

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ РСФСР

КУЙБЫШЕВСКИЙ ордена ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
АВИАЦИОННЫЙ ИНСТИТУТ имени АКАДЕМИКА С. П. КОРОЛЕВА

**ИССЛЕДОВАНИЕ
ВОЛЬТ-АМПЕРНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК
ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПРИБОРОВ**

Утверждено
редакционно-издательским
советом института
в качестве
методических указаний
к лабораторной работе
по курсу
«Основы радиоэлектроники»
для студентов

Приведены краткие теоретические сведения об основных параметрах полупроводниковых диодов, охарактеризованы основные их типы, а также сведения об основных параметрах униполярных транзисторов и особенности их вольт-амперных характеристик. Даны указания по выполнению работы, определению отчета, контрольные вопросы.

Предназначены для студентов специальности 0705, изучающих курс «Основы радиоэлектроники».

Рецензенты: В. В. Молотов, Ю. С. Быховский

Составитель Владимир Васильевич Фадеев

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЛЬТ-АМПЕРНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПРИБОРОВ

Редактор И. Балыкова
Техн. редактор Н. Каленюк
Корректор М. Купринова

Сдано в набор 4.02.88 г. Подписано в печать 5.03.88 г.
Формат 60×84 1/16. Бумага оберточная белая.
Печать высокая. Гарнитура литературная.
Усл.п.л. 0,93. Мч.-изд.л. 0,9. Т. 300 экз.
Заказ 298. Бесплатно.

Куйбышевский ордена Трудового Красного Знамени
авиационный институт имени академика С. П. Королёва,
г. Куйбышев, ул. Молодогвардейская, 151.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЛЬТ-АМПЕРНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ДИОДОВ (шифр 87Л-01(1))

Цель работы: изучить основные параметры полупроводниковых диодов и снять их вольт-амперные характеристики.

1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1. Особенности полупроводниковых диодов

Полупроводниковый диод представляет собой электропреобразовательный полупроводниковый прибор с одним p - n -переходом и двумя внешними выводами от областей кристалла с разными типами электропроводности. Именно p - n -переход является основой любого полупроводникового диода и определяет его свойства, технические характеристики и параметры [1—3]. Как и p - n -переходы, диоды по конструктивно-технологическому принципу подразделяют на плоскостные и точечные. Наиболее распространены плоскостные диоды. Точечные диоды, имеющие малую емкость p - n -перехода, используются лишь в весьма высокочастотном диапазоне и при малых токах.

Теоретическая связь между прямым током $I_{пр}$ и приложенным к p - n -переходу прямым напряжением $U_{пр}$ определяется выражением

$$I_{пр} = I_0 \cdot (e^{\gamma \frac{U_{пр}}{kT}} - 1), \quad (1)$$

где I_0 — обратный ток насыщения или тепловой ток;

γ — коэффициент, равный единице для германия и одному-двум для кремния; $\varphi_T = kT/q$ — температурный потенциал; q — заряд электрона; k — постоянная Больцмана; T — абсолютная температура.

Значение обратного тока $I_{обр}$ можно определить из уравнения (1), заменив значение $U_{пр}$ на $U_{обр}$. Учитывая, что в рабочей части диапазона обратных токов $\varphi_T \ll |U_{обр}|$, получим $I_{обр} = I_0$. Ток $I_{обр}$ по значению много меньше $I_{пр}$. Прямая и обратная ветви вольт-амперной характеристики показаны на рис. 1, а. Вольт-амперные характеристики диодов проходят через нуль, но достаточно заметный ток появляется у германиевых диодов лишь при напряжении 0,1—0,2 В, а у кремниевых — при напряжении 0,5—0,6 В (рис. 1, б).

Из соотношения (1) следует, что значение и направление тока, проходящего через p - n -переход, зависят от значения и знака при-

ложенного напряжения. При прямом смещении p - n -перехода его сопротивление незначительно, а ток большой. Обратное смещение на переходе обуславливает значительно большее сопротивление в обратном направлении при малом обратном токе. Таким образом, p - n -переход обладает свойством односторонней проводимости или вентильности, что позволяет использовать его в целях выпрямления переменного тока. Если обратное напряжение превышает некоторое значение $U_{обр.пр}$ (рис. 1, а), называемое пробивным, то

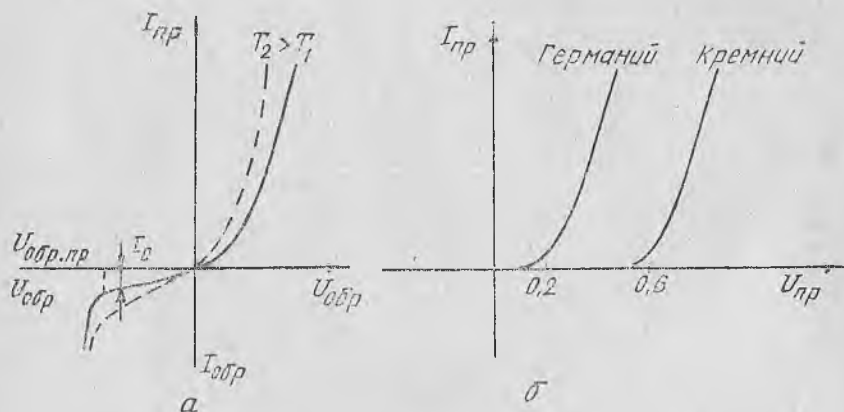


Рис. 1. Вольт-амперные характеристики полупроводниковых диодов: а — прямая и обратная ветвь; б — влияние материала полупроводника

обратный ток $I_{обр}$ резко возрастает. Если его не ограничить, то произойдет электрический пробой p - n -перехода, сопровождаемый часто тепловым пробоем. Кратковременный электрический пробой не разрушает p - n -перехода, т. е. является обратимым явлением. При тепловом же пробое происходит недопустимый перегрев p - n -перехода, и он выходит из строя.

С ростом температуры возрастают как прямой, так и обратный ток. Вольт-амперная характеристика p - n -перехода при более высокой температуре показана на рис. 1, а пунктирной линией. Характеристики реальных диодов отличаются от характеристик, описываемых выражением (1). Обратный ток обычно несколько возрастает при возрастании обратного напряжения. При достаточно больших прямых токах из-за падения напряжения на объемном сопротивлении материала полупроводника экспоненциальная прямая характеристика диода вырождается: ее наклон становится меньше, но она остается нелинейной.

1.2. Основные типы полупроводниковых диодов и их параметры

Полупроводниковые диоды находят широкое применение в решении схемотехнических вопросов всех направлений промышленной электроники. Малые массы и габариты, высокое сопротивление обратному и малое сопротивление прямому току, высокое быстродействие позволяют применять их практически в любых изделиях современной электронной техники. По назначению полупроводниковые диоды подразделяют на выпрямительные, высокочастотные и сверхвысокочастотные, импульсные, опорные (стабилитроны), фото- и светодиоды и др.

Выпрямительные диоды. Наиболее часто выпрямительные диоды применяют в качестве выпрямителей переменного тока низкой частоты (50—100000 Гц). Кроме того, выпрямительные диоды широко используют в схемах управления и коммутации для ограничения паразитных выбросов напряжений в цепях с индуктивными элементами, а также в качестве элементов развязки в электрических цепях и др. В зависимости от исходного полупроводникового материала диоды подразделяют на две группы: германиевые и кремниевые. Последние получили наибольшее распространение, поскольку имеют во много раз меньшие обратные токи и большие обратные напряжения по сравнению с германиевыми диодами. Германиевые диоды целесообразно применять при низких напряжениях, поскольку при одинаковых токах падение напряжения на германиевом диоде, смещенном в прямом направлении, меньше, чем на кремниевом диоде.

Основными параметрами выпрямительных диодов, характеризующими их работу в выпрямительных схемах, являются: среднее за период значение выпрямленного тока $I_{пр. ср}$, который может длительно проходить через диод при допустимом его нагреве; среднее за период значение прямого напряжения $U_{пр. ср}$; которое однозначно определяется по вольт-амперной характеристике при заданном значении $I_{пр. ср}$; предельная частота f_{max} диапазона частот, в пределах которого ток диода не уменьшается ниже заданного значения.

Важное значение имеют также параметры предельного электрического режима выпрямительного диода, а именно: максимально допустимое постоянное обратное напряжение $U_{обр. max}$, которое длительно выдерживает диод без нарушения нормальной работы; максимально допустимый постоянный ток $I_{пр. max}$ диода. В настоящее время серийно выпускаются выпрямительные столбы и блоки, содержащие в одном корпусе совокупности диодов или полные схемы выпрямителей.

Высокочастотные диоды — это полупроводниковые

приборы универсального назначения. Они применяются в тех же электронных устройствах, что и выпрямительные диоды, только при меньшей электрической нагрузке, а также в модуляторах, детекторах, преобразователях частоты и других нелинейных преобразователях электрических сигналов. Выпрямители переменного тока, в которых используют высокочастотные диоды, работают в широком диапазоне частот (до нескольких сотен мегагерц).

Прямая ветвь вольт-амперной характеристики высокочастотного диода не отличается от соответствующей ветви выпрямительного диода. Однако в обратной ветви характеристики вследствие малой площади p - n -перехода участок насыщения практически отсутствует, и обратный ток с ростом напряжения равномерно возрастает за счет токов утечки и термогенерации. Значение постоянных прямых токов точечных высокочастотных диодов не превышает 50 мА, а значения допустимых постоянных обратных напряжений— 150 В. Для микросплавных диодов эти параметры имеют большие значения.

Основным параметром высокочастотных диодов является статическая емкость C_p между внешними выводами. Ее значение определяется барьерной и диффузионной емкостью p - n -перехода. Чем меньше C_p , тем шире диапазон рабочих частот диода. Обычно $C_p \ll 1/\omega$. Другие параметры высокочастотных диодов те же, что и у выпрямительных. При работе в диапазоне повышенных частот необходимо учитывать инерционность диода, в основе которой лежит процесс накопления заряда около p - n -перехода. Инерционность диода, а также наличие емкости C_p приводят к тому, что на очень высоких частотах амплитуды прямого и обратного токов рабочих сигналов становятся соизмеримыми, и диод теряет свойства односторонней проводимости. На очень высоких частотах используются СВЧ-диоды с очень малым радиусом точечного контакта (2—3 мкм).

Импульсные диоды предназначены для использования в качестве ключевых элементов в устройствах импульсной техники. Конструкция импульсных диодов и их вольт-амперная характеристика такая же, как у высокочастотных диодов. Статические параметры импульсных диодов, включая статическую емкость C_p , также аналогичны соответствующим параметрам выпрямительных и высокочастотных диодов.

Особенность импульсных диодов заключается в следующем. При воздействии на диод резкого перепада напряжения (импульса), смещающего диод в прямом направлении, в базе (n -слое) вблизи p - n -перехода возникает избыточная концентрация неосновных носителей заряда, что приводит к изменению прямого сопротивления диода. Соответствующее импульсное прямое сопротивление $R_{и}$ может в 1,5—3 раза превышать статическое прямое сопро-

тивление постоянному току $R_{ст}$. Вследствие этого эффекта возникшее после перепада напряжения на диоде $U_{пр}$ и $U_{мах}$ превышает установившееся значение $U_{пр.уст}$. Поскольку избыточный неравновесный заряд в базе рассасывается не мгновенно, то напряжение $U_{пр}$ и $U_{мах}$ снижается до $U_{пр.уст}$ за конечный промежуток времени, называемый временем установления прямого сопротивления (напряжения) $t_{уст}$. Наиболее эффективным способом снижения $t_{уст}$ является уменьшение толщины базы и времени жизни неравновесных носителей заряда. Существенное снижение времени жизни неравновесных носителей (до 0,5—0,3 нс) достигается легированием германия и кремния золотом (так называемые импульсные диоды с золотой связкой). При этом также уменьшаются емкость C_p и обратный ток диода.

Если $U_{пр.уст}$ быстро изменять на запирающее $U_{обр}$, то обратный ток резко возрастает до значения $I_{обр.мах}$, существенно превышающего ток I_0 (см. рис. 1, а). Такое явление обусловлено тем, что накопившиеся в базе при прохождении прямого тока дырки втягиваются полем p - n -перехода обратно в эмиттер (p -слой). При этом обратное сопротивление резко уменьшается. В результате последующего процесса рекомбинации дырок с электронами, занимающего конечный отрезок времени, концентрация дырок достигает равновесного значения, а обратный ток уменьшается до установившегося значения I_0 . Промежуток времени с момента прекращения прямого тока до момента, когда обратный ток достигает своего установившегося значения, называется временем восстановления обратного сопротивления (тока) $t_{вос}$ диода.

Помимо $t_{уст}$ и $t_{вос}$ импульсные диоды характеризуются максимальным импульсным током $I_{н.мах}$, значение которого может существенно превышать ток статического режима $I_{пр.ст}$, так как при кратковременных (оговоренных в справочниках) импульсах прямого тока (напряжения) можно не опасаться перегрева диода. При проектировании и расчете электрических схем, содержащих диоды, часто необходимы сведения о сопротивлении диода постоянному и переменному току. Сопротивление постоянному току определяется как отношение напряжения к току в данной точке вольт-амперной характеристики (рис. 2) $R_{ст} = U_1/I_1$ при заданном значении I_1 или U_1 . Сопротивление переменному току (динамическое или дифференциальное сопротивление) $R_d = dU/dI \approx \Delta U/\Delta I$, где приращение напряжения ΔU и тока ΔI отсчитывается от точки вольт-амперной характеристики, в которой сопротивление определяется.

В области прямых токов сопротивление $R_{ст}$ больше сопротивления R_d , а в области обратных токов оно меньше сопротивления R_d .

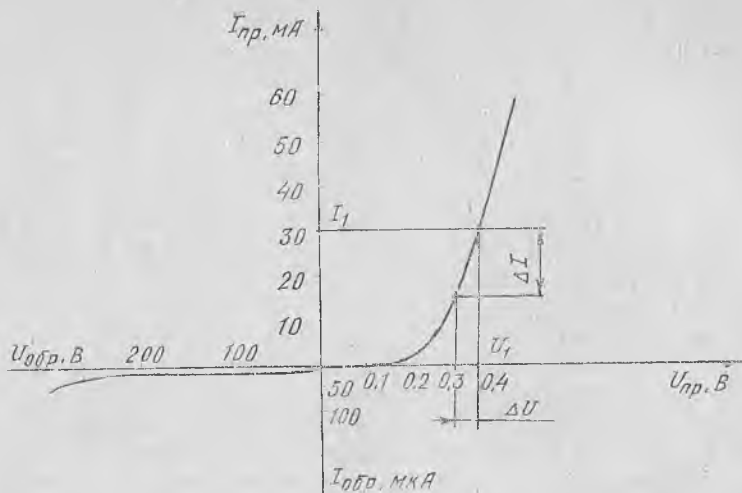


Рис. 2. Определение сопротивления диода постоянному и переменному току

2. ОБОРУДОВАНИЕ И АППАРАТУРА

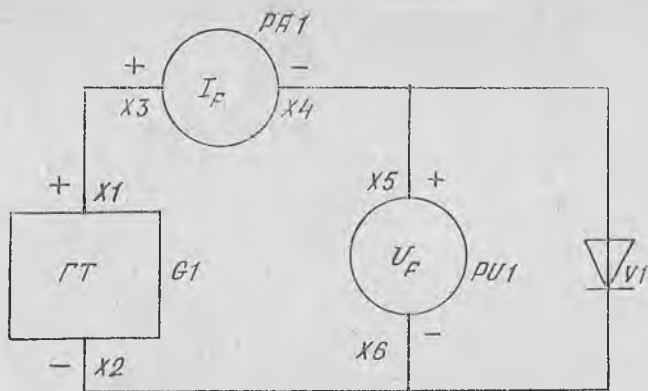
Лабораторная работа проводится на стенде 87Л-01, где установлена сменная панель № 1 (рис. 3). При выполнении работы используются:

- источник постоянного тока (генератор тока) ГТ;
- источник постоянного напряжения (генератор напряжения) ГНЗ;
- авометр АВМ2 и ампервольтметр АВО;
- диоды 1 (Д9), 2 (Д220) — 2 шт.;
- проводники соединительные — 6 шт.

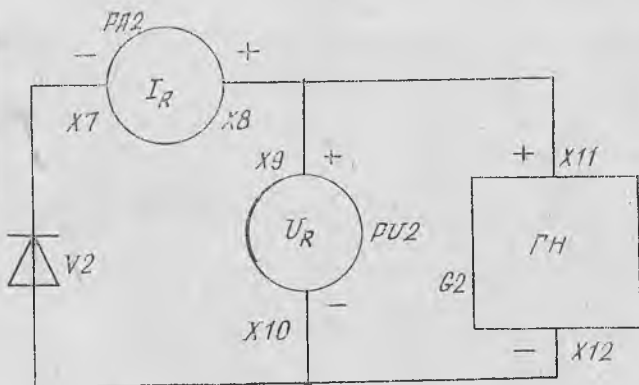
3. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Снять прямую характеристику германиевого диода Д9:

- а) собрать схему рис. 3, а;
- б) изменяя ток через диод, замерить напряжение на диоде. Интервал и диапазон изменения прямого тока указаны в табл. 1. Ток I_F измеряется прибором АВМ2, напряжение U_F — прибором АВО.



а



б

Рис. 3. Снятие и анализ характеристик диодов: а — прямая ветвь; б — обратная ветвь

Таблица 1

$I_{\text{пр}},$ мА	0,04	0,1	0,4	1	2	4	6	8	10	12
$U_{\text{пр}},$ В										

2. Повторить п. 1 с кремниевым диодом Д220.
3. Снять обратную характеристику германиевого диода Д9:
 - а) собрать схему рис. 3, б;
 - б) изменяя обратное напряжение на диоде, измерить ток через

диод. Интервал и диапазон изменения обратного напряжения указаны в табл. 2. Напряжение U_R измеряется прибором АВМ2, ток I_R прибором АВО.

Таблица 2

$U_{обр},$ В	5	10	20	30	40	50
$I_{обр},$ мкА						

4. Повторить п. 3 с кремниевым диодом Д220.

Примечание. В случае нарушения балансировки прибора АВО необходимо несколько раз подряд проделать следующие операции. Замкнуть входные гнезда прибора проводником и ручкой «Уст. «0» установить стрелку прибора на «0»; затем разомкнуть входные гнезда АВО и ручкой «Баланс» повторить установку стрелки на «0». В результате нуль должен сохраняться при КЗ и ХХ на входе прибора.

5. Рассчитать сопротивление постоянному и переменному прямому току исследованных диодов в зависимости от $I_{пр}$.

4. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

1. Наименование лабораторной работы, ФИО студента.
2. Структурные схемы измерений.
3. Таблицы экспериментальных данных и необходимые расчеты, графики полученных зависимостей.
4. Выводы по работе.

5. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Почему контактную разность потенциалов, существующую на *p-n*-переходе, нельзя измерить вольтметром?
2. Какими параметрами характеризуются прямая и обратная ветви вольт-амперной характеристики диодов?
3. Какими параметрами отличаются кремниевые диоды от германиевых?
4. Как зависят параметры полупроводниковых диодов от температуры?
5. Получите и постройте теоретическую зависимость от прямого напряжения $U_{пр}$: а) сопротивления постоянному току, б) сопротивления переменному току.
6. Охарактеризуйте основные группы полупроводниковых диодов и их параметры.

7. При последовательном включении выпрямительных диодов (в случае отсутствия высоковольтного диода) их часто шунтируют высокоомными резисторами. Для чего это делается?

8. При параллельном включении выпрямительных диодов (в случае отсутствия мощного диода) последовательно с каждым диодом включается добавочное сопротивление, составляющее единицы или доли Ом. Для чего это делается?

9. Импульсы напряжения типа меандр через резистор подаются на полупроводниковый диод. Нарисуйте эпюры напряжения на диоде и тока через диод.

10. В замкнутой последовательной цепи, содержащей источник напряжения, индуктивность, резистор и ключ, протекает ток. Нарисуйте эпюры напряжения на ключе в момент размыкания ключа для двух случаев: а) индуктивность зашунтирована диодом, б) диод отсутствует.

11. Нарисуйте схему двухполупериодного выпрямителя и объясните его работу.

12. Объясните принцип действия стабилитрона. Какими параметрами характеризуется этот тип диода?

13. Объясните принцип действия варикапа. Как зависят параметры варикапа от частоты сигнала?

Библиографический список

1. Криштафович А. К., Трифониук В. В. Основы промышленной электроники. — М.: Высшая школа, 1985.

2. Манаев Е. И. Основы радиоэлектроники. — М.: Радио и связь, 1985.

3. Степаненко И. П. Основы теории транзисторов и транзисторных схем. — М.: Энергия, 1985.

4. Пасынков В. В., Чиркин Л. К. Полупроводниковые приборы. — М.: Высшая школа, 1987.

5. Микроэлектроника: Учеб. пособие для вузов. В 9 кн. /Под ред. Л. А. Коледова. Кн. 1. Физические основы функционирования изделий микроэлектроники /О. В. Митрофанов, Б. М. Симонов, Л. А. Коледов. — М.: Высшая школа, 1987.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЛЬТ-АМПЕРНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК БИПОЛЯРНЫХ ТРАНЗИСТОРОВ (шифр 87Л-01(6))

Цель работы: изучить основные параметры биполярного транзистора и снять его статические входные и выходные характеристики при включении транзистора по схеме с общим эмиттером.

1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Биполярный транзистор является одним из самых распространенных типов активных элементов. В современной радиоэлектронике он широко применяется как в дискретном, так и в интегральном исполнении [1—3].

1.1. Особенности биполярных транзисторов

Биполярный транзистор представляет собой совокупность двух встречно включенных взаимодействующих p - n -переходов. Взаимодействие переходов обеспечивается тем, что они расположены достаточно близко друг от друга. Условно можно считать, что транзистор состоит из двух встречно включенных диодов, обладающих одним общим n - или p -слоем. Соответственно этому различают транзисторы p - n - p и n - p - n типа. Центральную область, разделяющую p - n -переходы и электрод, связанный с ней, называют базой B (B). Два других электрода называют эмиттером E (E) и коллектором K (C) (в скобках приведены обозначения, принятые в иностранной литературе). Обычно переход эмиттер-база смещен в прямом направлении, а переход база-коллектор — в обратном.

Так как транзистор имеет три вывода, то включить его в электрическую цепь можно шестью различными способами. Только три из них могут обеспечить усиление мощности сигнала. Один из электродов транзистора обычно является входным, другой — выходным, а третий — общим относительно входа и выхода. В зависимости от того, какой электрод является общим, различают три основные схемы включения транзистора: с общей базой ОБ, общим эмиттером ОЭ, общим коллектором ОК. Зависимость между током и напряжением электродов транзистора может быть выражена как аналитически, так и графически. В инженерной практике расчета устройств на транзисторах широкое применение нашел графический метод с использованием статических вольт-амперных характеристик, сочетающий в себе наглядность и простоту.

1.2. Статические характеристики транзисторов

Ток любого электрода транзистора является функцией двух на-

пряжений U_1 и U_2 , где U_1 — напряжение между входным и общим электродами, U_2 — напряжение между выходным и общим электродами. Кроме того, токи электродов связаны соотношением $I_э = I_б + I_к$. Таким образом, пять неизвестных параметров режима работы транзистора ($U_1, U_2, I_б, I_к, I_э$) связаны между собой тремя независимыми уравнениями. Поэтому задание любых двух параметров (аргументов) однозначно определяет значения остальных параметров и, следовательно, режим работы транзистора.

Статической характеристикой называют зависимость тока какого-либо электрода транзистора от одного из аргументов при фиксированном значении другого и медленном изменении варьируемых значений переменных величин с тем, чтобы режим работы практически оставался статическим. Каждая точка характеристики соответствует определенному статическому режиму транзистора (режиму по постоянному току). Задавая различные значения фиксированному аргументу и определяя каждый раз зависимость электродного тока от варьируемого аргумента, получают семейство статических характеристик. Каждая схема включения транзистора характеризуется двумя независимыми семействами статических характеристик. Обычно используются входные и выходные характеристики, удобные для расчета транзисторных устройств. Рассмотрим статические характеристики для схемы с ОЭ, широко используемой в усилительных и импульсных каскадах. Источники напряжения для этой схемы должны быть включены так, как показано на рис. 1.

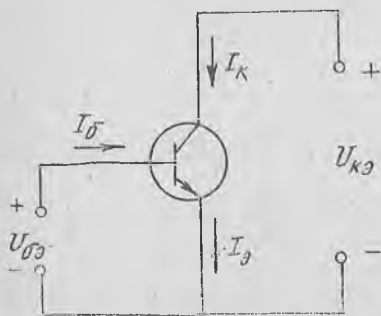


Рис. 1. Схема включения источников питания для схемы с ОЭ

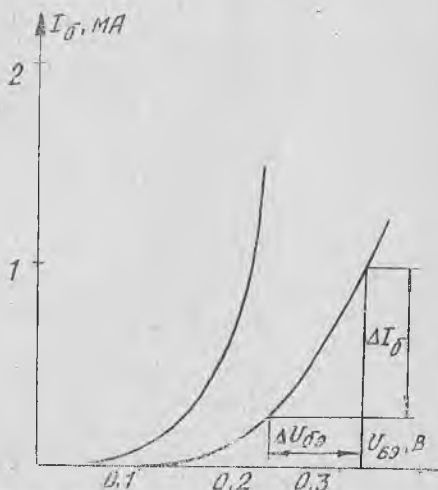


Рис. 2. Входные характеристики транзистора

Входные характеристики транзистора в схеме с ОЭ представляют собой зависимость

$$I_b = f(U_{бэ}) \text{ при } U_{кэ} = \text{const.}$$

Эти характеристики можно называть базовыми характеристиками. Их примерный вид для маломощных германиевых транзисторов приведен на рис. 2 (для кремниевых транзисторов базовые характеристики смещены в область больших $U_{бэ}$). При $U_{кэ} = 0$ оба перехода включены в прямом направлении. Поэтому ток базы равен сумме прямых токов эмиттерного и коллекторного переходов. При $|U_{кэ}| > |U_{бэ}|$ коллекторный переход смещается в обратном направлении, и ток базы резко уменьшается. Начиная с $U_{кэ} \approx 1\text{В}$ входные характеристики практически не отличаются друг от друга.

Выходные характеристики транзистора в схеме с ОЭ представляют собой зависимость

$$I_k = f(U_{кэ}) \text{ при } I_b = \text{const.}$$

Эти характеристики можно назвать коллекторными. Вид этих характеристик показан на рис. 3. Для того, чтобы транзистор мог

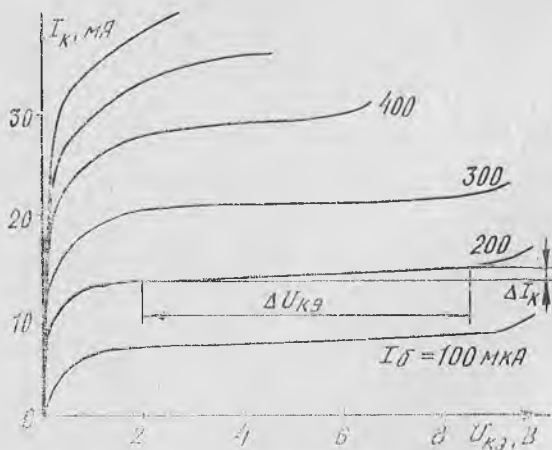


Рис. 3. Выходные характеристики транзистора

работать как усилительный элемент, необходимо выполнение условия $|U_{кэ}| > |U_{бэ}|$ (при этом коллекторный переход обратно смещен). Поскольку даже для кремниевого транзистора $U_{бэ} < 0,6\text{В}$, а для эффективного собирания носителей заряда коллектором необходимо напряжение $|U_{кб}| \approx 0,3-0,4\text{В}$, то минимальное напряжение на коллекторе, при котором транзистор еще находится в усилительном режиме, равно $U_{кэ \text{нас}} \approx 1\text{В}$. Это напряжение называется напряжением насыщения. В активной (усилительной) об-

ласти коллекторный ток в соответствии с теорией работы идеального транзистора не должен зависеть от напряжения, а определяться только током базы. Однако приращение $\Delta U_{кэ}$ частично падает на эмиттерном переходе, вызывая приращение $\Delta I_{э}$ и дополнительное приращение тока $I_{к}$. К тому же при увеличении $U_{кэ}$ растет и коэффициент усиления базового тока β . Поэтому наклон выходных характеристик имеет конечное значение. В схеме с ОБ этот наклон заметно меньше.

При уменьшении напряжения $U_{кэ}$ менее $U_{кэ\text{нас}}$ происходит открывание коллекторного перехода. В этом режиме прямой ток коллекторного перехода и эмиттерный ток направлены навстречу друг другу, что приводит к уменьшению результирующего тока $I_{к}$. В области насыщения транзистор теряет усилительные свойства — изменение входного напряжения практически не вызывает изменения выходного напряжения. При слишком больших коллекторных напряжениях, превышающих напряжения пробоя $U_{кэ\text{проб}}$, происходит резкое возрастание тока $I_{к}$ и разрушение коллекторного перехода.

При анализе усилителей на транзисторах часто используется еще одна статическая характеристика:

$$I_{к} = f(U_{бэ}) \text{ при } U_{кэ} = \text{const.}$$

Эта характеристика называется проходной или передаточной. Она может быть снята самостоятельно или построена с использованием входных и выходных характеристик. Примерный вид проходной характеристики показан на рис. 4. По статическим вольт-амперным характеристикам можно определить следующие основные параметры транзистора в схеме с ОЭ:

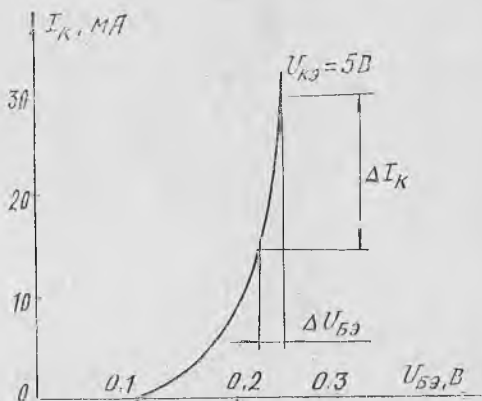


Рис. 4. Проходная характеристика транзистора

входное сопротивление $r_{вх} = \Delta U_{бэ} / \Delta I_{б}$ при $U_{кэ} = \text{const}$;

дифференциальный коэффициент усиления базового тока $\beta = h_{21э} = \Delta I_{к} / \Delta I_{б}$ при $U_{кэ} = \text{const}$;

выходное сопротивление $r_{вых} = \Delta U_{кэ} / \Delta I_{к}$ при $I_{б} = \text{const}$;

крутизна $S = \Delta I_{к} / \Delta U_{бэ}$ при $U_{кэ} = \text{const}$.

Необходимо отметить, что параметры транзистора зависят от режима работы, т. е. один и тот же параметр имеет различные значения для разных точек вольт-амперной характеристики.

2. ОБОРУДОВАНИЕ И АППАРАТУРА

Лабораторная работа проводится на стенде 87Л-01, где установлена сменная панель № 6 (рис. 5). При выполнении работы используются:

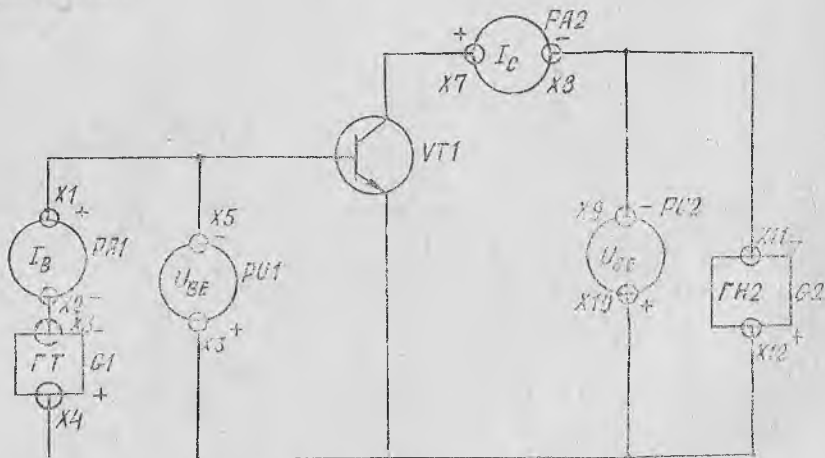


Рис. 5. Схема лабораторной установки

- источник постоянного тока (генератор тока) ГТ;
- источник постоянного напряжения (генератор напряжения) ГН2;
- авометр АВМ2 и ампервольтметр АВО;
- транзистор $V1$ (МП40) — 1 шт;
- проводники соединительные — 9 шт.

3. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Снять входную характеристику транзистора для напряжения $U_{CE} = 5$ В:

- установить напряжение на выходе источника ГН2 равным 5 В. Напряжение контролировать с помощью измерителя выхода ИВ, смонтированного в правой стойке лабораторного стенда. Ток источника ГТ установить равным «0» (ручку регулировки тока повернуть в крайнее левое положение);

б) собрать схему (рис. 5) . Точки X7, X8 соединить проводником;

в) изменяя базовый (входной) ток транзистора I_B , замерить напряжение U_{BE} на промежутке база-эмиттер. Полученные данные занести в табл. 1. Ток I_B измеряется прибором АВО (предел 1 мА), напряжение U_{BE} — прибором АВМ2 (предел 0,5 В).

Таблица 1

I_B , мкА	0	100	200	300	400	500
U_{BE} В						

2. Снять семейство выходных характеристик транзистора для нескольких значений базового тока:

а) прибор АВМ2 отсоединить от точек X5, X6, переключить на измерение тока и подключить к точкам X7, X8;

б) изменяя напряжение U_{CE} с помощью источника ГН2, для заданных значений тока базы (см. табл. 2) замерить коллекторный ток I_C . Интервал и диапазон изменения коллекторного напряжения указаны в табл. 2.

Ток I_B измеряется прибором АВО (предел 1 мА), ток I_C — прибором АВМ2 (предел 5, 10, 50 мА), напряжение U_{CE} — прибором ИВ.

Таблица 2.

$I_B = 100 \text{ мкА}$		$I_B = 200 \text{ мкА}$		$I_B = 300 \text{ мкА}$		$I_B = 400 \text{ мкА}$	
U_{CE} , В	I_C , мА	U_{CE} , В	I_C , мА	U_{CE} , В	I_C , мА	U_{CE} , В	I_C , мА
15		15		15		10	
10		10		10		5	
5		5		5		2,5	
2,5		2,5		2,5		—	

Примечание. В случае нарушения балансировки прибора АВО необходимо несколько раз подряд проделать следующие операции. Замкнуть входные гнезда прибора проводником и ручкой «Уст. 0» установить стрелку прибора на «0»; затем разомкнуть входные гнезда прибора АВО и ручкой «Баланс» повторить установку стрелки на «0». В результате нуль должен сохраняться при КЗ и ХХ на входе прибора.

4. ДОМАШНЕЕ ЗАДАНИЕ

1. По экспериментально снятым входным и выходным характеристикам построить проходную характеристику транзистора для $U_{CE} = 5 \text{ В}$.

2. При $I_B = 300 \text{ мкА}$ и $U_{CE} = 5 \text{ В}$ определить входное сопротивление $r_{вх}$, коэффициент усиления по току β , выходное сопротивление $r_{вых}$, крутизну S .

5. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

1. Наименование работы, ФИО студента.
2. Схема измерений.
3. Таблицы экспериментальных данных и необходимые расчеты, графики полученных зависимостей.
4. Выводы по работе.

6. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Принцип действия биполярного транзистора.
2. Подключение источников смещения и направление электронных токов в схемах включения транзистора: а) с ОБ; б) с ОЭ; в) с ОК.
3. Основные параметры транзистора и их определение.
4. Зависимость параметров транзистора от: а) режима работы; б) температуры; в) частоты.
5. Статические характеристики биполярного транзистора (определение, особенности формы) для схемы: а) с ОБ; б) с ОЭ.
6. Основные соотношения для токов и напряжений в транзисторе.
7. Физические эквивалентные схемы транзистора при включении по схеме: а) с ОБ; б) с ОЭ.
8. Формальные эквивалентные схемы транзистора.
9. Особенности транзисторов в дискретном и интегральном исполнении.

Библиографический список

1. Бочаров Л. Н. Электронные приборы. — М.: Энергия, 1979.
2. Овечкин Ю. А. Полупроводниковые приборы. — М.: Высшая школа, 1979.
3. Манасев Е. И. Основы микроэлектроники. — М.: Радио и связь, 1985.
4. Степаненко И. П. Основы микроэлектроники. М.: Сов. радио, 1980.
5. Пасынков В. В., Чиркин Л. К. Полупроводниковые приборы. — М.: Высшая школа, 1987.
6. Микроэлектроника: Уч. пособие для вузов. В 9 кн. /Под ред. Л. А. Коледова. Кн. 1. Физические основы функционирования изделий микроэлектроники /Ю. В. Митрофанов, Б. М. Симонов, Л. А. Коледов. — М.: Высшая школа, 1987.