

ЛЕНИНГРАДСКИЙ ОРДЕНА ЛЕНИНА КОРАБЛЕСТРОИТЕЛЬНЫЙ ИНСТИТУТ

Кафедра электротехники и электрооборудования судов

ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПЕРИБОРОВ

Методические указания
к лабораторной работе

Ленинград
1966

В издании содержатся методические указания по определению вольт-амперных характеристик полупроводниковых приборов, описание лабораторной установки и контрольные задачи для подготовки к лабораторной работе. В лабораторной работе исследуются наиболее распространенные элементы электроники: полупроводниковый диод, стабилизатор, транзистор и тиристор.

Методические указания предназначены для студентов II и III курсов факультетов: кораблестроительного, корабельной энергетики, экономического - и для студентов вечернего отделения Ленинградского кораблестроительного института.

СЕНЬКОВ
Алексей Петрович
АРХАНГЕЛЬСКИЙ
Евгений Николаевич
ВОРШЕВСКИЙ
Александр Алексеевич

ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПРИБОРОВ

Методические указания
к лабораторной работе

Изд. ЛКИ
1966
©

Ответственный редактор д-р техн. наук, проф. Д. В. Вилесов
Литературный редактор И. А. Егизбаева

Заказ Р-22. Тир. 1000. Уч.-изд. л. 1.0. 13.03.1966. Бесплатно.
Тип. ЛКИ, Молчанская, 10.

**ПРАВИЛА ТЕХНИКИ БЕЗОПАСНОСТИ
ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ**

При работе в лаборатории кафедры электротехники и электрооборудования судов во избежание несчастных случаев и преждевременного выхода из строя приборов и электрооборудования студенты должны строго выполнять правила техники безопасности.

Прежде чем приступить к выполнению лабораторной работы, студент должен ознакомиться с правилами внутреннего распорядка и правилами техники безопасности.

Каждый студент обязан не только сам строго выполнять эти правила, но и требовать их неуклонного выполнения от своих товарищей.

После прохождения инструктажа по технике безопасности, ознакомления с правилами внутреннего распорядка и краткого опроса каждый студент должен расписаться в соответствующем журнале в подтверждение того, что он ознакомлен с правилами техники безопасности при работе в лаборатории электротехники и электрооборудования судов.

Работая в лаборатории, каждый студент должен выполнять следующие правила техники безопасности.

1. Категорически запрещается приносить с собой на рабочее места лишние вещи (портфели, пальто и другие предметы), так как они затрудняют выполнение лабораторных работ и тем самым способствуют созданию условий, могущих привести к нарушению правил техники безопасности.
2. Запрещается громко разговаривать, покидать без разрешения рабочее место и переходить без надобности от одного стенда к другому.
3. Следует помнить, что в ряде случаев внешний вид

(неаккуратно заправленная одежда, небрежная прическа и пр.)

создает дополнительные предпосылки, могущие привести к несчастным случаям.

4. Перед началом лабораторной работы преподаватель распределяет студентов по группам и закрепляет за ними лабораторные стенды.

5. Сборка рабочей электрической схемы должна производиться при отключенном питании в строгом соответствии со схемой, представленной в методических указаниях. При сборке схемы необходимо следить за тем, чтобы соединительные провода не натягивались, не перегибались и не скручивались.

6. Собранную схему нужно предъявлять для проверки ведущему занятию преподавателю или дежурному лаборанту.

7. Включение схемы под напряжение после проверки должно производиться с разрешения преподавателя или лаборанта и в его присутствии.

8. При обнаружении каких-либо неисправностей в схеме необходимо немедленно отключить ее от сети и доложить об этом преподавателю или лаборанту.

9. Производить различные переключения и исправления в схеме разрешается только при выключенном электропитании.

10. Запрещается производить какие бы то ни было переключения на соседних лабораторных стендах.

11. Запрещается прикасаться к оголенным токоведущим частям схемы, находящимся под напряжением.

12. При работе с вращающимися электрическими машинами необходимо обращать особое внимание на то, чтобы одежда плотно прилегала к телу, а волосы были убраны так, чтобы они не могли касаться электроэлементов и вращающихся частей стенов.

13. При работах на машинах запрещается стоять около соединительных муфт, а также прикасаться к вращающимся частям машины.

14. Работая с конденсаторами, необходимо помнить, что на зажимах конденсаторов, отключенных от сети, некоторое время сохраняется электрический заряд, могущий быть причиной поражения электрическим током. Во избежание этого после отключения конденсаторы должны быть разряжены путем замыкания их выводов изолированным проводником.

15. При обнаружении поврежденный электрического оборудо-

вания в схеме, а также при появлении дыма, специфического запаха или искрения необходимо немедленно выключить питание и поставить об этом в известность преподавателя или лаборанта.

16. После выполнения лабораторной работы следует выключить питание, разобрать схему и привести в порядок рабочее место. Электрооборудование при этом аккуратно расставляется, а соединительные провода укладываются в предназначенное для них место.

17. При попадании человека под напряжение необходимо немедленно отключить питание электроустановки, затем удалить пострадавшего от частей, находящихся под напряжением.

18. При потере сознания и отсутствии дыхания необходимо немедленно освободить пострадавшего от стесняющей его одежды и сделать искусственное дыхание до прибытия врача.

ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПРИБОРОВ

Полупроводниковыми диодами называются полупроводниковые приборы с двумя выводами, проводимость которых зависит от знака приложенного напряжения. В лабораторной работе определяются вольт-амперные характеристики двух видов диодов: выпрямительного диода и стабилизатора.

Выпрямительным диодом называется диод, имеющий в зоне рабочих токов и напряжений одностороннюю проводимость. Условное обозначение выпрямительного диода на принципиальных электрических схемах показано на рис. 1, а. Выводы диода называются анодом и катодом. На рис. 1, б приведена вольт-амперная характеристика выпрямительного диода. Часть вольт-амперной характеристики, построенная при прямом напряжении $U > 0$ (электрический потенциал анода выше потенциала катода), называется прямой ветвью. Часть вольт-амперной характеристики, построенная при обратном напряжении $U < 0$ (потенциал анода ниже потенциала катода), называется обратной ветвью. Область рабочих токов и напряжений диода ограничена максимально допустимым прямым током $I_{пр макс}$ и максимально допустимым обратным напряжением $U_{обр макс}$. В зоне рабочих токов выпрямительные диоды обладают практически односторонней проводимостью, поэтому вольт-амперную характеристику можно иде-

6
 ализовать (рис. 1, в), т.е. считать сопротивление диода при прямом напряжении равным нулю и при обратном напряжении бесконечно большим. Статическое сопротивление диода, соответствующее точке А вольт-амперной характеристики, $z = U_A / I_A$.

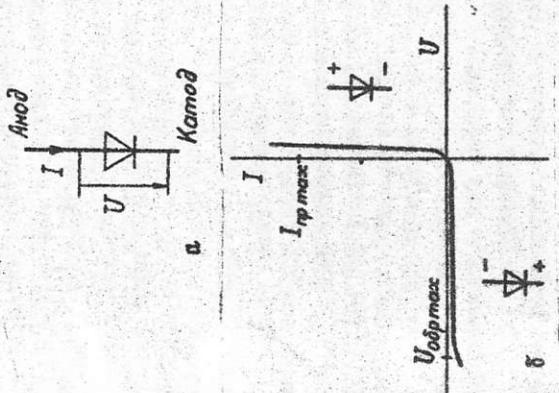


Рис. 1. Диод: а - условное обозначение; б - вольт-амперная характеристика диода; в - вольт-амперная характеристика идеализированного диода
 называется напряжением стабилизации $U_{ст}$. Стабильность напряжения характеризуется дифференциальным сопротивлением стабилизатора.

Трехный тиристор (рис. 3, а) имеет три вывода: анод, катод и управляющий электрод. В открытом

Стабилизатор - диод, имеющий в зоне рабочих токов и напряжений на обратной ветви вольт-амперной характеристики участок, называемый участком стабилизации, на котором при значительном изменении тока напряжение изменяется мало. Условное обозначение стабилизатора показано на рис. 2, а. Прямая ветвь вольт-амперной характеристики (рис. 2, б) стабилизатора такая же, как у выпрямительного диода. При обратном напряжении сила тока вне участка стабилизации близка к нулю. Участок стабилизации ограничен минимальным током стабилизации $I_{ст min}$ и максимальным током стабилизации $I_{ст max}$. Средняя величина напряжения на этом участке $U_{ст}$. Стабильность напряжения характеризуется дифференциальным сопротивлением стабилизатора.

состоянии тиристора электрическое сопротивление цепи анод-катод мало, в закрытом состоянии - велико. Состояние тиристора зависит от напряжения U между анодом и катодом и от управляющего напряжения $U_{уп}$ между управляющим электродом и катодом.

При отрицательном напряжении между анодом и катодом $U < 0$ тиристор закрыт независимо от $U_{уп}$, сопротивление цепи анод-катод большое и анодный ток I практически отсутствует.

При повышении напряжения U от 0 и $U_{уп} = 0$ тиристор будет закрыт до тех пор, пока U меньше напряжения включения тиристора $U_{вкл}$. При $U = U_{вкл}$ тиристор открывается и сопротивление между анодом и катодом резко уменьшается, а I возрастает.

Если при $U > 0$ на тиристор подается импульс $U_{уп}$ определенной амплитуды, тиристор открывается практически при любом положительном U .

Трехные тиристоры, как правило, используются при напряжениях меньших $U_{вкл}$ и открываются только при подаче $U_{уп}$, поэтому в дальнейшем будем считать, что для переключения триодного тиристора из закрытого состояния в открытое необходимы два условия:

- положительное напряжение между анодом и катодом тиристора $U > 0$,
- поступление на управляющий электрод импульса управляющего напряжения $U_{уп}$.

Незакрываемые тиристоры закрываются при $I < I_{чз}$. Значение удерживаемого тока $I_{чз}$ мало, поэтому при анализе

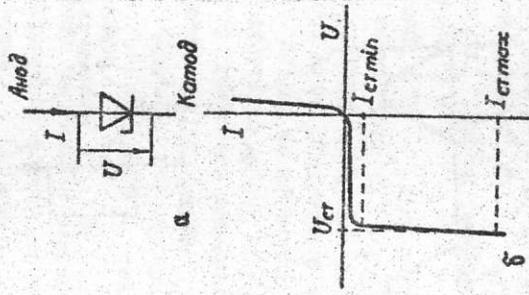


Рис. 2. Стабилизатор: а - условное обозначение; б - вольт-амперная характеристика

работы большинства схем можно считать, что незапираемые тиристоры закрываются при $I=0$ ($U=0$).

Основные параметры триодных тиристоров: максимальное допустимый средний ток в открытом состоянии, напряжение включения, максимально допустимое обратное напряжение, время включения и время выключения.

Триодные незапираемые тиристоры - наиболее распространенный вид тиристоров, обычно в специальной литературе именуют их называют кратко "тиристоры". Широко распространение триодные незапираемые тиристоры получили благодаря большому диапазону рабочих токов и напряжений. В СССР выпускаются триодные незапираемые тиристоры, рассчитанные на работу при токах свыше 1000 А и при напряжении в несколько тысяч вольт.

Работа триодного незапираемого тиристора поясняется с помощью схемы, изображенной на рис.3,б. На вход схемы поступает синусоидальное напряжение питания u_n (рис.3,в). В первый полупериод $0 < \omega t < \alpha$, $u_n > 0$ и к тиристорному аноду приложено положительное напряжение, но на интервале $0 < \omega t < \alpha$, тиристор закрыт, так как нет управляющего сигнала u_y . Спротивление цепи анод-катод закрытого тиристора велико, поэтому ток через тиристор и нагрузку R_n практически отсутствует $I=0$.

При поступлении на тиристор в момент $\omega t = \alpha$, управляющего импульса u_y определенной амплитуды и длительности тиристор открывается, сопротивление цепи анод-катод тиристора резко уменьшается и через тиристор и нагрузку R_n начинает протекать ток. Сопротивление цепи анод-катод открытого тиристора обычно намного меньше сопротивления R_n , поэтому после включения тиристора $I \approx u_n / R_n$. Время переключения тиристора из закрытого состояния в открытое здесь принято равным нулю, и вследствие этого ток I изменяется на рис.3,в скачком. После включения тиристор остается в открытом состоянии и при $u_y=0$ до тех пор, пока ток I через тиристор не уменьшится до нуля. Это происходит при $u_n=0$ в момент $\omega t = \pi$.

На интервале $\pi < \omega t < 2\pi$, $u_n < 0$ к тиристорному аноду приложено отрицательное напряжение и, независимо от u_y , тиристор закрыт, $I=0$.

Во втором и последующих периодах схема работает так же.

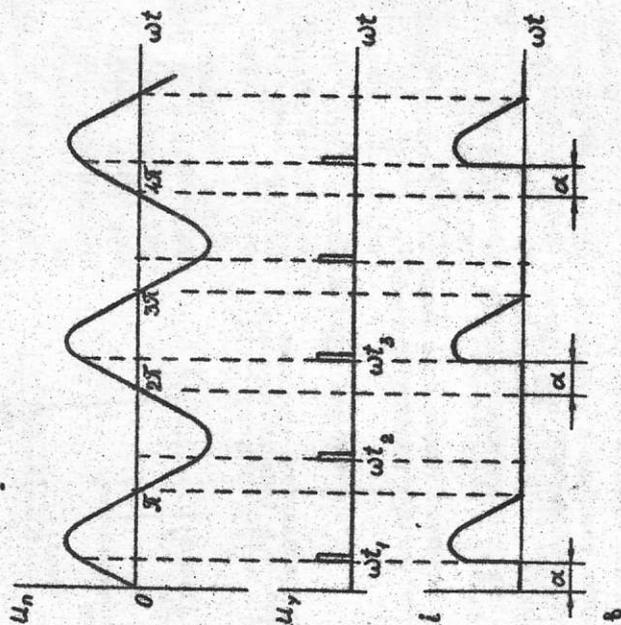
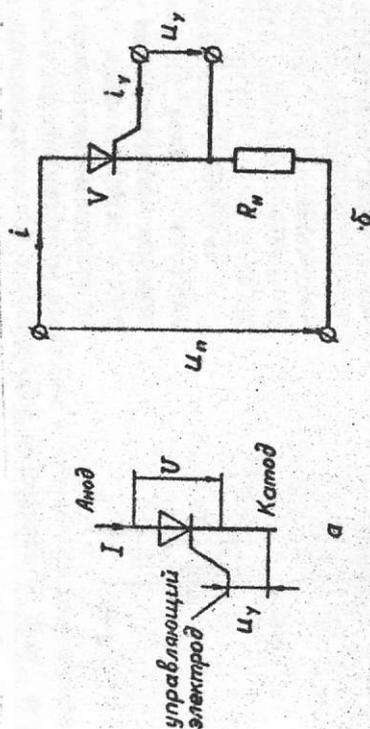


Рис.3. Триодный тиристор: а - условное обозначение; б - схема, поясняющая свойства тиристора; в - изменение токов и напряжений в схеме на рис.3,б

как и в первом.

Угол α , отсчитываемый от начала полупериода, в течение которого к тиристорному приложению положительно напряжение, до момента включения тиристора называется углом управления. Изменяя угол управления с помощью специальной схемы, можно изменить среднее значение тока в нагрузке R_n . Если нагрузка, например, является якорь электродвигателя постоянного тока, то, изменяя α , можно управлять скоростью вращения ротора двигателя.

Рассмотренный пример показывает, что триодный тиристор является быстродействующим управляемым ключевым элементом. Причем параметры управляющего состояния тиристора сигнала u_c и i_c во много раз меньше напряжения u_a и силы тока i_a выходной цепи, при которых тиристор способен работать, и, значит, тиристор позволяет маломощным электрическим сигналам управлять потоком электроэнергии во много раз большей мощности.

Недостатком триодных незапираемых тиристоров является невозможность переключения тиристора из открытого в закрытое состояние с помощью управляющего сигнала u_c . Вследствие этого в тех случаях, когда нужно обеспечить выключение тиристора при анодных токах, не равных нулю, приходится применять специальные дополнительные схемы, что приводит к усложнению электронных устройств.

Триодные тиристоры широко применяются в выпрямителях и инверторах. Во время работы на мощных тиристорах выделяется значительное количество тепла, и, чтобы не допустить перегрева полупроводникового материала выше допустимой температуры, мощные тиристоры устанавливаются на радиаторы с воздушным или водяным охлаждением.

Тиристор — полупроводниковый прибор, с помощью которого можно усиливать электрический сигнал по мощности, а также переключать электрические цепи.

Широкое распространение в настоящее время получили два подкласса тиристоров: биполярные и полевые, — отличающиеся друг от друга по внутренней структуре и характеристикам. В лабораторной работе исследуется биполярный тиристор, ток в котором создают два вида носителей электрического заряда: отрицательные электроны и положительные дырки, — эти и об-

II
условлено название транзисторов. Биполярные транзисторы состоят из трех слоев полупроводникового материала с разной проводимостью: либо электронной (N-типа), либо дырочной (P-типа). По чередованию слоев различают две разновидности биполярных транзисторов: PNP и NPN. К слоям полупроводника присоединены выводы транзистора, называемые эмиттером, базой и коллектором.

В электронных устройствах транзисторы применяются в качестве управляемых элементов. На вход транзистора подается управляющий электрический сигнал, от которого зависит сила тока и напряжение выходной цепи транзистора. У транзистора три электрода, и один из них должен быть общим для входной и выходной цепи. Возможны три схемы включения транзистора: с общим эмиттером, с общей базой и с общим коллектором. Схема с общим эмиттером позволяет получить наибольшее усиление сигнала по мощности, поэтому она применяется в большинстве случаев.

Электрические свойства транзисторов характеризуются входными и выходными характеристиками. На рис. 4, а, б, в по-

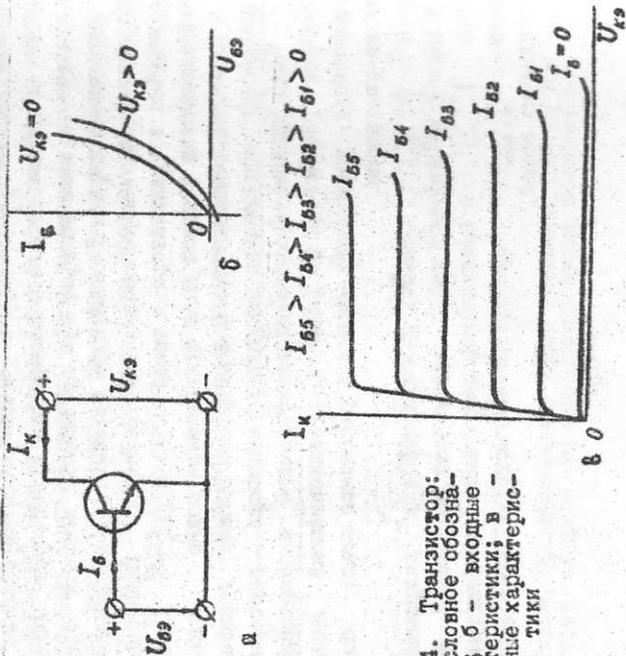


Рис. 4. Транзистор:
а — условные обозначения; б — входные характеристики; в — выходные характеристики

кваны положительное направления токов и напряжений, входные и выходные характеристики транзистора NPN, включенного по схеме с общим эмиттером. Цель база-эмиттер является входной, а цепь коллектор-эмиттер - выходной. Входными характеристиками называют зависимость тока базы I_B от напряжения между базой и эмиттером U_{BE} , при постоянном напряжении между коллектором и эмиттером U_{CE} . Входные характеристики зависят от U_{CE} , но эта зависимость незначительна.

Выходными характеристиками транзистора в схеме с общим эмиттером называют семейство кривых, показывающих зависимость тока коллектора I_C от напряжения между коллектором и эмиттером U_{CE} и построенных для ряда постоянных значений тока базы I_B .

Важнейшим свойством биполярных транзисторов является зависимость тока выходной цепи I_C от тока входной цепи. Связь I_C и I_B характеризуется коэффициентом усиления по току:

$$\beta = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_B} \quad \text{при } U_{CE} = \text{const.}$$

Характеристики транзистора в большой степени зависят от температуры полупроводникового материала. Существует максимально допустимая температура, при превышении которой транзистор выходит из строя. Температура транзистора определяется температурой окружающей среды, электрической мощностью, преобразующейся в транзисторе в тепло $P_{\Sigma} = U_{BE} I_C$ (электрической мощностью входной цепи транзистора можно пренебречь) и площадью теплоотвода. В паспортных данных транзисторов приводится максимально допустимая мощность рассеяния $P_{\Sigma \text{ max}}$ для транзистора без дополнительного теплоотвода. При установке транзистора на радиатор, увеличивающий площадь теплоотвода, допустимая мощность рассеяния может быть значительно увеличена.

Кроме $P_{\Sigma \text{ max}}$, область рабочих токов и напряжений выходной цепи ограничивают также максимально допустимый ток коллектора $I_{C \text{ max}}$ и максимально допустимое коллекторное напряжение $U_{CE \text{ max}}$, при превышении которых транзистор также выходит из строя.

Описание лабораторной установки

Лабораторная установка включает в себя следующие полупроводниковые элементы (диод, стабилитрон, тиристор, триод-эмиттер), токоограничивающие резисторы и потенциометры, предназначенные для регулирования напряжения. Для выполнения работ требуются источники постоянного тока с напряжением 6 В и 12 В, источник переменного напряжения 36 В и измерительные приборы: вольтметр, миллиамперметр и микроамперметр постоянного тока, электронный осциллограф.

Порядок выполнения работы

I. Исследовать полупроводниковый диод.

I.1. Собрать схему установки для снятия прямой ветви вольт-амперной характеристики (рис.5,а). Включить питание и, устанавливая ряд различных значений напряжения на диоде, измерить соответствующие им значения тока (результаты измерения занести в табл.1). Выключить питание.

I.2. Собрать схему установки для снятия обратной ветви вольт-амперной характеристики (рис.5,б). Для измерения тока использовать микроамперметр. Включить питание, и, устанавливая ряд различных значений напряжения на диоде, измерить соответствующие им значения тока (результаты измерения занести в табл.1). Выключить питание.

Таблица I

Вольт-амперная характеристика диода

U, В	-4	-2	0	+0,2	+0,4
I, мА					



Рис.5. Принципиальные схемы установки для снятия вольт-амперной характеристики диода или стабилитрона

1.3. По данным табл.1 построить вольт-амперную характеристику диода, соблюдая одинаковый масштаб для положительных и отрицательных напряжений.

2. Исследовать полупроводниковый стабилизатор.

2.1. Собрать схему установки и снять пражур ветвь вольт-амперной характеристики стабилизатора как указано в п.1.1. Результаты измерения занести в табл.2.

2.2. Собрать схему установки для снятия обратной ветви вольт-амперной характеристики стабилизатора (см.рис.1,б). Для измерения силы тока использовать миллиамперметр. Включить питание. Установив ряд различных значений напряжения на стабилизаторе, измерить соответствующие им значения тока. Особое внимание уделить снятию точек характеристики в окрестности напряжения стабилизации. Результаты измерения занести в табл.2. Выключить питание.

Таблица 2

Вольт-амперная характеристика стабилизатора

U, В					
I, мА					
			-4	0	+0,4
			0		

2.3. По данным табл.2 построить вольт-амперную характеристику стабилизатора, соблюдая одинаковый масштаб для положительных и отрицательных напряжений.

3. Исследовать тиристор.

Собрать схему установки для исследования работы тиристора в цепи переменного тока (рис.6). Включить питание. Получить и скопировать осциллограммы напряжений на тиристоре и резисторе в анодной цепи для трех различных углов включения (управления) тиристора. Угол включения регулировать по-

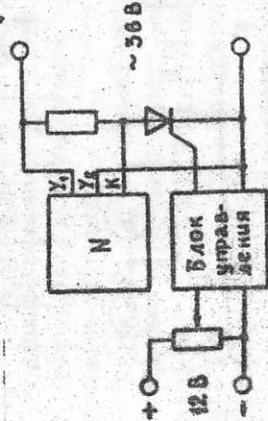


Рис.6. Принципиальная схема установки для исследования тиристора

тентнометром блока управления. Выключить питание. Сделать выводы об условиях включения и выключения тиристора.

4. Исследовать транзистор.

4.1. Собрать схему установки для снятия входной характеристики транзистора (рис.7). Включить питание. Установить на коллекторе напряжение равное нулю. Установив ряд различных значений напряжения на базе, измерить соответствующие им значения тока базы. Результаты измерения занести в табл.3. Установить на коллекторе напряжение 12 В. Повторить снятие входной характеристики. Выключить питание. По данным табл.3 построить входную характеристику транзистора для двух значений напряжения коллектора на одном графике.

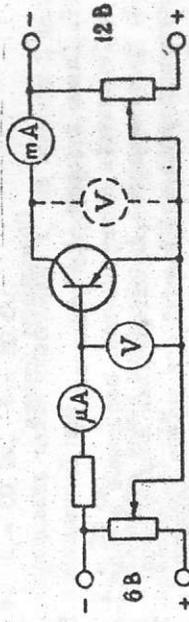


Рис.7. Принципиальная схема установки для исследования транзистора

Таблица 3

Входная характеристика транзистора

I _б , мкА	U _{кз} , В		0	0			
	U _{кз} = 0	U _{кз} = 12 В					

4.2. Собрать схему установки для снятия выходной характеристики транзистора (вольтметр включен между эмиттером и коллектором транзистора). Включить питание. Установить и поддерживать ток базы равным фиксированному значению (например, 100 мкА). Установив ряд различных значений напряжения коллектора, измерить соответствующие им значения тока коллектора. Результаты измерения занести в табл.4.

4.3. Установить и поддерживать ток базы равным фиксированному значению, значительно отличающемуся от первоначального (например, 200 мкА). Снять входную характеристику как указано в п.4.2.

4.4. Установить и поддерживать ток базы равным третьему фиксированному значению. Снять выходную характеристику как указано в п.4.2. Выключить питание. По данным табл.4 построить выходную характеристику транзистора.

Таблица 4

Выходная характеристика транзистора.

$U_{кз}, В$		0	0,5	I	
$I_{к1}, МА$	$I_{к1} =$	0			
	$I_{к2} =$	0			
	$I_{к3} =$	0			

Содержание отчета

1. Схемы лабораторных установок.
2. Результаты экспериментов, сведенные в табл.1-4.
3. Вольт-амперные характеристики исследованных элементов и осциллограммы напряжений при работе тиристора.
4. Выводы о свойствах исследованных элементов и их возможном применении.

ЗАДАЧИ К ЗАЩИТЕ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

При решении задач characterize диодов, стабилитронов и тиристоров можно идеализировать, т.е. считать, что

- 1) электрическое сопротивление диода при прямом напряжении на диоде равно нулю, при обратном напряжении - бесконечно большое;
- 2) электрическое сопротивление стабилитрона при прямом напряжении на стабилитроне равно нулю, ток через стабилитрон при обратном напряжении на стабилитроне от 0 до $U_{с1}$ равен нулю, на участке стабилизации вольт-амперной характеристики напряжение на стабилитроне равно $U_{с1}$ при любом обратном токе;
- 3) электрическое сопротивление открытого тиристора равно нулю, электрическое сопротивление закрытого тиристора бесконечно велико.

I.1. Определить ток i_1 в схеме (рис.1 приложения) при $u = 100 В$, $R_1 = 200 Ом$, $R_2 = 100 Ом$.

I.2. Определить i_3 в схеме (см.рис.1 приложения) при $u = 50 В$, $R_1 = 100 Ом$, $R_2 = 50 Ом$.

I.3. Определить i_2 в схеме (см.рис.1 приложения) при $u = -100 В$, $R_1 = 50 Ом$, $R_2 = 150 Ом$.

I.4. Определить i_1 в схеме (рис.2 приложения) при $u = 200 В$, $R_1 = 100 Ом$, $R_2 = 200 Ом$.

I.5. Определить i_2 в схеме (см.рис.2 приложения) при $u = -100 В$, $R_1 = 50 Ом$, $R_2 = 150 Ом$.

I.6. Определить i_5 в схеме (см.рис.2 приложения) при $u = 50 В$, $R_1 = 50 Ом$, $R_2 = 25 Ом$.

I.7. Определить i_6 в схеме (см.рис.2 приложения) при $u = -30 В$, $R_1 = 60 Ом$, $R_2 = 30 Ом$.

I.8. Определить закон изменения i_1 во времени в схеме (см.рис.1 приложения) при $u = 50 \sin 314t В$, $R_1 = 20 Ом$, $R_2 = 30 Ом$.

I.9. Определить закон изменения i_2 во времени в схеме (см.рис.1 приложения) при $u = 400 \sin 628t В$, $R_1 = 100 Ом$, $R_2 = 50 Ом$.

I.10. Определить закон изменения i_3 во времени в схеме (см.рис.1 приложения) при $u = 200 \sin 314t В$, $R_1 = 200 Ом$, $R_2 = 50 Ом$.

I.11. Определить закон изменения i_1 во времени в схеме (см.рис.2 приложения) при $u = 20 \sin 500t В$, $R_1 = 20 Ом$, $R_2 = 40 Ом$.

I.12. Определить закон изменения i_1 во времени в схеме (см.рис.2 приложения) при $u = 50 \sin (314t + \frac{\pi}{2}) В$, $R_1 = 150 Ом$, $R_2 = 50 Ом$.

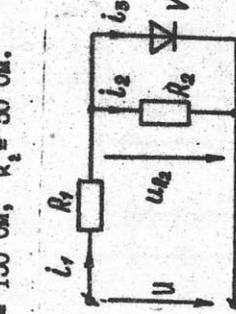


Рис.1. Схема к задачам I.1-I.3, I.8-I.10, I.13

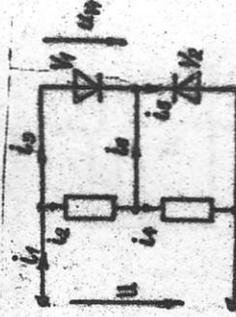


Рис.2. Схема к задачам I.4-I.7, I.11, I.12, I.14, I.15

1.13. Определить максимальное обратное напряжение на диоде в схеме (см. рис. 1 приложения) при $u = 220 \sin(314t + \frac{\pi}{3})$ В, $R_1 = 200$ Ом, $R_2 = 100$ Ом.

1.14. Определить закон изменения во времени напряжения u_{ct} в схеме (см. рис. 2 приложения) при $u = 300 \sin(314t + \frac{\pi}{2})$ В, $R_1 = 100$ Ом, $R_2 = 200$ Ом.

1.15. Определить закон изменения во времени напряжения u_{ct} в схеме (см. рис. 2 приложения) при $u = 100 \sin 1000t$ В, $R_1 = 200$ Ом, $R_2 = 50$ Ом.

2.1. Определить ток i в схеме (рис. 3 приложения) при $u = 50$ В, $R = 50$ Ом, $U_{ct} = 30$ В.

2.2. Определить напряжение на стабилитроне V в схеме (см. рис. 3 приложения) при $u = -100$ В, $R = 200$ Ом, $U_{ct} = 50$ В.

2.3. Определить пределы изменения тока i в схеме (см. рис. 3 приложения) при $u = 50 \sin 314t$ В, $R = 100$ Ом, $U_{ct} = 30$ В.

2.4. Определить максимальное значение тока i в схеме (рис. 4 приложения) при $u = 100 \sin(314t + \frac{\pi}{2})$ В, $R = 50$ Ом, $U_{ct} = 50$ В.

2.5. Определить пределы изменения приложения u в схеме (см. рис. 4 приложения) при $u = 200 \sin 628t$ В, $R = 100$ Ом, $U_{ct} = 50$ В.

2.6. Определить пределы изменения тока i в схеме (см. рис. 4 приложения) при $u = 30 \sin 314t$, $R = 100$ Ом, $U_{ct} = 50$ В.

2.7. Определить ток i в схеме (рис. 5 приложения) при $u = 50$ В, $R = 50$ Ом, $U_{ct} = 20$ В, $U_{ct} = 30$ В.



Рис. 3
Схема к задачам 2.1-2.3



Рис. 4
Схема к задачам 2.4-2.6

2.8. Определить пределы изменения тока i в схеме (см. рис. 5 приложения) при $u = 100 \sin(314t + \frac{\pi}{3})$ В, $R = 50$ Ом, $U_{ct1} = 50$ В, $U_{ct2} = 75$ В.

2.9. Определить максимальное значение тока i в схеме (см. рис. 5 приложения) при $u = 50 + 30 \sin 314t$ В, $R = 50$ Ом, $U_{ct1} = 50$ В, $U_{ct2} = 30$ В.

2.10. Найти пределы изменения напряжения на резисторе R в схеме (см. рис. 5 приложения) при $u = 120 \sin 628t$ В, $R = 30$ Ом, $U_{ct1} = 60$ В, $U_{ct2} = 30$ В.

3.1. Определить закон изменения во времени напряжения u_y на тиристоре (рис. 6 приложения) при $u = 220 \sin 314t$ В, $R = 20$ Ом и угле включения тиристора $\alpha = \pi/3$.

3.2. Определить среднее значение тока I_{cp} в схеме (см. рис. 6 приложения) при $u = 100 \sin 628t$ В, $R = 50$ Ом и угле включения тиристора $\alpha = \pi/2$.

3.3. Определить закон изменения во времени тока i в схеме (см. рис. 6 приложения) при $u = 380 \sin(314t + \frac{\pi}{4})$ В, $R = 20$ Ом и угле включения тиристора $\alpha = \pi/4$.

3.4. Определить закон изменения во времени тока i в схеме (рис. 7 приложения) при $u = 220 \sin(314t - \frac{\pi}{4})$ В, $R_1 = 50$ Ом, $R_2 = 50$ Ом и угле включения тиристора $\alpha = \pi/2$.

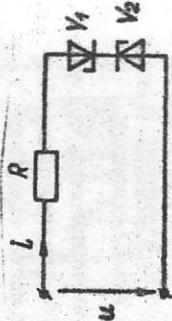


Рис. 5. Схема к задачам 2.7-2.10

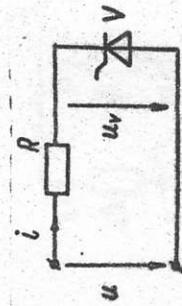


Рис. 6
Схема к задачам 3.1-3.3

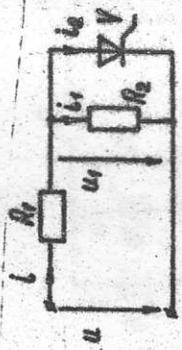


Рис. 7
Схема к задачам 3.4-3.6

3.5. Определить закон изменения во времени тока i_1 в схеме (см. рис. 7 приложения) при $u = 380 \sin 314t$ В, $R_1 = 20$ Ом, $R_2 = 65$ Ом и угле включения тиристора $\alpha = \pi/3$.

3.6. Определить закон изменения во времени напряжения u_1 в схеме (см. рис. 7 приложения) при $u = 220 \sin 314t$ В, $R_1 = 40$ Ом, $R_2 = 20$ Ом, угле включения тиристора $\alpha = 2\pi/3$.

3.7. Определить закон изменения во времени тока i в схеме (рис. 8 приложения) при $u = 220 \sin(314t - \frac{\pi}{2})$ В, $R = 20$ Ом, угол включения тиристора $\alpha_1 = \pi/2$, $\alpha_2 = 2\pi/3$.

3.8. Определить закон изменения напряжения u_1 во времени в схеме (см. рис. 8 приложения) при $u = 380 \sin 628t$ В, $R = 30$ Ом, угол включения тиристора $\alpha_1 = 3\pi/4$, $\alpha_2 = \pi/2$.

3.9. Определить закон изменения тока i_2 во времени в схеме (см. рис. 8 приложения) при $u = 200 \sin 314t$ В, $R = 100$ Ом, угол включения тиристора $\alpha_1 = \pi/6$, $\alpha_2 = \pi/6$.

3.10. Определить закон изменения во времени тока i в схеме (рис. 9 приложения) при $u = 380 \sin 628t$ В, $R_1 = 50$ Ом, $R_2 = 100$ Ом, угол включения тиристора $\alpha = \pi/2$.

3.11. Определить закон изменения во времени тока i_1 в схеме (см. рис. 9 приложения) при $u = 220 \sin(314t + \frac{\pi}{3})$ В, $R_1 = 100$ Ом, $R_2 = 50$ Ом, угол включения тиристора $\alpha = 2\pi/5$.

3.12. Определить закон изменения тока i_2 во времени в схеме (см. рис. 9 приложения) при $u = 150 \sin(314t - \frac{\pi}{3})$ В, $R_1 = 150$ Ом, $R_2 = 100$ Ом, угол включения тиристора $\alpha = \frac{\pi}{3}$.

3.13. Определить закон изменения тока i во времени в схеме (рис. 10 приложения) при $u = 220 \sin(314t + \frac{\pi}{4})$ В, $R_1 = 100$ Ом, $R_2 = 50$ Ом, угол включения тиристора $\alpha = \frac{\pi}{2}$.



Рис. 6.

Схема к задаче 3.7-3.9

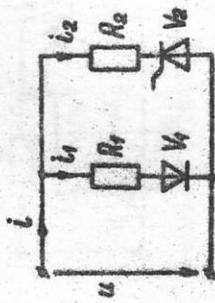


Рис. 9

Схема к задаче 3.10-3.12

3.14. Определить закон изменения тока i_1 во времени в схеме (см. рис. 10 приложения) при $u = 380 \sin 314t$ В, $R_1 = 200$ Ом, $R_2 = 200$ Ом, угол включения тиристора $\alpha = \frac{\pi}{3}$.

3.15. Определить закон изменения напряжения u_{V_2} во времени в схеме (см. рис. 10 приложения) при $u = 220 \sin 314t$ В, $R_1 = 50$ Ом, $R_2 = 100$ Ом, угол включения тиристора $\alpha = \frac{\pi}{4}$.

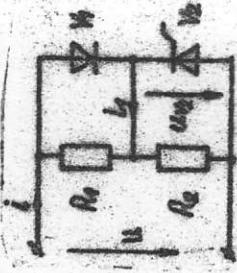


Рис. 10

Схема к задаче 3.13-3.15

