного тока, оцифровка соответствует измеряемым величинам только при измерении на пределе 5мА: в этом случае цена каждого деления шкалы -0,1 мА.

В случае же измерения на пределе 0,5 мА нужно каждую цифру делить на 10 следовательно, цена каждого деления равна 0,01 мА.

При измерении стрелка миллиамперметра должна быть установлена на «0» шкалы постоянного или переменного тока при помощи механического корректора. Находится на лицевой стороне корпуса миллиамперметра.

Меры безопасности.

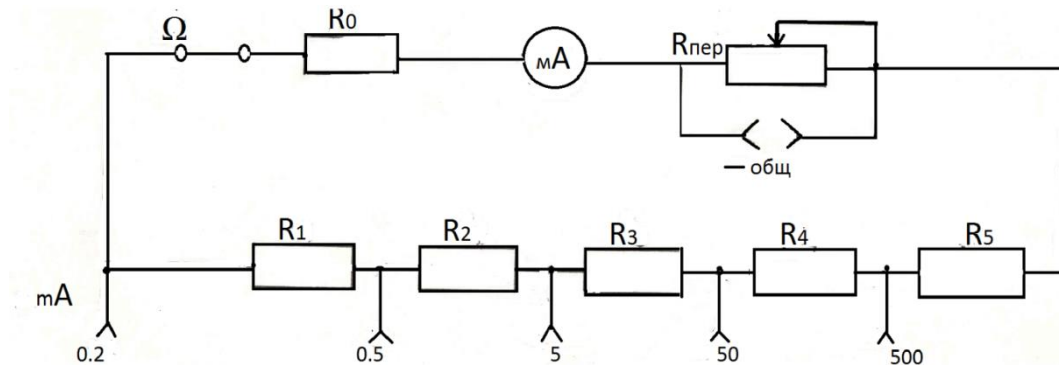
1. Запрещается: подключить прибор в цепи с током, величина которых превышает установленный предел.

Лабораторная работа №4

Измерительная цепь миллиамперметра постоянного тока

Изучаются: Устройства радиоизмерительных приборов, их основные характеристики и правила эксплуатации.

Приборы: Комбинированный прибор АВО-63 блок питания ИЭПП-1.



последовательно соединенных резисторов R_1, R_2, R_3, R_4, R_5 .

Этот шунт подключается параллельно к микроамперметру при установке переключателя в положение « Ω » и когда наконечник одного соединительного проводника вставляется в гнездо «общ». Поскольку первый предел показаний измерения равен 0,2 мА (т.е. 200 мкА), а ток полного отклонения микроамперметра М2003-1 с добавочным резистором R_0 равен 150 мкА, сопротивление всего шунта должно быть равным.

$$R_{ш} = I_r R_{вн} / I_0 - I_r = 150 R_{вн} / 200 - 150 = 150 \cdot 1500 / 50 = 4500 \text{ Ом}$$

$R_{вн}$ - внутреннее сопротивление - 1500 Ом. Следовательно, сумма резисторов.

$$R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5 = 4500 \text{ Ом.}$$

Величина каждого резистора рассчитана соответственно пределу показаний измерения: $R_1 = 2700 \text{ Ом}$, $R_2 = 1620 \text{ Ом}$, $R_3 = 16 \text{ Ом}$, $R_4 = 16,2 \text{ Ом}$, $R_5 = 1,8 \text{ Ом}$.

При номинальном токе, равном верхнему пределу показаний измерения, величина падения напряжения составляет:

на пределе 0,2 мА	0,22 В
на пределе 0,5 мА	0,63 В
на пределе 5 мА	0,87 В
на пределе 50 мА	0,9 В
на пределе 500 мА	0,9 В

Эти данные необходимо учитывать при измерениях в цепях с малым напряжением.

Измерение постоянного тока.

1. Проверить расположение указателя (белой точки) ручки переключателя. Указатель должен находиться против обозначения «Ω».

2. Вставить короткий наконечник одного соединительного провода в гнездо, обозначенное «общ».

3. Вставить короткий наконечник второго соединительного провода в одно из гнезд ряда с надписью (мА), соответствующее необходимому пределу показаний измерения. Во избежание порчи прибора нужно тщательно проверять правильность избранного предела (на основании предварительных расчетов о величине силы тока в измеряемой цепи). Для большей гарантии лучше при первом измерении избрать заведомо больший предел. После соблюдения указанных предосторожности по выбору предела измерения, убедившись в правильном включении коротких наконечников, включают прибор при помощи шипов (или надетых на них специальных зажимов) в измеряемую цепь. При этом следует учесть полярность точек цепи, куда включается авометр. Провод, короткий наконечник которого вставлен в гнездо «общ», необходимо подключить в точку электрической цепи, соединенной с «-» источника тока. Если при измерении стрелка прибора отклонилась влево от нуля, то следовательно, прибор включен в цепь неправильно и следует переменить местами щупы. Отчет производить по шкале стрелочного прибора, обозначенной «~» с учетом избранного предела измерения.

При отчете следует руководствоваться цифрами верхнего ряда (0,1,2,4,5), при этом следует учесть, что только при измерении на пределе 5мА оцифровка соответствует измеряемым величинам, и в этом случае цена каждого деления равна 0,01 мА. При измерениях стрелка на пределах 50 и 500 мА следует каждую цифру соответственно умножить на 10 и 100.

Цена каждого деления при измерении на пределе измерения 50мА равна 1мА, при пределе измерения 500 мА – 10 мА.

При измерении на пределе 0,2 мА удобнее пользоваться для отсчета цифрами нижнего ряда (0,4,8,12,16,20). При этом надо каждую цифру делить на 100, и следовательно, цена каждого деления равна 0,004 мА (4 мА).

Инструкция по эксплуатации.

Перед измерением стрелка миллиамперметра должна быть установлена «0» шкалы постоянного тока или переменного тока при помощи механического корректора. Шлиц корректора находится на лицевой стороне корпуса миллиамперметра.

Меры безопасности.

1. Запрещается: подключить прибор в цепи с током, величина которых превышает установленной предел.

2. При включении в цепь постоянного тока соблюдать полярность.

Лабораторная работа №5

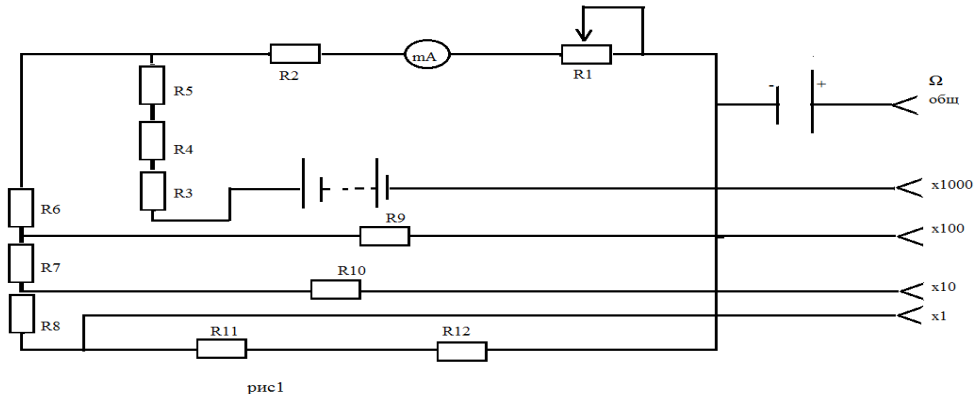
Измерительная цепь омметра

Изучаются; устройства радиоизмерительных приборов их основные характеристики и правила эксплуатации.

Приборы; Комбинированный прибор АВО-63, блок питания ИЭПП-1 и набор сопротивлений.

Общие сведения

Измерительная цепь омметра представляет собой последовательную схему с бесконечным пределом измерения (рис.1)



Чувствительность измерителя регулируется переменным резистором $R1$ (резистор типа СП-0,4), включенным последовательно в цепь измерителя. Это необходимо для компенсации изменения напряжения батареи питания омметра. Добавочные сопротивления для пределов измерения, соответствующих множителям $X10, X100, X1000$, подключены к выводам от универсального шунта, так что при множителя $X10$ ток полного отклонения (при измеряемом сопротивлении $R=0$) I равен 5mA и добавочное сопротивление $R10=25\text{ Ом}$; соответственно для множителя $X100-1=0.2\text{mA}$ и добавочный сопротивление состоит из $R3+R4+R5=18.8\text{кОм}$ (поэтому $R3$ должны быть равно 10кОм).

Источником тока для питания цепи омметра при измерениях на множителях $x1, x10, x100$ служит один сухой элемент типа 332, а на множителе $x1000$ три последовательно соединенных элемента типа 332.

Измерение сопротивлений

При измерении сопротивлений необходимо.

1. Производить измерение только на обесточенных цепях. Только в этих условиях обеспечивается правильность результата измерения и исключаются возможность повреждения прибора.
2. Установить переключатель так, чтобы его указатель (белая точка на ручке) был расположен против обозначение « Ω »
3. Вставить короткий наконечник одного соединительного провода в гнездо, обозначенное «общ», в ряду со знаком « Ωx ».
4. Вставить короткий наконечник второго соединительного провода в одно из гнезд указанного ряда соответственно избранному множителю.

5. Перед началом измерения сопротивлений установить нуль омметра, для чего замкнуть накоротко щупы соединительных провода и вращением ручки переменного резистора установить стрелку прибора на верхней шкале с надписью « Ω » на цифру «0».

После установки стрелки прибора на нуль омметра не допускаются какие-либо манипуляции с ручкой переменного резистора.

Во избежание быстрого разряда элементов, питающих цепь омметра нельзя оставлять на длительное время наконечники замкнутыми между собой накоротко. Если стрелка прибора не устанавливается на нуль шкала омметра при повороте головки переменного резистора до отказа, следует вскрыть крышку и проверить элементы и в случае необходимости заменить их исправными.

6. Подключить щупы соединительных проводов к концам измеряемого резистора.

7. Отчет производить по верхней шкале прибора с учетом избранного множителя.

Оцифровка верхней шкалы дана непосредственно у делений шкалы.

При множителе 1 оцифровка шкалы соответствует значению измеряемой величины.

При множителе 10,100,1000 следует оцифровку шкалы умножать соответственно на 10,100,1000.

При измерении сопротивлений величин другого порядка надо переставить короткий наконечник в гнездо нужного множителя. При этом следует снова произвести установку стрелки на нуль шкалы омметра и только затем производить измерения сопротивлений.

Для удлинения срока службы источников питания омметра не рекомендуется оставлять щупы подключенными к измеряемому сопротивлению на длительное время.

Измерение сопротивлений до 20 МОм

Для измерения сопротивлений величиной до 20 МОм необходимо собрать цепь (рис 2.)

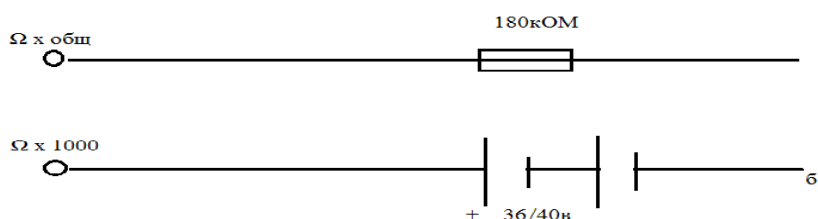


рис2

Последовательно с гнездом «общ» в ряду « Ω х» соединяется добавочный резистор 180кОм, а последовательно с гнездом «1000» соединяется добавочная батарея с напряжением 36/40 В. Измерение проводят, как описано выше, т.е. сначала надо замкнуть точки схемы а и б установить переменным резистором стрелку измерителя на «0» шкалы, обозначенной « Ω », а затем к этим же точкам присоединить измеряемое сопротивление. Счет производят по верхней шкале, умножая оцифровку шкалы на 10 000.

Лабораторная работа №6

Снятие характеристик и определение параметров полевых транзисторов.

Цель работы. Снятие выходных характеристик и характеристик прямой передачи полевых транзисторов с управляющим и изолированным затворами; определение параметров транзисторов по характеристикам и на испытателе полевых транзисторов.

Общие сведения

Устройство полевого транзистора. Полевым транзистором называется трех электродный полупроводниковый прибор, в котором ток создается основными носителями заряда, движущимися под действием продольного электрического поля, а управление силой тока осуществляется поперечным электрическим полем, создаваемым напряжением, приложенным к управляющему электроду.

Полевые транзисторы бывают: а) с управляющим p - n переходом и барьером Шоттки; б) с изолированным затвором, так называемые МДП-транзисторы (металл—диэлектрик—полупроводник). Если в качестве диэлектрика используется окисел (например, двуокись кремния SiO_2), МДП- транзисторы называют МОП- транзисторами (металл — окисел— полупроводник). Транзисторы с изолированным затвором в свою очередь подразделяются на два типа: со встроенным (собственным) каналом и с индуцированным каналом. По виду проводимости канала различают транзисторы с каналом n -или p - типа . Полевой транзистор с управляющим затвором и каналом n -типа, изготовленный методом эпитаксиально-диффузионной технологии (рис. 1,а),

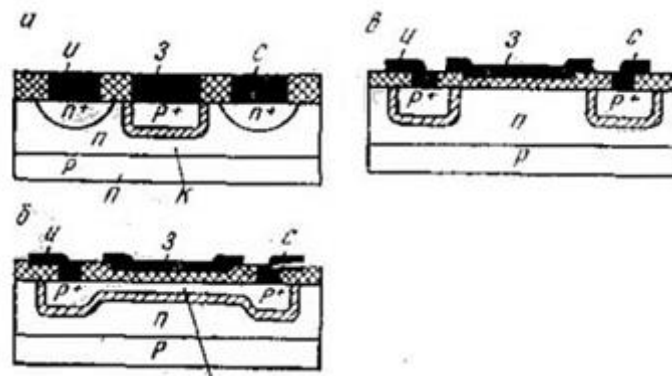


Рис.1. Устройство планарных полевых транзисторов: а—с управляющим p - n - переходом; б- МДП- транзистор со встроенным каналом: в-МДП транзистор с индуцированным каналом.

Содержит полупроводниковую подложку и тонкий слой полупроводника n -типа, высоколегированные области с проводимостью n и p типа и

металлические контакты, разделенные между собой слоями диэлектрика. Области высокой концентрации носителей заряда являются электродами полевого транзистора (исток—И, сток—С, затвор—З). Между областью затвора с проводимостью p - типа и полупроводником n -типа образуется p — n переход. Сток и исток соединяются каналом (К), заключенным между подложкой (П) и p - n переходом. Подложка, как правило, соединяется с затвором. Толщина канала w_K обычно составляет 1—3 мкм, расстояние L_K между областями стока и истока — 3—10 мкм, ширина H_K канала — 0,5—10 мм.

В полевых транзисторах с барьером Шоттки вместо p — n перехода используется обратно смещенный выпрямляющий контакт металл—полупроводник, т. е. в роли затвора выступает слой металла, нанесенный на полупроводник. В МДП- и МОП- транзисторах со встроенным каналом (рис. 1, б) высоколегированные области истока и стока, как и в полевом транзисторе с управляющим затвором, соединяются через канал малой толщины. Но затвор изолирован от полупроводника тонким слоем диэлектрика, p — n - перехода между затвором и каналом нет.

В МДП и МОП- транзисторах с индуцированным каналом (рис. 1, в) затвор также изолирован от полупроводника, но при нулевом напряжении между затвором и истоком канал между областью истока и стока отсутствует.

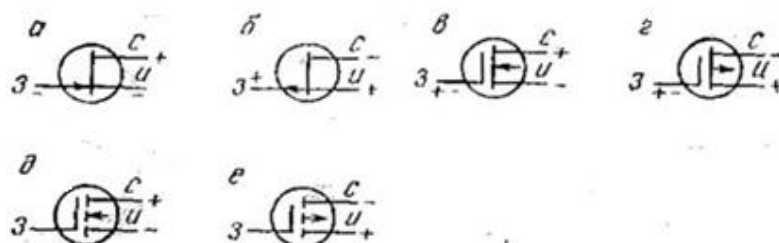


Рис. 2. Обозначения полевых транзисторов: а—с управляющим переходом и каналом n -типа; б—с управляющим переходом и каналом p -типа; в—со встроенным каналом n -типа; г—со встроенным каналом p -типа; д—с индуцированным каналом n - типа; е— сндуцированным каналом p -типа.

На условных обозначениях полевых транзисторов (рис. 2) канал транзисторов с управляющим переходом и со встроенным каналом изображается сплошным отрезком прямой, канал транзисторов с индуцированным каналом — штриховой линией. Проводимость канала указывается стрелкой. В транзисторах с управляющим переходом она расположена со стороны затвора, в транзисторах с изолированным затвором—со стороны выводов истока и стока. Если стрелка направлена к символу канала, канал имеет электропроводность n -типа, если от символа канала электропроводность p - типа.

Принцип работы полевого транзистора. Ток, протекающий в цепи полевого транзистора в направлении от истока к стоку и называемый *током стока* i_c обусловлен напряжением между стоком и истоком $u_{си}$. Управление током стока i_c происходит под действием напряжения $u_{зи}$, приложенного между затвором и стоком.

В транзисторе с управляющим переходом напряжение и является обратным, приложенным к $p-n$ переходу. От его величины $|u_{зи}|$ зависит толщина перехода d между каналом и затвором. Чем больше величина обратного напряжения $|u_{зи}|$ приложенного к переходу, тем больше толщина обедненного носителями тока $p-n$ перехода, меньше толщина канала w_k и больше его сопротивление. При достаточно большом напряжении $u_{зи} = u_{зи\text{отс}}$ возможно полное запираание транзистора — отсечка тока стока.

В полевом транзисторе с изолированным затвором и встроенным каналом с проводимостью p -типа к затвору может быть подведено положительное или отрицательное относительно истока напряжение $u_{зи}$. При положительном напряжении создается электрическое поле, которое выталкивает дырки из канала и обедняет канал носителями тока, что вызывает уменьшение тока стока. При отрицательном напряжении затвора электрическое поле втягивает дырки в канал, обогащает его носителями тока. Происходит увеличение тока стока. В транзисторе со встроенным каналом толщина канала не меняется, напряжение между затвором и стоком управляет концентрацией носителей тока в канале.

Через транзистор с индуцированным каналом в отсутствие напряжения между затвором и истоком ток не проходит, так как между стоком и истоком навстречу друг другу включено два $p-n$ перехода. В этом случае на границе между полупроводником и диэлектриком, отделяющим затвор от полупроводника, существует потенциальный барьер. Прилегающий к диэлектрику слой полупроводника n -типа заряжен отрицательно, а в пленке диэлектрика накапливаются положительные заряды. Когда к затвору подводится отрицательное напряжение, в поверхностном слое полупроводника индуцируется распределенный положительный заряд, возникает канал, соединяющий области стока и истока. Накопление заряда в канале происходит в результате притягивания к затвору неосновных носителей тока (дырок) и отталкивания основных (электронов проводимости). При возрастании величины отрицательного напряжения затвора происходит обогащение канала дырками. Положительное напряжение затвора приводит к появлению вблизи диэлектрика области с проводимостью n -типа. Проводящего канала между истоком и стоком в этом случае нет. Напряжение между стоком и истоком $u_{си}$ оказывает также влияние на величину тока, проходящего через полевой транзистор. При увеличении этого напряжения происходит сужение канала вблизи стока, а при достаточно большой величине

напряжения сток—исток образуется узкая горловина и происходит ограничение тока стока на определенном уровне.

Характеристики. Полевые транзисторы включаются по схемам с общим истоком, общим стоком или с общим затвором. Первый способ включения (рис. 3) применяют чаще других. Применительно к схеме с общим истоком зависимости между токами и напряжениями электродов полевых транзисторов могут быть выражены характеристиками:

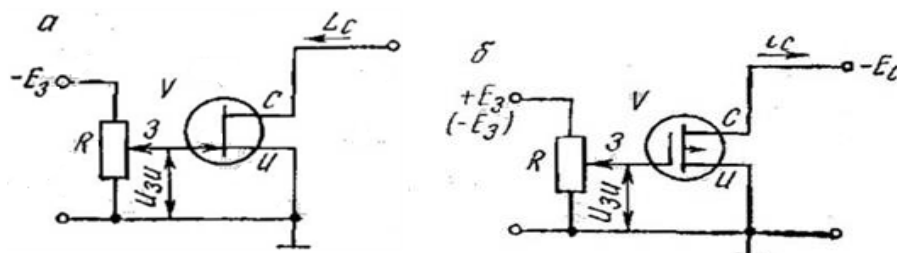


Рис. 3. Включение полевых транзисторов по схеме с общим истоком:

а- с управляющим переходом; *б*— со встроенным каналом.

входная характеристика $i_3 = f_1(u_{3,и})$ при $U_{c,и} = const$;

характеристика обратной передачи $i_3 = f_1(u_{c,и})$ при $U_{3,и} = const$;

характеристика прямой передачи (стоко затворная)

$i_c = f_3(u_{3,и})$ при $U_{3,и} = const$;

выходная характеристика (стоковая) $i_c = f_4(u_{c,и})$ при $U_{3,и} = const$;

В полевых транзисторах ток затвора имеет небольшую величину. В транзисторах с управляющим переходом ток затвора—это образный ток p — n перехода, он не превосходит десятков наноампер, в транзисторах с изолированным затвором величина тока еще меньше. По этим причинам свойства полевого транзистора описывают лишь двумя последними характеристиками.

Рассмотрим выходные (стоковые) характеристики транзистора при различных значениях напряжения затвор—исток $U_{3,и}$. В транзисторе с управляющим переходом (рис. 4, *а*) при малых значениях u_c увеличение тока i_c с ростом напряжения происходит почти по линейному закону. Некоторая нелинейность характеристики объясняется сужением канала у стокового конца под действием напряжения $U_{c,и}$. Когда напряжение между стоком и истоком достигает напряжения насыщения $U_{c,и\text{нас}}$ рост тока прекращается вследствие дальнейшего сужения канала вблизи стока. При достаточно большом напряжении $U_{c,и}$ происходит пробой p - n перехода у стокового конца канала и резкое возрастание тока i_c . Наличие отрицательного напряжения затвора приводит к уменьшению тока насыщения.

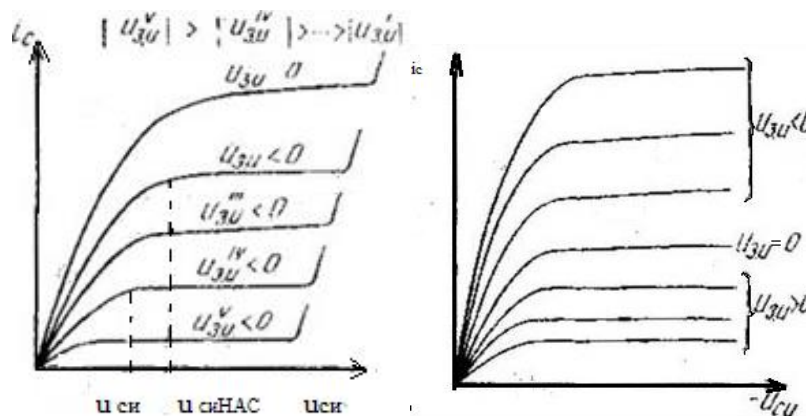


Рис. 4. Выходные (стоковые) характеристики полевых транзисторов:
 а—с управляющим переходом; б — со встроенным каналом.

В транзисторе со встроенным каналом (рис. 4, б) увеличение напряжения $u_{си}$ вызывает нарастание тока i_c . При определенном значении напряжения $u_{сиНАС}$ происходит насыщение так как все носители заряда в канале участвуют в создании тока. Величина тока i_c зависит от напряжения затвора, причем ток проходит как при положительном, так и при отрицательном его значении.

Характеристики прямой передачи (стока-затворные) имеют сходство с анод но- сеточными характеристиками радиоламп. Ток истока появляется при $u_{зи} > u_{зи\text{отс}}$. Характеристики прямой передачи снимаются при напряжении $u_{зи} > u_{зи\text{отс}}$ так как в этом случае изменения напряжения зок мало влияют на величину тока в его цепи. Транзистор с управляющим переходом и каналом n - типа (рис. 5, а) работает лишь в области отрицательных напряжений затвора. Эти же характеристики транзистора со встроенным каналом (рис. 5, б) располагаются как в области отрицательных, так и в области положительных напряжений затвора.

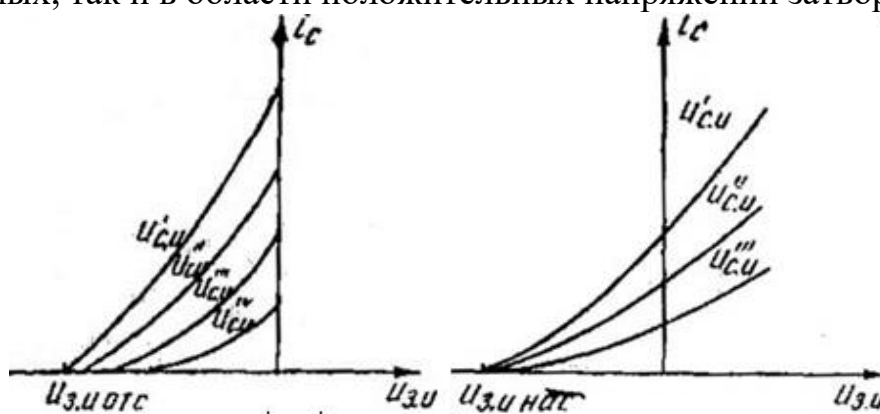


Рис. 5. Характеристики прямой передачи (стока-затворные) полевого транзистора:

а—с управляющим переходом; б—со встроенным каналом

$$(U_{си} = \text{const}; U_{си} \geq U_{сиНАС}; U_{си}^I \geq U_{си}^V)$$

Характеристики полевых транзисторов, как и электронных ламп, могут быть построены по результатам измерений напряжений и токов измерительными приборами или получены с помощью осциллографа.

Параметры полевого транзистора. Полевые транзисторы, как и другие полупроводниковые приборы и электронные лампы, могут рассматриваться как четырехполюсники с двумя входными и двумя выходными клеммами. Связь между напряжениями и токами электродов полевых транзисторов принято выражать соотношениями, в которых токи электродов выступают как зависимые переменные, а напряжения электродов - независимые переменные. Эта связь выражается соотношениями:

$$di_1 = \frac{\partial i_1}{\partial u_1} du_1 + \frac{\partial i_1}{\partial u_2} du_2; di_2 = \frac{\partial i_2}{\partial u_1} du_1 + \frac{\partial i_2}{\partial u_2} du_2;$$

Параметрами нулевых транзисторов являются:

$$\text{входная проводимость } Y_{11} = \frac{\partial i_1}{\partial u_1} \text{ при } U_2 = \text{const}$$

$$\text{обратная проводимость } Y_{12} = \frac{\partial i_1}{\partial u_2} \text{ при } U_1 = \text{const}$$

$$\text{крутизна характеристики } Y_{21} = \frac{\partial i_2}{\partial u_1} \text{ при } U_2 = \text{const}$$

$$\text{выходная проводимость } Y_{22} = \frac{\partial i_2}{\partial u_2} \text{ при } U_1 = \text{const}$$

Для переменных токов и напряжений параметры полевых транзисторов являются комплексными величинами и при включении транзисторов по схеме с общим истоком определяются из соотношений:

$$Y_{11U} = \frac{I_3}{U_{3И}} \text{ при } U_{СИ} = \text{const} \quad Y_{12U} = \frac{I_3}{U_{3И}} \text{ при } U_{3,И} = \text{const}$$

$$Y_{21U} = \frac{I_C}{U_{3И}} \text{ при } U_{С,И} = \text{const} \quad Y_{22U} = \frac{I_C}{U_{С,И}} \text{ при } U_{3,И} = \text{const}$$

В диапазоне низких частот учитываются лишь активные составляющие проводимостей: $g_{11U}, g_{12U}, g_{21U}, g_{22U}$,

Часто вместо входной и выходной проводимостей нулевых транзисторов используют соответственно входное и выходное дифференциальные сопротивления:

$$R_{ВХ} = \frac{1}{g} = \frac{\partial u_{3И}}{\partial i} \text{ при } U_{С,И} = \text{const} \quad R_{ВЫХ} = R_{IC} \frac{1}{g_{22U}} = \frac{\partial u_{СИ}}{\partial i_{С НАС}} \text{ при } U_{3,И} = \text{const}$$

При определении параметров полевых транзисторов обычно ограничиваются оценкой крутизны характеристики и выходного сопротивления.

Параметры нулевых транзисторов, применяемые для расчетов каскадов в диапазоне низких частот, могут быть определены по их характеристикам. Параметры транзисторов на высоких частотах измеряют с помощью испытателей транзисторов.

Полевые транзисторы имеют ряд преимуществ по сравнению с транзисторами других типов: высокое входное сопротивление (от 10^6 до 10^9 Ом для транзисторов с управляющим переходом, от 10^9 до 10^{15} Ом для транзисторов с изолированным затвором); малый уровень шумов, устойчивость против температурных и радиационных воздействий; выходные характеристики пентодного типа.

Рекомендации по работе с полевыми транзисторами. Полевые транзисторы, особенно транзисторы с изолированным затвором, легко повреждаются от воздействия даже не очень сильных внешних электрических полей. Монтаж, испытания, эксплуатация их должны проводиться при соблюдении определенных мер предосторожности.

Работы с транзисторами, включая подготовительные, следует производить на заземленном металлическом листе. На нем должны располагаться локти оператора, инструмент и другое оборудование, необходимое для выполнения работ. На руке оператора должно быть заземленное кольцо. Пайку выводов следует производить низковольтным паяльником (6-12 В) мощностью не более 60 Вт. Жало паяльника должно быть заземлено, его температура не должна превышать 250°C , длительность пайки не более 3с. Во время пайки необходимо осуществлять отвод тепла, например, с помощью пинцета, удерживающего отвод от транзистора и располагаемого между транзистором и паяльником. Нельзя допускать попадания припоя или флюса на корпус транзистора. На время пайки все выводы транзистора необходимо соединить между собой. Первым следует паять вывод затвора, последним — вывод корпуса.

Приборы и принадлежности

1. Полевые транзисторы для исследования (КП 101, КП 102, КП 103, КП301, КП 302, КП 303, КП 304, КП 305 и др.)

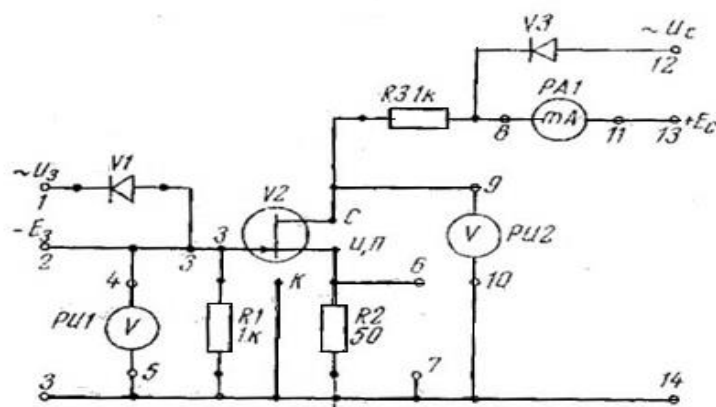


Рис. 6. Схема стенда для исследования полевых транзисторов.

2. Стенд для исследования транзисторов (рис. 6). Выполнен методом печатного монтажа на плате из стеклотекстолита. Для подключения измерительных приборов, осциллографа и источников питания

установлены гнезда. Исследуемый транзистор V2, диоды V1V3, резисторы R1, R2, R3 припаиваются к штырькам стенда. Транзистор крепится к штырькам с обозначениями З (затвор), С (сток), И (исток), К (корпус), П (подложка). Полярность напряжений и способ включения диодов, указанные на схеме, соответствуют включению транзистора с управляющим переходом и каналом n -типа.

3. Генератор звуковой частоты.

4. Осциллограф.

Выполнение работы

1. Изучите устройство, принцип работы и характеристики полевых транзисторов. Ознакомьтесь с правилами обращения с ними и правилами их пайки.

2. Ознакомьтесь с индивидуальным заданием по исследованию полевых транзисторов. Изучите по справочнику их технические данные. Обратите внимание на предельные значения токов электродов и напряжений между ними.

3. Нарисуйте схемы для снятия выходных характеристик и характеристик прямой передачи полевых транзисторов по показаниям приборов, укажите пределы измерений токов и напряжений приборами, полярность и предельные значения подводимых к электродам транзистора напряжений и токов его электродов.

4. Соберите и проверьте цепь для исследований.

5. Снимите показания приборов и постройте выходные характеристики транзистора при указанных в индивидуальном задании значениях напряжений затвор-исток и характеристики прямой передачи при указанных значениях напряжения сток - исток. Полученные данные запишите в таблицы 1 и 2.

Таблица 1.

$U_{\text{с.и.}}$										
$i_{\text{с}}$										

Таблица 2

$U_{\text{з.и}}$										
$i_{\text{с}}$										

6. Определите крутизну характеристики и выходное сопротивление в указанных в индивидуальном задании точках.

7. Нарисуйте схему и соберите цепь для получения выходной характеристики полевого транзистора на экране осциллографа.

Для транзистора с управляющим затвором и каналом n - типа схема включения приборов показана на рис. 7, а. К затвору транзистора

подводится постоянное напряжение от источника питания E_3 . К стоку транзистора через диод V_2 подключен генератор звуковой частоты G . Благодаря наличию диода V_2 напряжение стока является пульсирующим. Это напряжение подводится ко входу «X» осциллографа ЭО и используется в качестве напряжения развертки (генератор пилообразного напряжения осциллографа выключен). Ко входу «Y» осциллографа подводится напряжение, снимаемое с резистора R_2 . Это напряжение пропорционально току истока (он практически равен току стока), под его действием происходит отклонение электронного пучка в электроннолучевой трубке осциллографа по вертикали

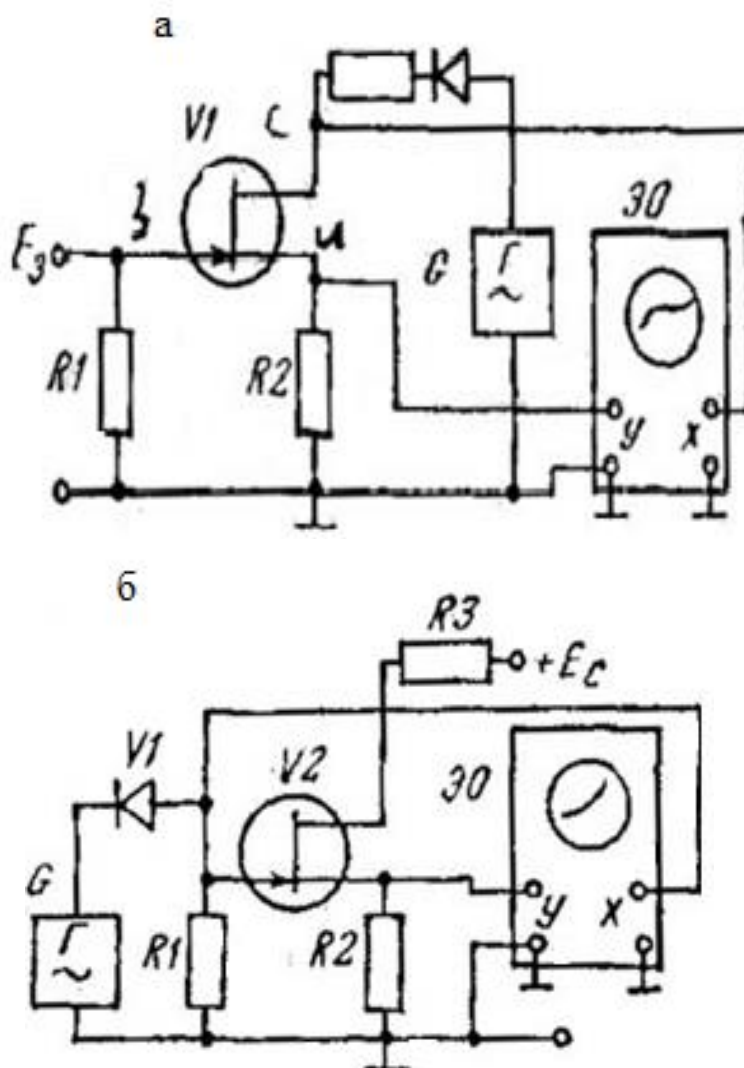


Рис. 7. Схема цепей для получения на экране осциллографа характеристик полевого транзистора: а - стоковой; б - стоко-затворной.

При исследованиях транзистора с каналом p - типа необходимо изменить полярности напряжения затвор — исток и включения диода V_2 .

8. Установите амплитуду напряжения генератора, не превосходящую допустимого значения напряжения сток — исток, установите указанное в индивидуальном задании напряжение затвора и получите выходную характеристику транзистора на экране осциллографа. Исследование проведите при частоте напряжения генератора 500 Гц. В случае раздвоения характеристики на экране осциллографа измените частоту напряжения генератора.

9. Нарисуйте схему, соберите цепь и получите на экране осциллографа характеристику прямой передачи полевого транзистора при указанных в индивидуальном задании значениях напряжения исток—сток. Чтобы не повредить транзистор, установите амплитуду напряжения генератора, не превосходящую допустимого значения напряжения затвор — исток. Схема цепи для получения характеристики прямой передачи для транзистора с управляющим затвором и каналом n - типа показана на рис. 7, б. Для исследования транзистора с каналом p -типа необходимо изменить полярности напряжения сток — исток и включения диода VI. При исследовании транзистора со встроенным каналом диод VI не устанавливается.

Контрольные вопросы и задания

1. Какой полупроводниковый прибор называется полевым транзистором? Назовите разновидности полевых транзисторов.

2. Почему полевой транзистор называется униполярным прибором?

3. Каковы устройство и принцип работы полевого транзистора с управляющим переходом, со встроенным каналом, с индуцированным каналом?

4. Укажите преимущества и недостатки полевых приборов по сравнению с другими полупроводниковыми приборами и электронными лампами.

5. Каковы преимущества полевых транзисторов с изолированным затвором по сравнению с транзисторами с управляющим p — n - переходом?

6. Нарисуйте и поясните вид выходных характеристик и характеристик прямой передачи полевого транзистора с управляющим переходом, со встроенным каналом, с индуцированным каналом.

7. Назовите основные параметры полевых транзисторов и укажите, как они определяются по значениям токов и напряжений электродов.

8. Как по характеристикам полевого транзистора определить его параметры?

9. Нарисуйте и поясните схемы для снятия выходных характеристик характеристик прямой передачи полевого транзистора по показаниям измерительных приборов и с помощью осциллографа.

Лабораторная работа №7

Исследование характеристик полупроводниковых приборов

Цель работы: Изучение вольт - амперных характеристик полупроводниковых приборов

Общие сведения

Полупроводниковые диоды

Электронно-дырочный переход является вентильным устройством, пригодным для выпрямления переменных токов. Объем полупроводника, разделенный на две части электронно-дырочным переходом, с укрепленным на электронной и дырочной областях металлическим невыпрямляющими контактами, будет представлять собой полупроводниковый диод.

По типу основного полупроводника диоды делятся на три основные группы:

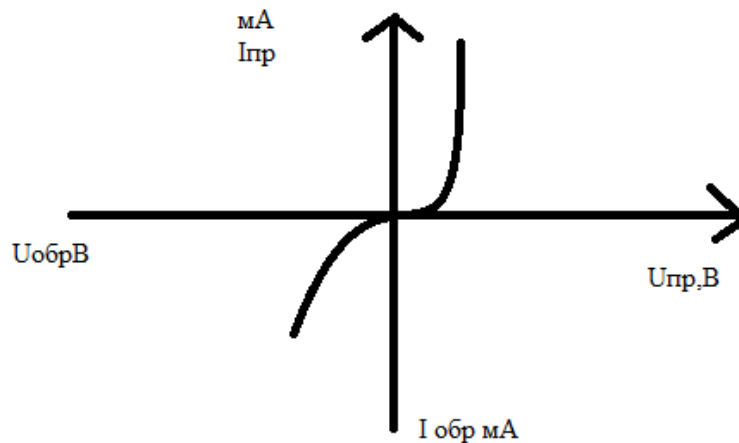
1. Германий и его соединения
2. Кремний его соединения
3. Соединения галлия

По конструктивно-технологическому признаку различают точечные (у которых линейные размеры, определяющие площадь выпрямляющего электрического перехода, значительно меньше характеристической длины) и плоскостные (площадь значительно больше длины) диоды.

По областям определения различают:

1. Выпрямительные диоды
2. Импульсные диоды
3. СВЧ-диод смесительные, измерительные и видео диоды, параметрические переключатели, у множительные
4. Селеновые выпрямители
5. Варикапы
6. Стабилитроны
7. Фотодиоды
8. Туннельные диоды.
9. Обращенные диоды
10. Светодиоды,
11. Стабисторы
12. Лавинно-пролетные диоды;

Вольтамперная характеристика выражает зависимость тока, проходящего через диод, от величины и полярности приложенного к нему напряжения.



Чем круче и ближе к вертикальной оси поднимается прямая ветвь и чем ближе к горизонтальной оси и на большом ее протяжении прилегает к ней обратная ветвь, тем лучше диод.

Требованиям, предъявляемым к прямой ветви, лучше всего удовлетворяют германиевые плоскостные диоды, а обратная ветвь лучше у кремниевых диодов. При достаточно большом обратном напряжении у любого диода наблюдается резкое увеличение обратного тока, называемое пробоем. При повышении температуры как прямой, так и обратный токи увеличиваются, а при понижении температуры уменьшаются.

Пробивное напряжение в зависимости от типа диода может по-разному зависеть от температуры, но чаще всего оно понижается с повышением температуры.

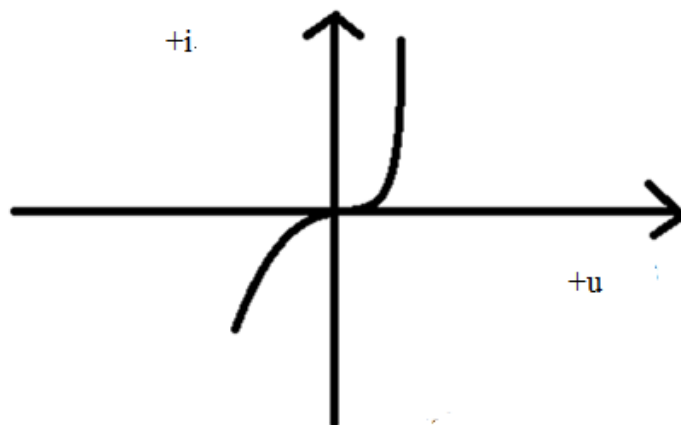
Силовые (выпрямительные) диоды. Обычно называют диоды; предназначенные для преобразования переменного напряжения источников питания в постоянное. Они, как правило, имеют очень ограниченный частотный диапазон работы. Например, при преобразовании промышленного переменного тока в постоянный рабочая частота составляет всего 50 Гц. В настоящее время наиболее перспективным материалом для изготовления силовых диодов считается кремний. Применение германия для этих целей экономически неоправданно, так как германиевое сырье является весьма дефицитным. Кроме того, из кремния можно получать более высоковольтные диоды. Потери в диоде складываются из потерь за счет протекания обратного тока и потерь за счет протекания прямого тока. У германиевых и, особенно, кремниевых диодов обратные токи очень малы, и потерями за счет обратных токов можно пренебречь, считая, что все потери в диоде определяются протекающим через него прямым током. Селеновые выпрямители имеют потери за счет обратных токов, соизмеримые с потерями за счет прямых токов. В оптимальном случае потери за счет обратных токов составляют 25% от общих потерь. И германиевые, и кремниевые, и селеновые диоды

представляют собой выпрямительные элементы с запирающим слоем. Говоря другими словами, они представляют собой р-п переход, снабженный выводами и соответствующим образом конструктивно оформленный. Вольтамперные характеристики полупроводниковых диодов различных типов имеют очень много общего. От идеального р-п перехода реальный будет отличаться следующим:

1. Реальный переход имеет конечные размеры, в результате этого он, в отличие от бесконечного идеального перехода, будет по некоторому контуру выходить на поверхность полупроводника. Это значит, что рассматривая реальный переход, мы должны оценивать влияние процессов на поверхности на его свойства.

2. При приложении внешнего напряжения часть его падает в объеме полупроводника за пределами р-п перехода.

Вольтамперная характеристика приведена на рисунке.



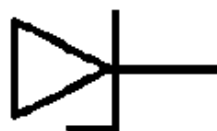
Конструкции силовых диодов могут быть самыми различными. Количество тепла, выделяемого в диодах средней мощности, уже не может быть рассеяно корпусом диода. Поэтому диоды этого класса приходится монтировать на специальных теплоотводящих устройствах — радиаторах. Диоды большой мощности выделяют при своей работе столь значительное количество тепла, что для улучшения условий тепло отвода прибегают к принудительному охлаждению. Для увеличения выпрямленных токов можно применять параллельное включение диодов. Но в этом случае для выравнивания токов рекомендуется последовательно с каждым из диодов включать балластное сопротивление. Чем больше будет это сопротивление, тем меньше будет различие в токах, протекающих через каждый из диодов. Но увеличение балластных сопротивлений приводит к увеличению прямых потерь, хотя эти потери не перегревают перехода и отражаются только на КПД выпрямителя.

Обозначение в схемах полупроводниковых приборов:



Стабилитроны. Для создания стабилизированных источников питания аппаратуры на полупроводниковых приборах был необходим низковольтный источник опорного напряжения. В некоторых случаях характеристика пробоя кремниевых переходов идет почти параллельно оси токов. До напряжения пробоя вольтамперная характеристика такого диода ничем не отличается от характеристики обычного диода. В то же время в области пробоя при одном и том же значении напряжения на диоде ток может меняться в довольно широких пределах. Это напряжение и будет являться напряжением стабилизации. Такие диоды были названы стабилитронами. В основном все они представляют собой кремниевые диоды с напряжением пробоя (являющимся напряжением стабилизации) от 3,5 до 200 В на мощности от 250 мВт до 50 Вт.

Особый интерес представляет переход стабилитрона из области тока в область пробоя. Исследования показали, что при этом в стабилитроне возникают довольно значительные шумы, существенно превышающие шумы установившегося лавинного процесса. Шумы в пред пробойной области стали использовать в специальных приборах - полупроводниковых генераторах шума.



Условное обозначение:

Импульсные диоды. При исследовании импульсных свойств полупроводниковых диодов, был обнаружено, что при работе с достаточно короткими импульсами обратное сопротивление диода оказывается значительно ниже, чем это было определено в стационарном режиме. При переключении диода на короткое время из открытого состояния в закрытое, диод как бы не успевает запереться.

Это явление связано со спецификой работы р-п перехода и представляет собой проявление так называемого эффекта накопления. Если диод включен в прямом направлении, то через р-п переход осуществляется инжекция носителей. В результате в непосредственной близости переходу создается концентрация неосновных неравновесных носителей, которая может во много раз превышать концентрацию равновесных неосновных носителей. Величина обратного тока определяется концентрацией неосновных носителей у р-п перехода. Повышенная концентрация неосновных носителей приведет к увеличению обратного тока и снижению обратного сопротивления.

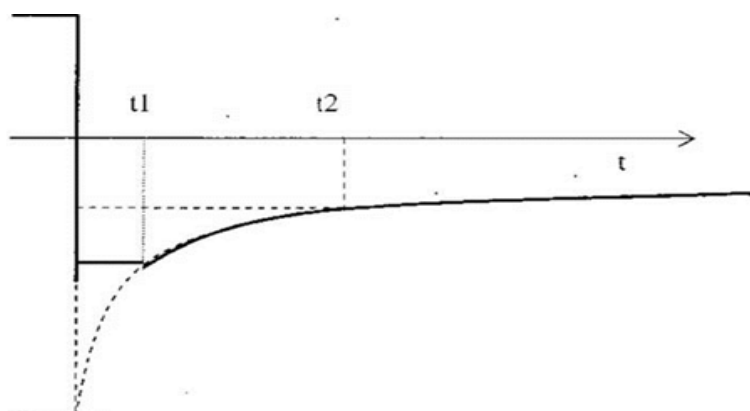
При работе диодов в импульсных схемах при крутых фронтах импульсов прямого тока и обратного напряжения падение напряжения на диоде и обратный ток через него устанавливаются с некоторой задержкой. При этом в первый момент после подачи прямого тока прямое

сопротивление диода повышено, а в первый момент после подачи обратного

Напряжения обратно сопротивление понижено. Для учета этих особенностей поведения диодов в импульсных схемах вводятся следующие два параметра.

1. Импульсное сопротивление (прямое)-отношение максимального всплеска прямого напряжения на диоде к вызвавшему его импульсу тока.

2. Время восстановления (обратного сопротивления) - отрезок времени от момента смены направления тока через диод с прямого на обратное до момента, когда обратный ток уменьшится до заданного отсчетного уровня. Временная диаграмма выброса обратного тока диода при переключении диода из открытого состояния в запертое представлена на рисунке.



Наряду с диодами накопления широкое применение в импульсной техники находят диоды, свободные от этого эффекта, называемые «диоды Шоттки». В этих диодах используется эффект выпрямления на контакте металл - полупроводник.

Варикапы. Изменение емкости в зависимости от напряжения может быть использовано, например, для электронной перестройки резонансных систем. Такие диоды называют обычно варикапами. Варикап - это полупроводниковый диод, в котором используется зависимость емкости от величины обратного напряжения и который предназначен для применения в качестве элемента с электрически управляемой емкостью. Они должны иметь максимально возможный диапазон изменения емкости (диапазон перекрытия) и высокую добротность. Для получения высокой добротности необходимо иметь минимальные значения токов утечки перехода и последовательного сопротивления. Варикапы применяют, как правило, при обратных напряжениях, когда емкость р-п перехода шунтируется лишь незначительной проводимостью утечки. Электрические параметры варикапов:

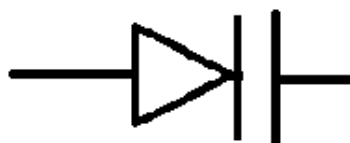
1. Номинальная емкость, определяется при относительно небольшом обратном напряжении (4 в).

2. Коэффициент перекрытия - отношение максимальной емкости к минимальной емкости.

3. Добротность варикапа, равна отношению реактивного емкостного сопротивления к эквивалентному последовательному сопротивлению потерь,

4. Температурный коэффициент емкости. При увеличении обратного напряжения уменьшается.

Эффект изменения емкости с напряжением используется для генерирования гармоник.

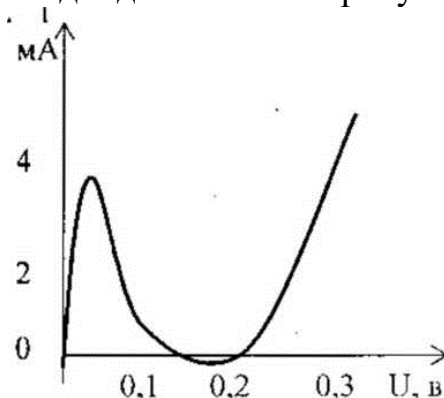


Условное обозначение:

Туннельные диоды. Первый туннельный диод был получен случайно, при исследовании очень узких сплавных переходов, изготовленных на сильнолегированном электронном германии. Этот тип диода при подаче на него отрицательного смещения не обнаруживает Характеристики запираения. Туннельный диод представляет собой прибор, работающий при очень малых значениях напряжения источников питания. Малая потребляемая мощность делает его очень перспективным для применения в схемах счетной техники. В туннельном приборе заряд переносятся не основными носителями, как это имело место во всех остальных. В основе работы диода лежит туннельный эффект, то есть, электрон, обладающий энергией, меньшей, чем высота потенциального барьера, может все же проникнуть сквозь этот барьер, электрон как бы пользуется своеобразным туннелем, чтобы проникнуть сквозь барьер, не поднимаясь над его уровнем.

Наметилось две основных области применения туннельных диодов: схемы высокоскоростного переключения, схемы усиления и генерирования колебаний на СВЧ.

Общий вид прямой ветви вольтамперной характеристики германиевого туннельного диода показан на рисунке.



К числу недостатков туннельного диода следует отнести относительно высокий коэффициент шумов и то, что туннельный диод является двухполусником, что в определенной степени связывает конструктора, так как ряд схем, легко осуществляемых с помощью трехполусников, не может быть воспроизведен с помощью двухполусника.

Параметры туннельного диода:

1. Значение тока и напряжения в максимуме.
2. Значение тока и напряжения в минимуме
3. Наклон падающего участка вольтамперной характеристики.

В отличие от всех остальных полупроводниковых диодов для изготовления туннельных диодов используют полупроводниковый материал с очень большой концентрацией примесей. Туннельные диоды изготавливаются из германия (малошумящие диоды СВЧ) или арсенида галлия (импульсные диоды).



Условное обозначение:

Обращенные диоды. По мере исследования туннельных диодов было замечено одно любопытное явление. Если подобрать концентрации примесей таким образом, чтобы границы зон не перекрывались, а совпадали при отсутствии внешнего смещения на переходе, то такой диод при положительных смещениях будет иметь обычную диодную характеристику, вид которой будет определяться только инжекцией (прямая ветвь). Туннельный эффект при положительных смещениях будет отсутствовать. В то же время, при отрицательных смещениях вид характеристики будет определяться туннельным эффектом. При ничтожных обратных напряжениях обратные токи оказываются большими. По сравнению со всеми остальными типами диодов с р-п переходами такой диод будет давать выпрямленный ток обратного направления. Эти диоды дают повышенные значения коэффициента преобразования частоты. Общий вид вольтамперной характеристики такого диода, названного в силу своих свойств обращенным, представлен на рисунке.



Обращенные диоды, в силу своих свойств, способны работать на очень малых сигналах. Из-за относительно большой концентрации примесей в прилегающих к электронно-дырочному переходу областях обращенные диоды оказываются мало чувствительны к воздействиям проникающей радиации.



Условное обозначение:

Надежность диодов. Надежность полупроводниковых диодов обычно значительно выше надежности других элементов радиоэлектронной аппаратуры. Однако в связи с усложнением схем требуется дальнейшее повышение надежности полупроводниковых диодов.

Количественно надежность связана с числом отказов, т.е. с числом нарушений работоспособности приборов в течение определенного промежутка времени. По характеру изменения параметров отказы полупроводниковых диодов, как и других приборов, могут быть двух видов:

1. Катастрофические, или внезапные, возникающие в результате скачкообразного изменения одного или нескольких параметров прибора.
2. Условные, или постепенные, возникающие в результате плавного изменения основных параметров прибора. Условность отказа определяется выбором критериев годности.

Катастрофические отказы могут быть обусловлены недостатками конструкции или технологии, а также неправильной эксплуатацией диодов. Так, например, даже очень кратковременные импульсы токов и напряжений, превышающие допустимые значения, могут привести к необратимому пробое р-пперехода диода в связи с тем, что пробой часто происходит по неоднородностям в р-ппереходе. К неправильной эксплуатации полупроводниковых диодов следует отнести размещение их вблизи нагреваемых элементов схемы, что способствует перегреву диода, а также крепление диода способом, ухудшающим условия теплообмена с окружающей средой. При изменении поверхностных состояний могут существенно изменяться обратные токи и пробивные напряжения диодов. Для стабилизации поверхностных состояний кристалл полупроводника помещают внутрь герметичного корпуса.

Одним из основных факторов, определяющих нестабильность поверхности полупроводника является влага. Какими бы тщательными не были герметизация прибора и предварительный отжиг деталей, все же некоторое количество влаги попадает в прибор и влияет на стабильность его характеристик. Для поглощения остаточной влаги в корпус прибора часто помещают влагопоглощающее вещество - сорбент.

Полупроводниковый диод

Оборудование: МНП -1; источник питания 9 В(0.5 А); диод типа Д310; диод типа Д220; Стабилитрон типа КС133; переменный резистор сопротивлением 4,7 кОм; резистор сопротивлением 200 Ом; миллиамперметр с пределом измерения 50 мА; вольтметр с пределом измерения 10 В; соединительные провода.

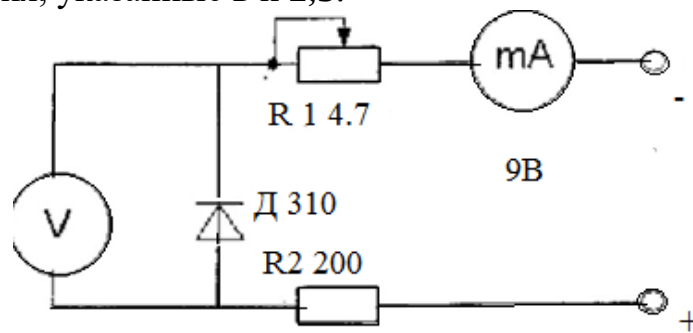
Задание 1. Построить прямые ветви вольт-амперных характеристик (ВАХ) германиевого и кремниевых диодов.

Ход работы: 1. Собрать схему, показанную на рисунке 1, а.

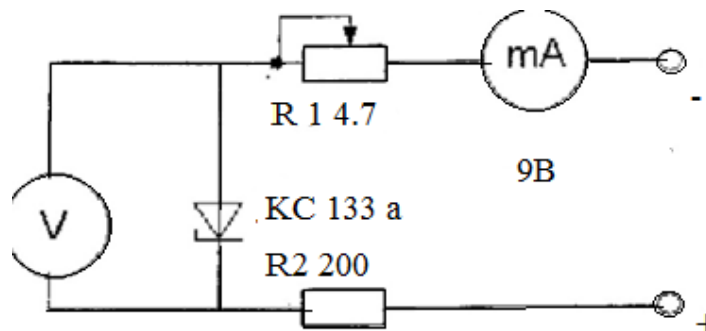
2. Установив ползунок реостата R1 в положение, соответствующее его максимальному сопротивлению, подать напряжение питания на схему.

3. Изменяя сопротивление реостата R1, задавать ток через диод VD1 в последовательности 0,н,2н,3н,...,15н (н=2мА) фиксируя каждый раз показания вольтметра PV.

4. Установить на место диода VD1 кремниевый диод (типа Д220) и повторить действия, указанные в п 2,3.



а)



б)

Рис. 1. Снятие Вольт-Амперных характеристик диода (а) и стабилитрона (б).

5 На основании полученных данных построить в лабораторном журнале прямые ветви вольт – амперных характеристик германиевого и кремниевых диодов.

Задание 2. Построить вольт-амперную характеристику стабилитрона.

Ход работы:

1. Собрать схему, показанную на рисунке 1.б.
2. Установив ползунок реостата R1 в положение, соответствующее его максимальному сопротивлению, подать напряжение питания на схему,
3. Изменяя сопротивление реостата R1, задавать ток через стабилитрон VD1 в последовательности 0, n, 2n, 3n....15n (n=2мА), фиксируя каждый раз показание вольтметра PV;
4. Отключить напряжение питания схемы и изменить полярность подключения источника питания на противоположную.
5. На основании полученных данных построить в лабораторном журнале вольт-амперную характеристику стабилитрона.

Номера измерений	Измерения						Вычисления		
	UB	U.B	U.B	I.A	I.A	I.A	R.Ом	R.Ом	R.Ом
1									
2									
3									
...									

Лабораторная работа № 8

Снятие характеристик и определение параметров биполярных транзисторов

Цель работы. Снятие входных и выходных характеристик транзисторов по результатам измерений напряжений и токов электродов; определение параметров транзистора по характеристикам; получение характеристик на экране осциллографа; изучение измерителя параметров транзисторов и работа с ним.

Общие сведения

Устройство транзистора. Биполярный транзистор является полупроводниковым прибором с двумя р-п переходами, в котором ток обусловлен движением неосновных носителей заряда. Действие биполярного транзистора связано с движением носителей заряда обоих знаков - электронов и дырок.

Биполярный транзистор содержит три области полупроводника с чередующимися типами проводимости *p-n* (рис. 1, а) или *p-n-p* (рис. 1.б). Средняя область называется базой, крайние – эмиттером и коллектором.

На границе эмиттер -база образуется p - n переход, называемый *эмиттерным*, на границе база - коллектор p - n переход, называемый *коллекторным*.

Режимы работы и включение. К переходам транзисторов подводят напряжения питания, которые могут быть приложены к переходам в прямом или обратном направлениях. В зависимости от их полярности различают режимы работы транзисторов. В активном режиме напряжение на эмиттерном переходе прямое, на коллекторном переходе-обратное. Режиму насыщения соответствуют прямые напряжения на обоих переходах, режим у отсечки-обратные. Инверсный режим характеризуется обратным напряжением на эмиттерном переходе и прямым напряжением на коллекторном. Полярности напряжений питания транзисторов типа n - p - n и p - n - p . находящиеся в одном и том же режиме, противоположны по знаку.

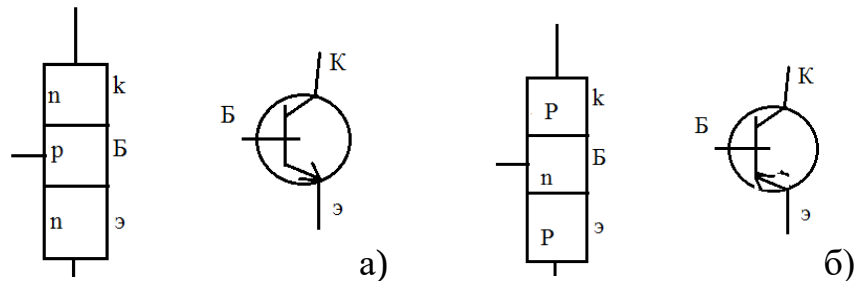


Рис. 1. Структура и условные обозначения биполярного транзистора: а-типа n - p - n : б- типа p - n - p .

Различают три основные схемы включения транзисторов: с общим эмиттером (рис. 2.а), с общей базой (рис. 2.б) и с общим коллектором (рис. 2 в)

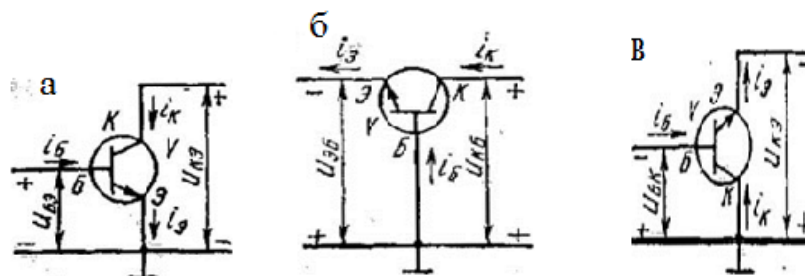


Рис. 2. Включение транзистора типа n - p - n по схемам: а-с общим эмиттером; б-с общей базой; в-с общим коллектором.

Принцип работы. Рассмотрим токи в транзисторе со сплавными переходами однородной базой (рис.3). Толщина базы w меньше диффузионной длины L неосновных носителей заряда в ней. Концентрации основных носителей заряда в эмиттере и коллекторе

примерно одинаковы и значительно выше концентрации основных носителей заряда в базе. Удельные сопротивления эмиттера и коллектора низкие, удельное сопротивление базы - высокое. К эмиттерному переходу приложено прямое напряжение смещения $U_{эб}$ равное долям вольт, к коллекторному - обратное напряжение $U_{кб}$, равное единицам вольт.

Полный ток эмиттера $i_э$ является суммой электронной составляющей эмиттерного тока $i_{эп}$ обусловленной потоком электронов из эмиттера в базу, и дырочной составляющей $i_{эр}$, вызванной движением дырок из базы в эмиттер: $i_э = i_{эп} + i_{эр}$. Составляющая тока $i_{эп}$ гораздо больше составляющей $i_{эр}$ так как концентрации основных носителей заряда в области эмиттера и базы значительно отличаются друг от друга.

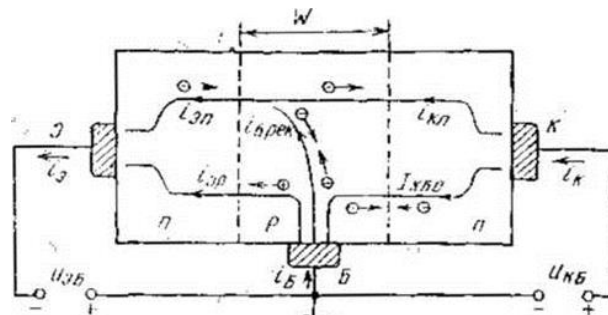


Рис.3 Направления токов транзистора *n-p-n*, работающего в активном режиме.

Отношение электронной составляющей тока эмиттера $i_{эп}$ к общему току эмиттера $i_э$ называется коэффициентом инжекции γ ; $\gamma = \frac{i_{эп}}{i_э}$.

Эта величина характеризует эффективность эмиттера. Для современных транзисторов коэффициент γ близок к единице ($\gamma \approx 0.98 - 0.99$). Инжектированные в область базы электроны являются неосновными и неравновесными носителями заряда. Небольшая часть их рекомбинирует в области базы с основными носителями заряда - дырками и образует в цепи базы рекомбинационный ток $i_{б,рек}$. Этот ток не участвует в создании тока коллектора. Влияние рекомбинации носителей заряда на ток коллектора характеризуется коэффициентом переноса носителей в базе δ , который определяется по формуле

$$\delta = \frac{i_{кп}}{i_{эп}}$$

Величина δ тем ближе к единице, чем меньше толщина базы и концентрация в ней дырок по сравнению с концентрацией электронов в эмиттере. Основная часть электронов диффундирует в область базы. Так как толщина базы w не превосходит десятков микрометров $w = 1 - 25 \text{ мкм}$, что гораздо меньше диффузионной длины L_n электронов, основная их часть достигает коллекторного перехода и под действием электрического поля в этом переходе проникает в область коллектора. В

цепи коллектора появляется ток i_{kn} . Этот ток является управляемым, его величина зависит от электронной составляющей тока эмиттера $i_{эп}$.

Дырочная составляющая тока эмиттера $i_{эп}$ замыкается через цепь базы и эмиттера и подобно току рекомбинации не оказывает влияния на ток коллектора.

В цепи коллектора также имеется обычный обратный ток коллекторного перехода $i_{кбо}$, обусловленный тепловой генерацией электронно-дырочных пар вблизи перехода. При комнатных температурах $i_{кбо} \ll i_{kn}$ поэтому ток $i_{кбо}$ существенного влияния на работу транзистора не оказывает. Увеличение тока $i_{кбо}$ и связанное с ним ухудшение усилительных свойств транзистора наблюдаются лишь при повышении температуры.

Соотношение между управляемыми током коллектора i_{kn} и током эмиттера $i_э$ характеризуется статическим (интегральным) коэффициентом передачи α_u тока эмиттера:

$$\alpha_u = \frac{i_{kn}}{i_э} = \frac{i_k}{i_э} - \frac{i_{кбо}}{i_э} = \frac{i_{kn}}{i_{эп}} * \frac{i_э}{i_{эп}} = \delta \gamma$$

Для оценки соотношений между токами транзистора наряду с коэффициентом α_u часто используется статический (интегральный)

коэффициент передачи β и тока базы: $\beta = \frac{i_{kn}}{i_{эп} + i_{б,рек}} = \frac{i_k - i_{кбо}}{i_б - i_{кбо}}$

Характеристики транзистора. В транзисторе взаимосвязанными являются четыре величины — входной ток i_1 входное напряжение u_1 выходной ток i_2 выходное напряжение u_2 . Эти токи и напряжения относятся к определенным электродам в соответствии со схемой включения транзистора. Взаимосвязь токов и напряжений электродов обычно выражается семействами входных и выходных характеристик.

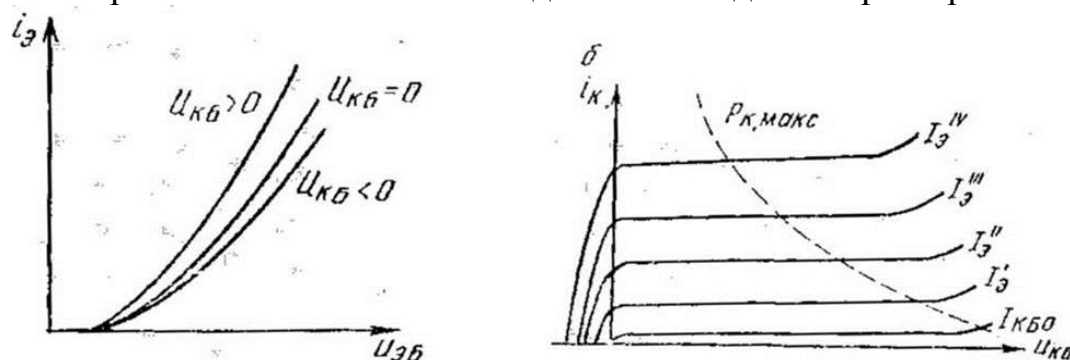


Рис.4. Характеристики транзистора, включенного по схеме с общей базой: а- входное: б- выходное

Входные характеристики транзистора, включенного по схеме с общей базой (рис.4,а), выражают зависимость тока эмиттера $i_э$ от напряжения эмиттер-база $u_{эб}$ при неизменном напряжении коллектор — база $u_{кб}$. т. е. $i_э = f(u_{эб})$ при $u_{кб} = \text{const}$. При $u_{кб} = 0$ входная характеристика близка к вольт-амперной характеристике диода. В

активном режиме ($u_{кб} > 0$) характеристика смещается в сторону больших токов эмиттера вследствие модуляции ширины базы и изменения градиента концентрации неосновных носителей заряда в базе. Однако влияние напряжения $u_{кб}$ на ток эмиттера проявляется слабо, так как электрическое поле, вызванное напряжением $u_{кб}$ почти полностью сосредоточено в коллекторном переходе. В режиме насыщения ($u_{кб} < 0$) характеристика смещается в сторону меньших токов $i_э$.

Выходные характеристики транзистора в схеме с общей базой (рис. 4, б) выражают зависимость тока коллектора $i_к$ от напряжения коллектор — база $u_{кб}$ при заданном значении тока эмиттера $i_э$; $i_к = f(u_{кб})$ при $i_э = \text{const}$.

При $i_э = 0$ выходная характеристика выражает зависимость обратного тока коллекторного перехода от обратного напряжения, приложенного к нему.

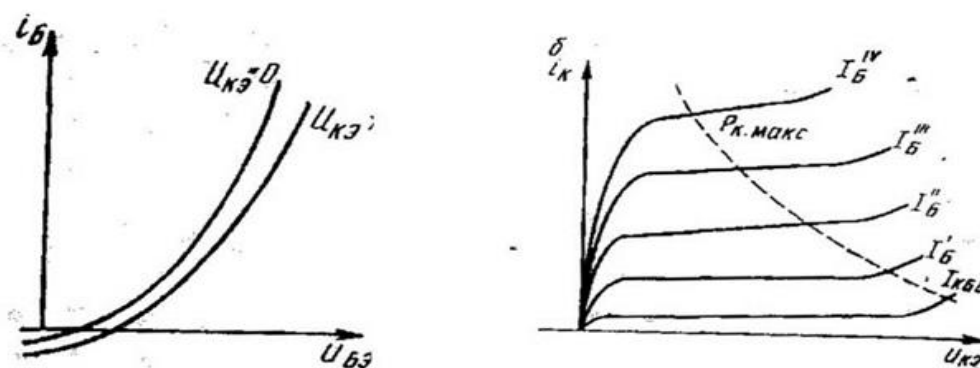


Рис.5. Характеристики транзистора, включенного по схеме с общей базой: а- входное; б- выходное.

При появлении тока эмиттера ($i_э > 0$) в цепи коллектора проходит ток $i_к$. В активном режиме выходные характеристики представляют собой почти прямые линии, имеющие небольшой наклон к оси абсцисс. Небольшое увеличение тока $i_к < 0$ при возрастании напряжения $u_{кб}$ объясняется модуляцией ширины базы и некоторым увеличением в связи с этим градиента концентрации электронов в базе. При больших напряжениях $u_{кб}$ наблюдается увеличение коллекторного тока, обусловленного лавинным размножением электронов. В случае отрицательного напряжения коллектора ($u_{кб} < 0$) транзистор находится в режиме насыщения. Коллекторный переход открывается, возникает встречный поток электронов из коллектора в базу, ток коллектора $i_к$ резко уменьшается. Для схемы с общим эмиттером входная характеристика транзистора (рис.5,а) представляет собой зависимость тока базы $i_б$ от напряжения база — эмиттер при определенном значении напряжения коллектор — эмиттер $U_{кэ}$. При $i_б = f(u_{бэ})$ при $U_{кэ} = \text{const}$.

Вид этой характеристики такой же, как и входной характеристики для схемы с общей базой. Однако $i_b < i_z$ и изменение тока базы, приходящееся на единицу напряжения $U_{кэ}$ значительно меньше, чем такое изменение тока эмиттера. Увеличение напряжения $U_{кэ}$ вызывает уменьшение тока i_b так как происходит уменьшение ширины базы и снижается вероятность рекомбинации в базе неосновных носителей заряда. Выходные характеристики транзистора для схемы с общим эмиттером (рис. 5, б) представляют собой зависимость тока коллектора i_k от напряжения коллектор—эмиттер $U_{кэ}$ при постоянном токе базы $i_b i_k = f(U_{кэ})$ при $i_b = \text{const}$. Участки характеристик, соответствующие малым значениям напряжения $U_{кэ}$ являются крутыми. Объясняется это тем, что напряжение, приложенное к коллекторному переходу, равно разности напряжений $U_{кэ} - U_{бэ}$. Пока $U_{кэ} < U_{бэ}$ к коллекторному переходу приложено прямое напряжение, транзистор работает в режиме насыщения и ток коллектора сильно зависит от напряжения на коллекторном переходе. После перехода транзистора в активный режим $U_{кэ} > U_{бэ}$ выходные характеристики транзистора имеют пологий вид. Однако зависимость тока i_k от напряжения проявляется в большей степени, чем для транзистора, включенного по схеме с общей базой. Увеличение напряжения $U_{кэ}$ вызывает расширение коллекторного перехода и сужение области базы. Вероятность рекомбинации электронов в базе и ток базы уменьшаются. Чтобы поддерживать ток базы i_b неизменным, необходимо увеличивать напряжение $U_{бэ}$. А это приводит к увеличению инжекции электронов в базу и возрастанию коллекторного тока.

Параметры транзистора. Из четырех взаимосвязанных величин напряжений и токов U_1, i_1, U_2, i_2 электродов транзистора две можно считать независимыми переменными, две зависимыми переменными. Возможны шесть вариантов функциональных зависимостей и шесть вариантов параметров транзистора.

Наибольшее распространение получила система h-параметров, называемая *гибридной*. В этой системе зависимости между токами и напряжениями представляются в виде:

$$u_1 = f_1(i_1, u_2); \quad i_2 = U f_1(i_1, u_2);$$

Для этих функций полные дифференциалы напряжения du_1 и тока di_2 имеют вид

$$du_1 = \frac{\partial u_1}{\partial i_1} di_1 + \frac{\partial u_1}{\partial u_2} du_2; \quad di_2 = \frac{\partial i_2}{\partial i_1} di_1 + \frac{\partial i_2}{\partial u_2} du_2$$

Введем обозначения:

$$\frac{\partial u_1}{\partial i_1} = h_{11}; \quad \frac{\partial u_1}{\partial u_2} = h_{12}; \quad \frac{\partial i_2}{\partial i_1} = h_{21}; \quad \frac{\partial i_2}{\partial u_2} = h_{22}$$

Дифференциалы напряжений и токов можно принять равными мгновенным значениям переменных составляющих напряжений и токов транзистора, если их амплитуды невелики:

$$du_1 = u_{1\sim}; \quad di_1 = i_{1\sim}; \quad du_2 = u_{2\sim}; \quad di_2 = i_{2\sim}$$

Тогда связь между мгновенными значениями переменных составляющих напряжений и токов транзистора имеет вид: $u_{1\sim} = h_{11}i_{1\sim} + h_{12}u_{2\sim}; i_{1\sim} = h_{21}i_{1\sim} + h_{22}u_{2\sim}$

Для действующих напряжений и токов эта связь определяется уравнениями:

$$U_1 = h_{11}I_1 + h_{12}U_{21}; \quad I_2 = h_{21}I_1 + h_{22}U_2$$

Коэффициенты h называемые h - параметрами транзистора, имеют определенный физический смысл:

$h_{11} = \frac{U_1}{I_1}$ при $U_2 = 0$ входное сопротивление транзистора при коротком по переменному току замыкании его выхода;

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

$h_{21} = \frac{I_2}{I_1}$ при $U_2 = 0$ коэффициент передачи тока при коротком замыкании по переменному напряжению его выхода;

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

На низких частотах h - параметры транзистора представляют собой действительные числа, на высоких частотах — комплексные, так как между токами и напряжениями электродов транзистора имеются фазовые сдвиги, обусловленные наличием емкостей переходов, внутренней обратной связью конечным временем перемещения носителей заряда в базе и другими причинами.

Снятие характеристик транзисторов. Один из вариантов цепей, предназначенных для снятия характеристик транзисторов по значениям напряжений и токов электродов, показан на рис. 6а, 6б. Потенциометры $R1, R2, R3, R4$ предназначены для плавной регулировки напряжений электродов, измерительные приборы — для измерения напряжений и токов. В цепи коллектора устанавливаются обычно два вольтметра. Вольтметром $PV2$ со шкалой измерений до 3 В измеряют напряжение коллектора, пока транзистор находится в режиме насыщения. При переходе к более высоким напряжениям вольтметр $PV2$ отключают и продолжают измерение вольтметром $PV3$ с пределом измерений до 15-30 В.

При включении транзисторов по схеме с общим эмиттером питание цепи коллектора и цепи базы можно осуществлять от одного источника (рис. 6, в). Резистором $R1$ регулируют ток в цепи базы, резистором $R2$ ограничивают величину этого тока.

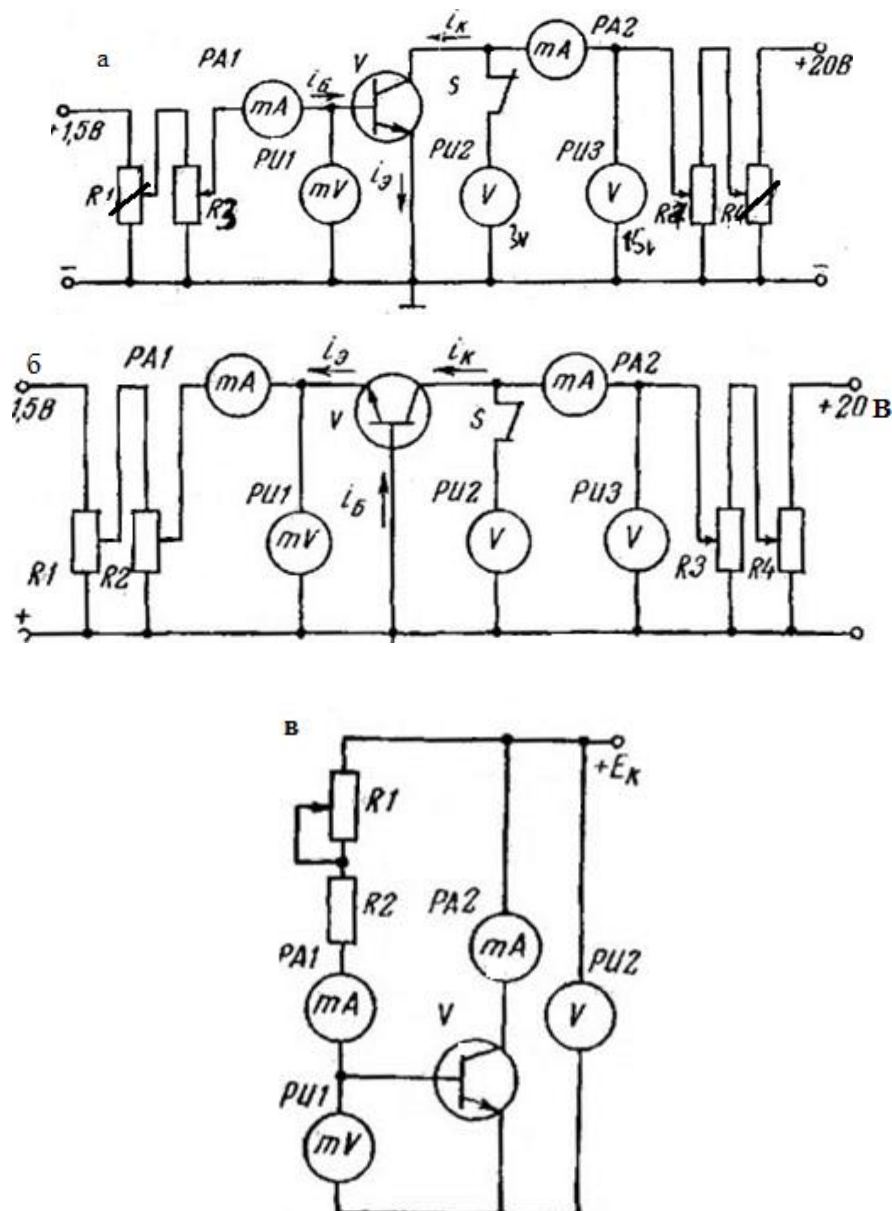


Рис 6.Схемы цепей для снятия характеристик транзисторов при включении их по схемам: а- с общим эмиттером; б- с общей базой; в-с общим эмиттером и питанием от одного источника.

Определение параметров транзисторов по их характеристикам.

По семействам входных (рис.7,а) и выходных (рис. 7, б) характеристик могут быть определены изменения токов электродов транзистора под влиянием напряжений электродов и по величинам этих изменений рассчитаны параметры транзисторов. Изменения напряжений и

токов должны быть небольшими, чтобы в их пределах характеристики транзистора представлялись отрезками прямых.

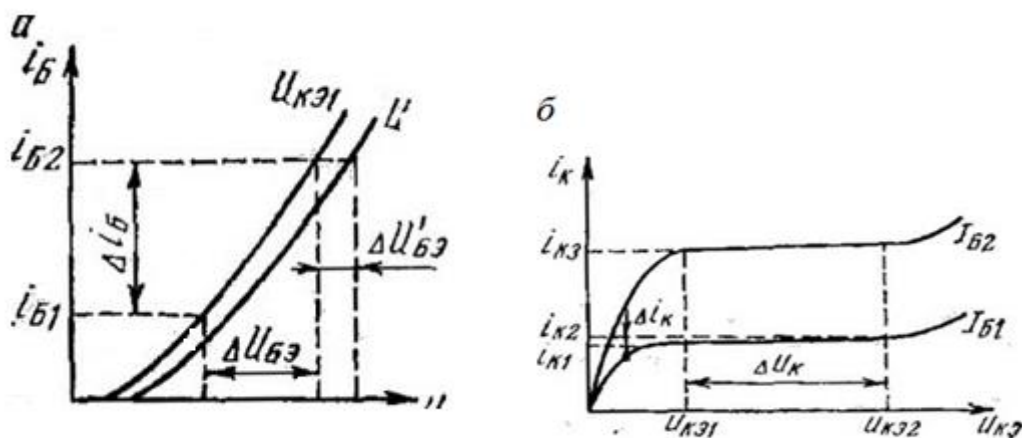


Рис. 7. Определение статических параметров транзистора по характеристикам:

a — входной; *б* — выходной

Зная значения напряжений и токов, можно вычислить параметры транзистора:

$$h_{11\varepsilon} = \frac{\Delta u_{БЭ}}{\Delta i_{Б}} = \frac{u_{БЭ2} - u_{БЭ1}}{i_{Б2} - i_{Б1}} \text{ при } U_K = \text{const}$$

$$h_{12\varepsilon} = \frac{\Delta u_{БЭ}}{\Delta u_{КЭ}} = \frac{u_{БЭ3} - u_{БЭ2}}{u_{КЭ2} - u_{КЭ1}} \text{ при } I_{Б} = \text{const}$$

$$h_{22\varepsilon} = \frac{\Delta i_{К}}{\Delta u_{КЭ}} = \frac{i_{К2} - i_{К1}}{\Delta u_{КЭ2} - \Delta u_{КЭ1}} \text{ при } I_{Б} = \text{const}$$

$$h_{21\varepsilon} = \frac{\Delta i_{К}}{\Delta i_{Б}} = \frac{i_{К3} - i_{К1}}{i_{Б2} - i_{Б1}} \text{ при } U_K = \text{const}$$

Приборы и принадлежности

1. Транзисторы для исследований.
2. Стенд для снятия характеристик транзисторов по показаниям приборов.

На стенде установлены штырьки для подключения транзистора, измерительные приборы и потенциометры для регулировки напряжений. Соединение элементов стенда выполнено, как показано на рис. 6, *a*.

3. Источник постоянного напряжения для питания цепей коллектора на 30 В.

4. Источник постоянного напряжения для питания цепей базы на 3 В.

5. Генератор низкой частоты.

6. Осциллограф.

Выполнение работы

1. Определите по справочнику цоколевки, характеристики и параметры транзисторов, предназначенных для исследований. Установите предельные напряжения и токи электродов. Сделайте записи.

2. В соответствии с заданием нарисуйте схему цепи с общим эмиттером или с общей базой для снятия входных и выходных характеристик заданного транзистора. Укажите на схеме полярности и предельные значения напряжений и токов электродов.

3. Соберите цепь и снимите характеристики транзистора. Полученные данные запишите в таблицы 1 и 2. Постройте графики. Для указанных в задании точек характеристик (даны напряжения и токи электродов) определите h -параметры транзистора.

Таблица 1

U_B										
I_B										

Таблица 2.

$U_{кэ}$										
i_k										

Контрольные вопросы и задания.

1. Поясните устройство и принцип работы транзистора.
2. Нарисуйте входные и выходные характеристики транзистора для схем с общим эмиттером и общей базой, поясните их ход.
3. Дайте определения h -параметров транзистора и поясните их физический смысл.
4. Поясните, как по характеристикам транзисторов можно определить их параметры.
5. Почему параметры транзисторов, определяемые по статическим характеристикам, можно использовать лишь в случае работы транзисторов на низких частотах?

Заключение

При пользовании настоящим пособием нужно учитывать, что теоретические сведения изложены в нем очень сжато. Поэтому большое значение здесь имеют таблицы и рисунки, схемы, дополняющие текстовый материал. В таблицах даны технические характеристики электротехнических материалов. Чтобы успешно выполнить практическую работу, необходимо прежде изучить соответствующий теоретический материал и относящиеся к нему таблицы, рисунки, схемы. Во избежание опасности поражения электрическим током собирать электрические цепи, делать опыты следует в точном соответствии с указаниями по порядку выполнения лабораторной работы. В некоторых лабораторных работах включены контрольные вопросы чтобы студенты могли проявить самостоятельность и сообразительность в подборе недостающих данных. Поэтому отвечая на вопросы и выполняя задание следует кроме основного текста использовать имеющиеся в таблицах справочные сведения.

Используемая литература

1. Бессарабов Б.Ф., Федюк В.Д., Диоды, тиристоры, транзисторы и микросхемы широкого применения. Справочник. -Воронеж. ИПФ «Воронеж» 1994 г.
2. Степаненко И.П. Основы теории транзисторов и транзисторных схем. Москва, Энергия, 1973.
3. Шалимова К. В. « Физика полупроводников» Изд. «Энергия» 1976.
4. Муравский Б.С. Черный В.Н. Яманов И. Л. Потапов А. Н. Жужжа М. А. Неравновесные электронные процессы в транзисторных структурах с туннельно - прозрачным окислом //Микроэлектроника. 1989. т. 18 N4. с.304-309.
5. Муравский Б.С. Кузнецов В.И. Фризен Г.И. Черный В.Н. Исследование кинетикиповерхностно-барьерной неустойчивости тока. Физика и техника полупроводников. 1972. т.6. N11. с.2114-2122. .
6. Стриха В.И. Теоретические основы контакта металл-полупроводник. -Киев. «Наукова думка», 1974г.
7. TR-4802. Характериограф для испытания полупроводников. Техническое описание и инструкция по эксплуатации.
8. Данилов И.А. Иванов П.М. Общая электротехника с основами электроники.
9. Поляков В.А. Практикум по электротехнике. –Москва: Просвещение, 1977.
- 10.www.Locman.com.ru
- 11.www.thyristor.ru

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	3
Правила техники безопасности.....	4
Лабораторная работа №1 «Измерительная цепь вольтметра переменного тока».....	5
Лабораторная работа №2. «Измерительная цепь вольтметра постоянного тока».....	6
Лабораторная работа №3.«Измерительная цепь миллиамперметра переменного тока».....	9
Лабораторная работа №4.«Измерительная цепь миллиамперметра постоянного тока».....	11
Лабораторная работа №5. «Измерительная цепь омметра».....	13
Лабораторная работа №6.«Снятие характеристик и определение параметров полевых транзисторов».....	15
Лабораторная работа №7.«Исследование характеристик полупроводниковых приборов».....	26
Лабораторная работа №8.«Снятие характеристик и определение параметров биполярных транзисторов».....	36
Заключение.....	46
Используемая литература.....	47

Составители: Турукбаева А., Торубаева У.С.

**МЕТОДИЧЕСКОЕ РУКОВОДСТВО
К ЛАБОРАТОРНЫМ РАБОТАМ
ПО ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКЕ**

Тех.редактор: Жакыпова Ч.А.
Компьютерная верстка Жумашева Ж.Ж.

Отпечатано в полиграфическом комплексе
ИГУ им. К.Тыныстановы
Заказ 486. Тираж 40
Тел. 52696

