

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ

Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Оренбургский государственный университет»

Кафедра технической эксплуатации и ремонта автомобилей

А.В. ПУЗАКОВ, А.М. ФЕДОТОВ, Г.П. ДВОРНИКОВ

ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ БИПО- ЛЯРНОГО ТРАНЗИСТОРА

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ
ПО КУРСУ «ЭЛЕКТРОТЕХНИКА, ЭЛЕКТРОНИКА И ЭЛЕКТРООБОРУ-
ДОВАНИЕ АВТОМОБИЛЕЙ»

Рекомендовано к изданию Редакционно-издательским советом государствен-
ного образовательного учреждения высшего профессионального образования
«Оренбургский государственный университет»

Оренбург 2006

УДК 621.382.2(07)
ББК 32.852.2я7
П 88

Рецензент

кандидат технических наук А.А. Гончаров

Пузаков А.В.

П-88 Исследование работы биполярного транзистора: методические указания к лабораторной работе по курсу «Электротехника, электроника и электрооборудование автомобилей» /А.В. Пузаков, А.М. Федотов, Г.П. Дворников – Оренбург: ГОУ ОГУ, 2006. - 18 с.

Методические указания к лабораторной работе предназначены для студентов, обучающихся по программе высшего профессионального образования по специальностям 190601, 190603 при изучении дисциплины «Электротехника, электроника и электрооборудование автомобилей». Могут быть рекомендованы для студентов специальности 200503 при изучении дисциплины «Электротехника и электроника».

Методические указания к лабораторному практикуму разработаны доцентами, кандидатами технических наук Федотовым А.М., Дворниковым Г.П. и преподавателем Пузаковым А.В.

© Пузаков А.В.,

Федотов А.М.,

Дворников Г.П., 2006

© ГОУ ОГУ, 2006

Содержание

1	Цель работы.....	6
2	Оборудование.....	6
3	Краткие теоретические сведения.....	6
3.1	Устройство биполярного транзистора.....	6
3.2	Схемы включения биполярных транзисторов.....	7
3.3	Режимы работы биполярного транзистора.....	9
3.4	Принцип действия биполярного транзистора.....	10
3.5	Статические характеристики биполярных транзисторов.....	11
4	Порядок выполнения работы.....	12
4.1	Исследование входных статических характеристик.....	13
4.2	Исследование выходных статических характеристик биполярного транзистора.....	14
4.3	Определение H-параметров биполярного транзистора.....	15
5	Контрольные вопросы.....	16
	Список использованных источников.....	18
	Приложение А.....	19

Исследование работы биполярного транзистора

1 Цель работы

Изучить устройство и принцип действия биполярного транзистора. Приобрести практические навыки исследования статических характеристик биполярного транзистора, включенного по схеме с общим эмиттером.

2 Оборудование

Лабораторный стенд № 2, мультиметр M890G, соединительный кабель.

3 Краткие теоретические сведения

Биполярным транзистором называется полупроводниковый прибор, состоящий из трех областей с чередующимися типами проводимости, заключенный в корпус и снабженный тремя выводами для присоединения во внешнюю цепь.

3.1 Устройство биполярного транзистора

В транзисторе чередуются по типу электропроводности три области полупроводника, для чего в однородной полуизолирующей подложке кремния методами планарно-эпитаксиальной технологии формируются области коллектора, базы и эмиттера (см. рисунок 1). Для этого в области, служащей коллектором, методом локальной диффузии (введением атомов легирующего вещества в кристалл полупроводника через некоторую часть его поверхности) образована базовая область. В этой области методом локальной диффузии образована эмиттерная область с высокой концентрацией донорной примеси.

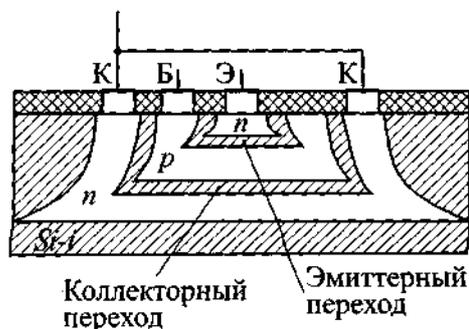


Рисунок 1

На границе эмиттерной области с базовой, а также на границе базовой области с коллекторной образуются два электронно-дырочных перехода (p-n переходы) — эмиттерный и коллекторный (по названию крайних областей

транзисторной структуры). Переходы оказываются взаимодействующими, если расстояние между ними, называемое шириной базы, гораздо меньше диффузионной длины подвижных носителей заряда. Диффузионная длина — это расстояние, которое проходит электрон и дырка от момента появления в полупроводнике до момента рекомбинации.

Площадь коллекторного перехода всегда больше площади эмиттерного перехода. Основной особенностью устройства биполярных транзисторов является неравномерность концентрации основных носителей зарядов в эмиттере, базе и коллекторе. В эмиттере концентрация носителей заряда максимальная. В коллекторе — несколько меньше, чем в эмиттере. В базе — во много раз меньше, чем в эмиттере и коллекторе (см. рисунок 2).

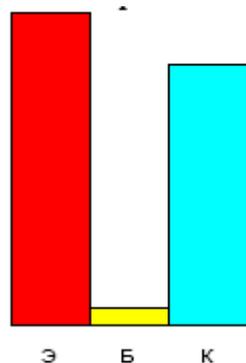


Рисунок 2

В зависимости от порядка чередования областей по типу электропроводности различают структуры p-n-p и n-p-n типов. На рисунке 3 показаны структуры p-n-p и n-p-n транзисторов и их условные обозначения на электрических схемах. Направление стрелки в транзисторе показывает направление протекающего тока.

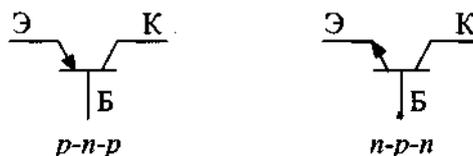


Рисунок 3

3.2 Схемы включения биполярных транзисторов

Как элемент электрической цепи транзистор используют таким образом, что один из его электродов является входным, а другой — выходным. Третий электрод является общим относительно входа и выхода. В зависимости от того какой электрод является общим, различают три схемы включения транзистора: с общей базой (ОБ), общим эмиттером (ОЭ) и общим коллектором (ОК). Эти схемы показаны на рисунке 4.

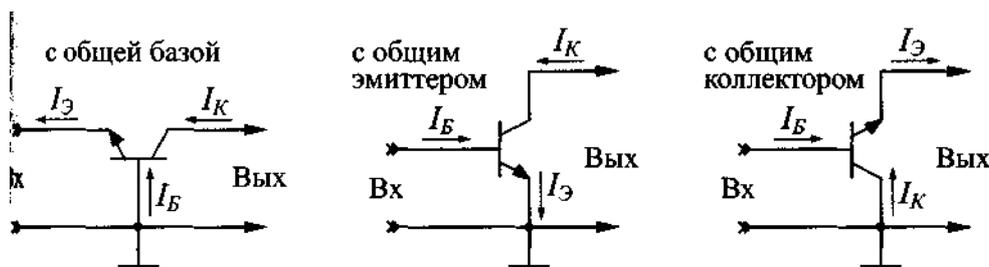


Рисунок 4

3.2.1 Схема включения с общей базой

Любая схема включения транзистора характеризуется двумя основными показателями: коэффициент усиления по току $I_{\text{вых}}/I_{\text{вх}}$; входное сопротивление $R_{\text{вх}}=U_{\text{вх}}/I_{\text{вх}}$.

Входное сопротивление для схемы с общей базой мало и составляет десятки Ом, так как входная цепь транзистора при этом представляет собой открытый эмиттерный переход транзистора.

Недостатки схемы с общей базой: схема не усиливает ток; малое входное сопротивление.

Достоинства – хорошие температурные и частотные свойства.

3.2.2 Схема включения с общим эмиттером

Эта схема является наиболее распространённой, так как она даёт наибольшее усиление по мощности. Коэффициент усиления по току такого каскада представляет собой отношение амплитуд выходного и входного переменного тока, то есть токов коллектора и базы. Поскольку ток коллектора в десятки раз больше тока базы, то коэффициент усиления по току составляет десятки единиц.

Напряжение база - эмиттер не превышает десятых долей вольта, а выходное напряжение при достаточном сопротивлении резистора нагрузки и напряжении источника E_k достигает единиц, а в некоторых случаях и десятков вольт. Поэтому коэффициент усиления каскада по напряжению имеет значение от десятков до сотен. Отсюда следует, что коэффициент усиления каскада по мощности получается равным сотням, или тысячам, или даже десяткам тысяч. Этот коэффициент представляет собой отношение выходной мощности к входной.

Входное сопротивление схемы с общим эмиттером мало (от 100 до 1000 Ом). Каскад по схеме ОЭ при усилении переворачивает фазу напряжения, т. е. между выходным и входным напряжением имеется фазовый сдвиг 180° .

Достоинства схемы с общим эмиттером: большой коэффициент усиления по току; большее, чем у схемы с общей базой, входное сопротивление.

Недостатки: худшие, чем у схемы с общей базой, температурные и частотные свойства. Однако за счёт преимуществ схема с ОЭ применяется наиболее часто.

3.2.3 Схема с общим коллектором

В схеме с ОК коллектор является общей точкой входа и выхода. Коэффициент усиления по току каскада с общим коллектором почти такой же, как и в схеме с ОЭ, т. е. равен нескольким десяткам. Однако, в отличие от каскада с ОЭ, коэффициент усиления по напряжению схемы с ОК близок к единице, причем всегда меньше её. Переменное напряжение, поданное на вход транзистора, усиливается в десятки раз (так же, как и в схеме ОЭ), но весь каскад не даёт усиления. Коэффициент усиления по мощности равен примерно нескольким десяткам. Выходное напряжение совпадает по фазе с входным и почти равно ему. Именно поэтому данный каскад обычно называют эмиттерным повторителем. Эмиттерным – потому, что резистор нагрузки включен в провод вывода эмиттера и выходное напряжение снимается с эмиттера (относительно корпуса). Так как входная цепь представляет собой закрытый коллекторный переход, входное сопротивление каскада по схеме ОК составляет десятки килоом, что является важным достоинством схемы. Выходное сопротивление схемы с ОК, наоборот, получается сравнительно небольшим, обычно единицы килоом или сотни ом. Эти достоинства схемы с ОК побуждают использовать её для согласования различных устройств по входному сопротивлению.

Недостатком схемы является то, что она не усиливает напряжение – коэффициент усиления чуть меньше 1

3.3 Режимы работы биполярного транзистора

При работе транзистора к его электродам прикладываются напряжения от внешних источников питания. В зависимости от полярности напряжений, прикладываемым к электродам, каждый из р-п переходов транзистора может быть включен в прямом или в обратном направлении, т.е. возможны четыре режима работы транзистора.

Таблица 1

Название перехода	Включение перехода	Режим работы транзистора
эмиттерный переход коллекторный переход	прямое прямое	режим насыщения
эмиттерный переход коллекторный переход	обратное обратное	режим отсечки
эмиттерный переход коллекторный переход	прямое обратное	активный режим
эмиттерный переход коллекторный переход	обратное прямое	инверсный режим

3.3.1 Режим отсечки

В режиме отсечки оба р-n перехода включены в обратном направлении (высокоомное состояние участка Э—К). В электродах транзистора протекают тепловые токи обратновключенных переходов, которые и являются статическими параметрами режима отсечки.

3.3.2 Режим насыщения

В режиме насыщения оба р-n перехода включены в прямом направлении, переходы насыщены подвижными носителями заряда, их сопротивления малы, участок Э—К имеет высокую проводимость и может считаться короткозамкнутым.

3.3.3 Инверсный режим

В инверсном режиме эмиттерный переход обратновключен, а коллекторный переход находится под прямым напряжением. Поэтому, по сравнению с активным режимом, в инверсном режиме инжекция носителей осуществляется коллекторным переходом, а экстракция носителей, наоборот, — эмиттерным переходом. Практически эмиттер и коллектор меняются функциями и местами в схеме.

3.3.4 Активный режим

Включение эмиттерного перехода в прямом направлении, а коллекторного переход — в обратном соответствует активному режиму, а транзистор обладает усилительными свойствами. Принцип действия транзистора в активном режиме подробно рассмотрен в следующем пункте.

3.4 Принцип действия биполярного транзистора

Принцип действия биполярного транзистора основан на использовании следующих явлений: инжекции основных носителей через эмиттерный переход; переносе инжектированных носителей через базу вследствие диффузии и дрейфа; рекомбинации неравновесных носителей в базе; экстракции неосновных носителей базы в коллектор полем коллекторного перехода.

Так как эмиттерный переход открыт, то через него будет протекать ток эмиттера, вызванный переходом электронов из эмиттера в базу и переходом дырок из базы в эмиттер. Следовательно, ток эмиттера будет иметь две составляющие – электронную и дырочную.

Инжекцией зарядов называется переход носителей зарядов из области, где они были основными в область, где они становятся неосновными. В базе электроны рекомбинируют, а их концентрация в базе пополняется от источника $E_{\text{э}}$, за счёт чего в цепи базы будет протекать очень малый ток.

Оставшиеся электроны, не успевшие рекомбинировать в базе, под ускоряющим действием поля закрытого коллекторного перехода как неосновные носители будут переходить в коллектор, образуя ток коллектора. Переход носителей зарядов из области, где они были не основными, в область, где они становятся основными, называется экстракцией зарядов.

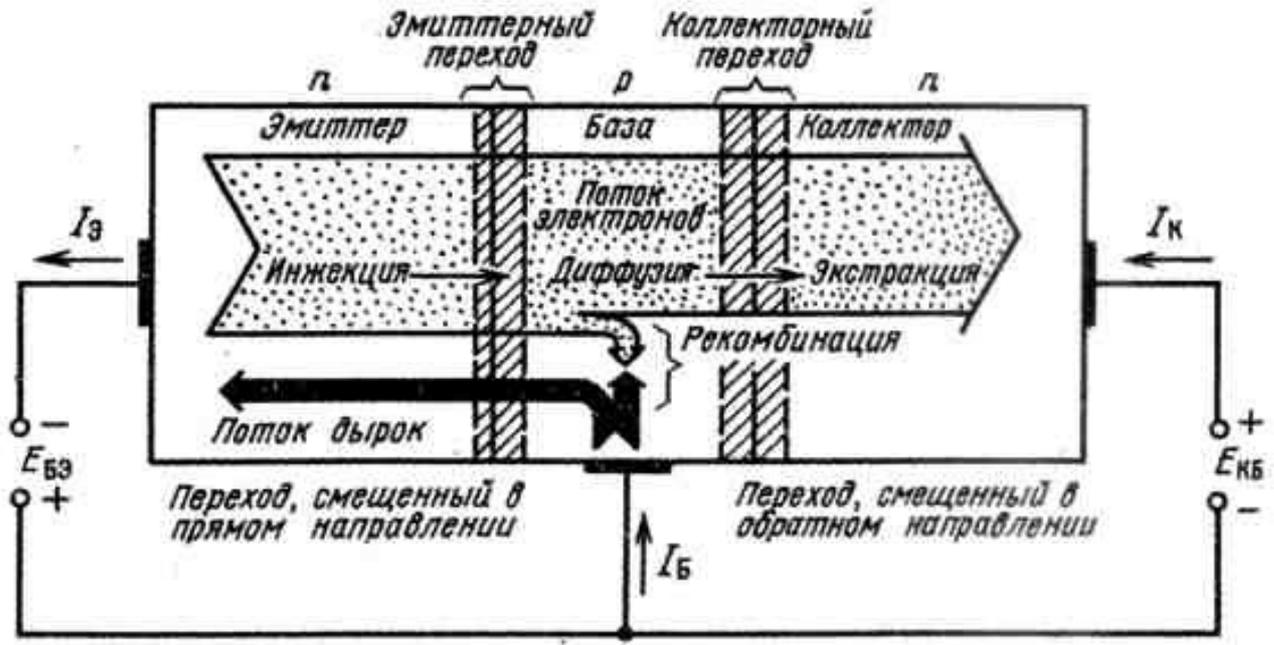


Рисунок 5

Дырки из коллектора как неосновные носители зарядов будут переходить в базу, образуя обратный ток коллектора $I_{\text{кб0}}$.

Аналогичные процессы происходят в n-p-n транзисторе с той разницей, что вместо дырок надо говорить об электронах и наоборот. Положительные направления постоянных токов и полярности питающих напряжений, соответствующие активному режиму, показаны на рис. 6.3.

Обратное напряжение, приложенное к коллекторному переходу, значительно больше напряжения прямовключенного эмиттерного перехода, а токи в цепях эмиттера и коллектора практически равны. Поэтому мощность в нагрузке, создаваемая переменной составляющей коллекторного тока, оказывается значительно больше мощности, затрачиваемой на управление током в цепи эмиттера, следовательно, транзистор обладает усилительными свойствами. Эти качества в сочетании с малыми габаритами, высокой надежностью, долговечностью и экономичностью обусловили широкое применение транзисторов в электронной технике.

3.5 Статические характеристики биполярных транзисторов

Входные характеристики – это зависимость входного тока от входного напряжения при постоянном выходном напряжении.

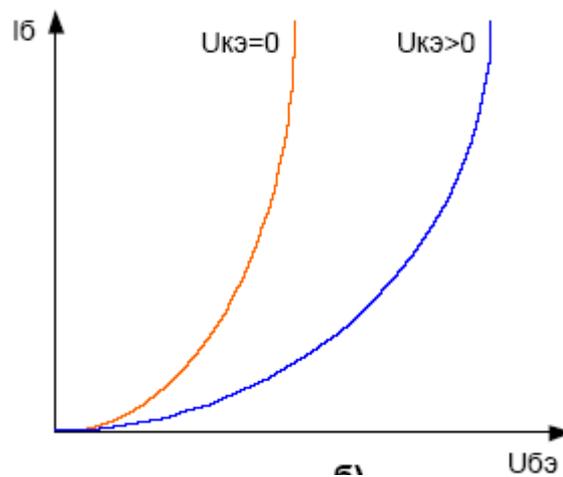


Рисунок 6

Входные характеристики представляют собой прямую ветвь открытого p-n перехода. При увеличении выходного напряжения $U_{кэ}$ носители заряда быстрее пролетают базу, рекомбинируют, следовательно, и ток базы уменьшается. Поэтому характеристика при $U_{кэ} > 0$ будет проходить ниже.

Выходная характеристика – это зависимость выходного тока от выходного напряжения при постоянном входном токе. Для схемы включения с общим эмиттером $I_k=f(U_{кэ})$ при $I_b=Const$ дана иллюстрация на рисунке 7, из которой видно, что выходные характеристики представляют собой прямые линии, почти параллельные оси напряжения.

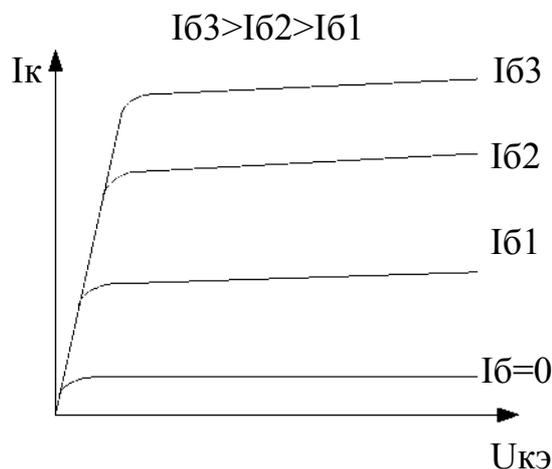


Рисунок 7

4 Порядок выполнения работы

4.1 Исследование входных статических характеристик биполярного транзистора

- 1) Выставьте органы управления лабораторного стенда №2 (далее стенда) в следующее положение: переключатель «SA1» в положение 1, переключатель «SA2» в положение 4, ручку «R1» в крайнее левое, ручку «Ек» в крайнее левое, тумблер «Сеть» в положение выключено.
- 2) Соедините кабелем зажимы $U_{бэ}$ стенда с входом мультиметра. Схема исследования входных статических характеристик биполярного транзистора представлена на рисунке 8.

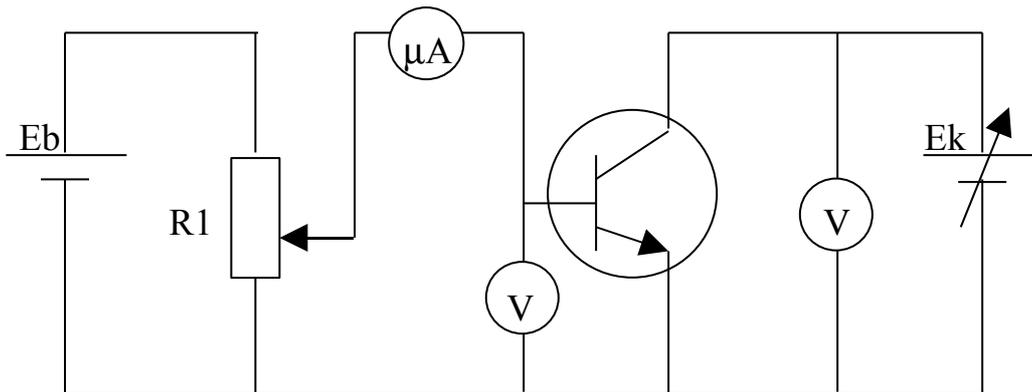


Рисунок 8 – Схема исследования входных статических характеристик биполярного транзистора

- 3) Включите стенд тумблером «Сеть». Для получения экспериментальных данных плавно увеличивайте напряжение $U_{бэ}$ и через каждые 0,05...0,1 В заносите показания напряжения $U_{бэ}$ и тока $I_{б}$ в таблицу по форме таблицы 2.
- 4) Для заполнения второй половины таблицы 2 установите значение напряжения $U_{кэ}$ отличным от нуля (значение задает преподаватель), контролируя его величину при помощи мультиметра. Далее заполняйте таблицу 2 согласно предыдущему пункту.
- 5) По окончании измерений выключите приборы и разберите схему.

Таблица 2 – Входные статические характеристики биполярного транзистора

Uкэ =		Uкэ =	
Iб, μA	Uбэ, В	Iб, μA	Uбэ, В

4.2 Исследование выходных статических характеристик биполярного транзистора

- 1) Выставьте органы управления стенда в исходное положение (см. пункт 1 подраздела 4.1).
- 2) Соедините кабелем зажимы Uкэ стенда с мультиметром. Схема исследования выходных статических характеристик биполярного транзистора представлена на рисунке 9.

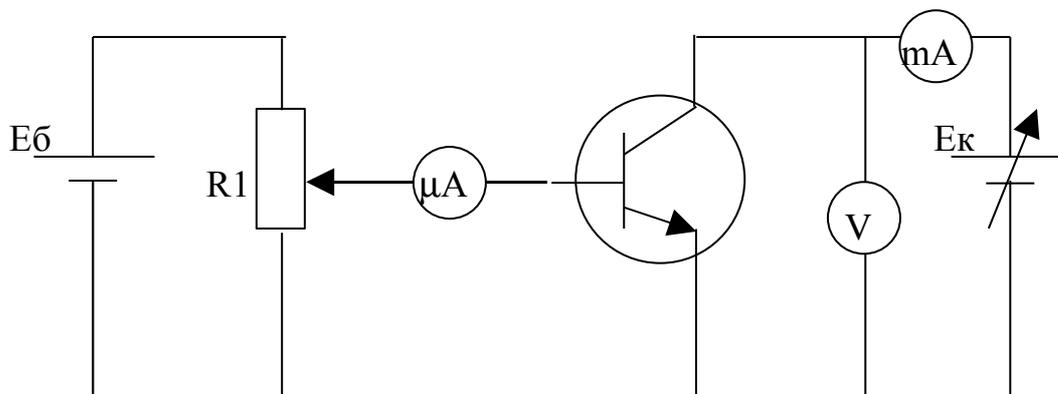


Рисунок 9 – Схема исследования выходных статических характеристик биполярного транзистора

- 3) При помощи ручки «R1» установите величину тока базы Iб (задается преподавателем). Занесите показания приборов в таблицу по форме таблицы 3. Затем, при помощи ручки «Eк» плавно увеличивайте величину тока коллектора Iк одновременно поддерживая ручкой «R1» заданную величину тока базы Iб. Показания заносите в таблицу 3.

Таблица 3 – Выходные статические характеристики биполярного транзистора

где ΔI_k , ΔI_b – приращения токов коллектора и базы, определяемые по выходным статическим характеристикам

Выходная проводимость транзистора

$$h_{22} = \Delta I_k / \Delta U_{kэ} \quad \text{при } I_b = \text{const} \quad (4)$$

где $\Delta U_{kэ}$ – приращение напряжения коллектор-эмиттер, определяемое по выходным статическим характеристикам

По входным статическим характеристикам проверить соблюдение уравнения:

$$U_1 = h_{11} \times I_1 + h_{12} \times U_2 \quad (5)$$

где U_1 – входное напряжение, В;
 I_1 – входной ток, А;
 U_2 – выходное напряжение, В.

По выходным статическим характеристикам проверить соблюдение уравнения:

$$I_2 = h_{21} \times I_1 + h_{22} \times U_2 \quad (6)$$

где I_2 – выходной ток, А.

5 Контрольные вопросы

- 1) Что называется биполярным транзистором?
- 2) Как устроен биполярный транзистор?
- 3) Объясните назначение основных частей транзистора?
- 4) В чем заключается принцип действия биполярного транзистора?
- 5) Каково отличие эмиттерного и коллекторного переходов транзистора?
- 6) Схемы включения биполярных транзисторов.
- 7) Статические характеристики биполярных транзисторов.
- 8) Режимы работы биполярных транзисторов.
- 9) Назначение H – параметров транзистора.
- 10) Как маркируются и обозначаются на схемах биполярные транзисторы?
- 11) В каких устройствах (применительно к специальности) используются биполярные транзисторы?

Список использованных источников

- 1 Основы промышленной электроники. /Под ред. В.Г. Герасимова/.- М.: Высшая школа,1986.-364с.
- 2 Лачин В.И. Электроника: учебное пособие для вузов/ В.И. Лачин, Н.С. Савелов - Ростов-на-Дону: Феникс,2000.-432с.
- 3 Прянишников В.А. Электроника: курс лекций/ В.А. Прянишников-Изд. 2-е, доп. - С.Пб.: КОРОНА принт,2000.-456с.
- 4 Горбачев Г.Н. Промышленная электроника/ Г.Н. Горбачев, Е.Е. Чаплыгин - М.: Энергоатомиздат,1988.-412с.

Приложение А

(рекомендуемое)

Инструкция по эксплуатации мультиметра М890G

А.1 Назначение

Мультиметр М890G предназначен для измерения величины постоянного и переменного напряжения, постоянного и переменного тока, сопротивления, емкости, частоты, температуры, проверки диодов и транзисторов. Величины выходного напряжения и выходного тока отображаются на цифровом жидкокристаллическом индикаторе. Вид отображаемой величины (ток, напряжение, сопротивление, частота или емкость) выбирается с помощью переключателя. На рисунке А.1 представлен внешний вид мультиметра М890G.



Рисунок А.1 – Внешний вид источника питания

Основные области применения: лабораторные исследования, также может применяться при испытаниях и ремонте радиоэлектронной аппаратуры, электронных и электрических изделий и т. п.

А.2 Технические данные

Мультиметр М890G позволяет осуществлять измерения в указанном в таблице А.1 диапазоне.

Таблица А.1

Параметр	Диапазон измерения
Постоянное напряжение	200 мВ - 1000 В $\pm 0.5\%$
Переменное напряжение	2 В - 700 В $\pm 0,8 \%$
Диапазон частот	40 - 400 Гц
Постоянный ток	2 мА - 20 А $\pm 0,8\%$
Переменный ток	20 мА - 20 А $\pm 1,2\%$
Диапазон частот	40 - 400 Гц
Сопротивление	200 Ом- 20 МОм $\pm 0.8\%$
Емкость	2 нФ - 20 мкФ $\pm 1.2\%$
Частота	20 КГц $\pm 1.0\%$
Температура	от -40 до 1000 $\pm 0.8\%$

А.3 Порядок проведения измерений

Для измерения величины сопротивления, постоянного и переменного тока и напряжения необходимо:

1. Присоединить соединительные провода к клеммам (в соответствии с указанными на них обозначениями). Если неизвестно измеряемое значение тока, то предварительно выбирается значение 20 А.

2. Выставить нужный предел измерения при помощи переключателя, причем предварительно выбирается наибольшее значение измеряемой величины (например, для постоянного напряжения следует начинать с 1000 В).

3. Включить прибор при помощи кнопки и произвести измерение.

4. При мигании знака «минус» в старшем разряде необходимо поменять местами соединительные провода.

Для измерения емкости конденсаторов необходимо совместить ножки конденсатора с разъемами на мультиметре и, предварительно выбрав наибольшее значение переключателем произвести замер емкости конденсатора.

При измерении частоты переменного тока следует помнить, что амплитуда напряжения не должна превышать 20 В.

Для проверки транзисторов необходимо совместить его разъемы с разъемами прибора и поставив переключатель в соответствующее положение сделать заключение об исправности, или неисправности транзистора.