

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Курганский государственный университет»

Кафедра автоматизации производственных процессов

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ДИОДОВ И ТРАНЗИСТОРОВ

Методические указания
к выполнению лабораторной работы по курсам
«Общая электротехника и электроника», «Электротехника и электроника»,
«Электроника и схемотехника»
для студентов направлений 220700.62 «Автоматизация технологических
процессов и производств», 220400.62 «Управление в технических системах»,
090303.65 «Информационная безопасность автоматизированных систем»,
231000.62 «Программная инженерия», 220301.65 «Автоматизация
технологических процессов и производств (в машиностроении)»
очной и заочной форм обучения

Курган 2013

Кафедра: «Автоматизация производственных процессов»

Дисциплины: «Общая электротехника и электроника», «Электротехника и электроника», «Электроника и схемотехника»

Составили: канд. техн. наук, доцент Б.П. Кудряшов
ст. преподаватель А.А. Иванов

Работа выполнена при равноценном участии авторов

Утверждены на заседании кафедры «3» июля 2013 г.

Рекомендованы методическим советом университета «30» августа 2013 г.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Исследовать характеристики диодов и транзисторов с целью закрепления теоретических знаний, полученных на лекциях.

1. КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ ИЗ ТЕОРИИ

1.1. Полупроводниковый диод

Диод - полупроводниковый прибор, который проводит электрический ток в одном направлении (от анода к катоду). Условное графическое обозначение диода в схемах и его вольтамперная характеристика (ВАХ) приведены на рис.1

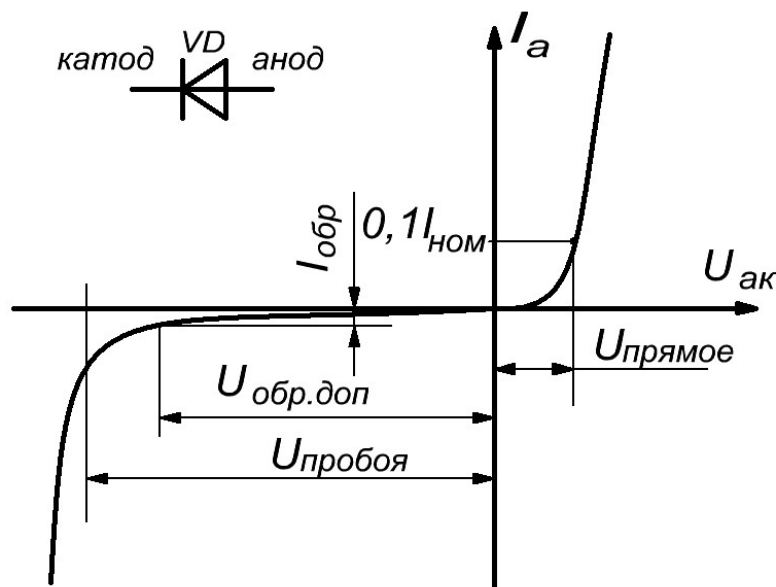


Рис.1. Обозначение полупроводникового диода и его ВАХ

Если приложить напряжение $U_{ак} > 0$, то диод будет открыт, и через него будет протекать прямой ток $I_{пр}$. Если $U_{ак} < 0$, то диод закрыт, но через него протекает обратный ток $I_{обр}$, который на несколько порядков меньше $I_{пр}$.

Режим работы диода определяется его вольтамперной характеристикой (ВАХ) $I = I(U_{ак})$, которая хорошо аппроксимируется экспоненциальной зависимостью:

$$I = I_{обр\ T}(T)(e^{U_{ак}/mU_T} - 1)$$

где $I_{обр\ T}$ - теоретический обратный ток; T - температура перехода диода в

градусах Кельвина; $U_T = kT/e_0 = \frac{1.38 \cdot 10^{-23}}{1.6 \cdot 10^{-19}} T$ - термический потенциал (при температуре перехода 20°C, $U_T = 25,5$ мВ); m - поправочный коэффициент Шокли (равный 1-2).

Данное уравнение хорошо описывает ВАХ реального диода в прямом направлении при небольших токах. Что же касается обратной ветви ВАХ, то реальный обратный ток значительно больше теоретического.

Параметры диодов, а также рабочие и предельные эксплуатационные режимы приводятся в справочной литературе и datasheets. При проектировании электронных устройств необходимо помнить о зависимости прямого падения напряжения от температуры, которая приближенно равна:

$$\frac{dU_{ак}}{dT} \approx -\frac{2\text{мВ}}{\text{К}} \text{ при } (I_{пр} = const);$$

Прямое падение напряжения на диоде зависит также от рабочего прямого тока

$$\Delta U_{пр} = U_{пр1} - U_{пр2} = mU_T \ln \frac{I_1}{I_2}$$

Прямое падение напряжения на германиевом диоде для тока, равного 10% от номинального, составляет, примерно, 0,35 В, а для кремниевого при тех же условиях, примерно, 0,61 В, для диода Шоттки порядка 0,15В.

Обратный ток через диод также зависит от температуры, и удваивается при увеличении последней на 10°К.

В соответствии с вышеизложенным, диоды обычно используются для выпрямления сигналов переменного тока, а также в схемах демодуляторов, фиксаторов уровня, логических элементах и т.д.

Выбирать диод для той или иной схемы необходимо по следующим параметрам:

- обратному напряжению,
- прямому номинальному току,
- прямому падению напряжения,
- обратному току,

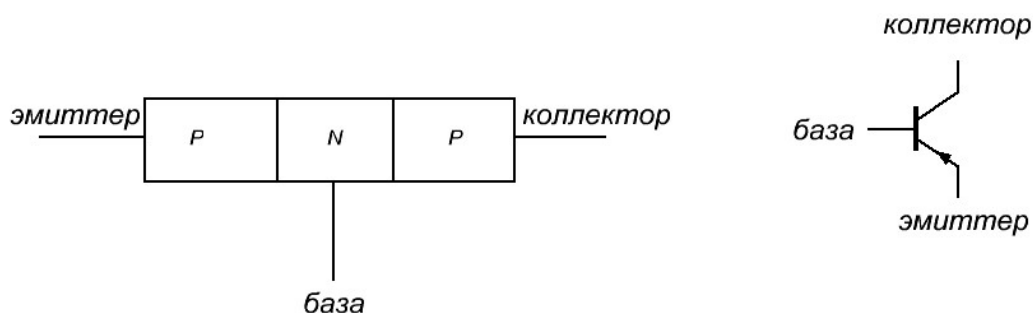
а в высокочастотных схемах также по предельной частоте выпрямления,

собственной емкости, времени рекомбинации заряда и т.д.

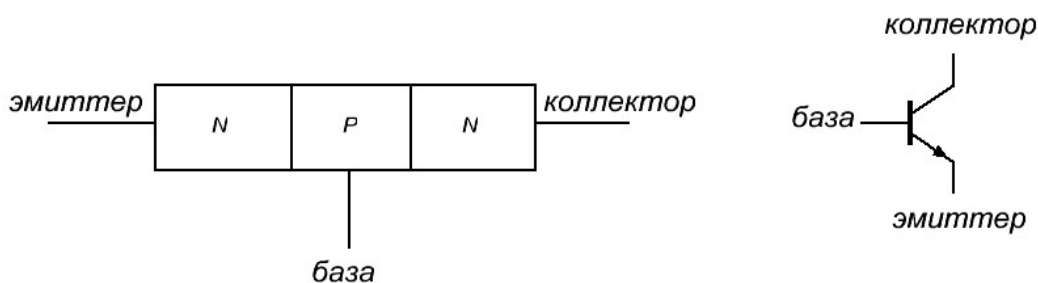
1.2 Транзистор

Транзистор - это полупроводниковый прибор, имеющий два перехода и предназначенный для усиления и генерирования электрических сигналов, а также для переключения тока. Изменение тока во входной цепи транзистора вызывает изменение тока в его выходной цепи.

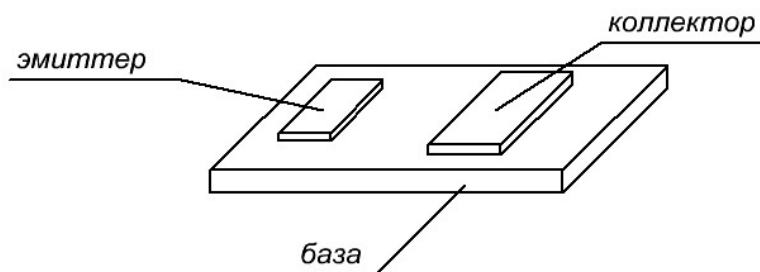
Биполярные транзисторы делятся на два типа: $n-p-n$ и $p-n-p$ (рис. 2).



а) транзистор $p-n-p$



б) транзистор $n-p-n$



в) структура планарного транзистора

Рис. 2. Структуры транзисторов и их условное обозначение.

Иногда их называют транзисторами обратной проводимости и прямой проводимости соответственно. Примеры корпусов транзисторов приведены на рис.3.

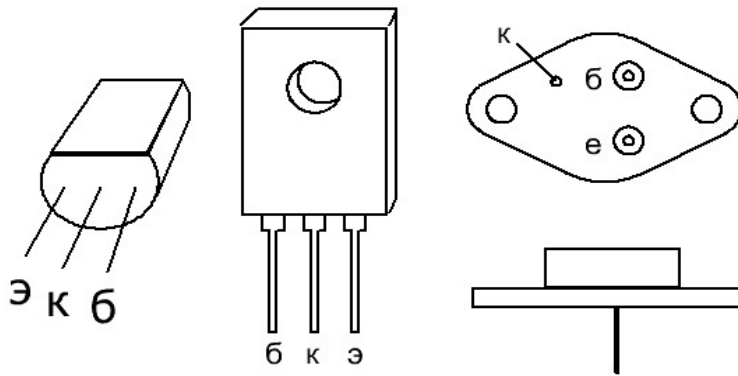


Рис 3. Конструктивное оформление транзисторов.

Центральный слой транзистора называется базой. Один из наружных слоев, являющийся источником зарядов (электронов или дырок), создающий ток в приборе, называется эмиттером, другой наружный слой - коллектором.

Как видно из рис. 2 транзистор - прибор симметричный, однако из-за различного смещения переходов его свойства в прямом и инверсном включении неравноценны.

Для анализа работы транзистора и определения его параметров используют семейства входных и выходных характеристик (рис. 4).

В режиме усиления малого сигнала транзистор обычно рассматривается как линейный четырехполюсник, параметры которого связаны с параметрами транзистора в соответствии с выражениями:

$$r_{бэ} = h_{11э};$$

$$S_{обр} = h_{12э}/h_{11э} \approx 10^{-3} - 10^{-4};$$

$$S = h_{21э}/h_{11э} = \beta/r_{бэ};$$

$$r_{кэ} \approx 1/h_{22э}$$

где:

$$r_{бэ} = \frac{dU_{бэ}}{dI_б} = \frac{\beta U_T}{I_э} \quad (\text{при } U_{кэ} = const)$$

- входное дифференциальное сопротивление перехода база - эмиттер;

$S_{обр}$ - коэффициент внутренней отрицательной обратной связи;

$$S = \frac{dI_k}{dU_{бэ}} = I_k/U_T \quad (\text{при } U_{кэ} = const)$$

- крутизна;

$$\beta = \frac{dI_k}{dI_б} \quad (\text{при } U_{кэ} = const)$$

-динамический коэффициент усиления по току;

$$r_{кэ} = \frac{dU_{кэ}}{dI_к} \quad (\text{при } U_{бэ} = const)$$

-выходное дифференциальное сопротивление коллектора.

Параметры четырехполюсника можно определить, используя входные и выходные характеристики транзистора методом характеристического треугольника, построенного вблизи рабочей точка (А) (см. рис.4).

$$h_{11э} = \left| \frac{\Delta U_{бэ}}{\Delta I_б} \right| = r_{бэ} \quad (\text{при } U_{кэ} = const);$$

$$h_{12э} = \left| \frac{\Delta U_{бэ}}{\Delta U_{кэ}} \right| \approx 0 \quad (\text{при } I_б = const);$$

$$h_{21э} = \left| \frac{\Delta I_к}{\Delta I_б} \right| \approx \beta \quad (\text{при } U_{кэ} = const);$$

$$h_{22э} = \left| \frac{\Delta I_к}{\Delta U_{кэ}} \right| \approx \frac{1}{r_{кэ}} \quad (\text{при } I_б = const).$$

Входные и выходные характеристики наиболее часто применяемых транзисторов общего назначения, приводятся в справочниках и dataheets, там же можно найти и значения h – параметров и физических параметров транзисторов, а также предельные эксплуатационные параметры.

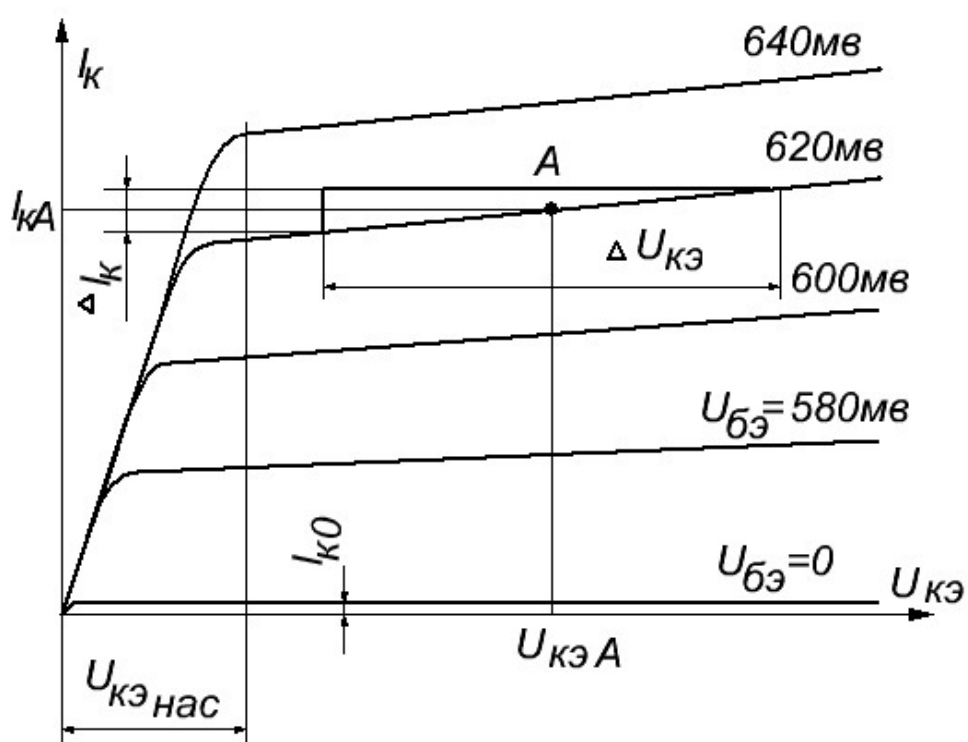
При проектировании и расчете транзисторных схем необходимо учитывать, что напряжение перехода база - эмиттер $U_{бэ}$ при постоянном токе базы зависит от температуры :

$$\Delta U_{бэ} = -2 \frac{mB}{K}$$

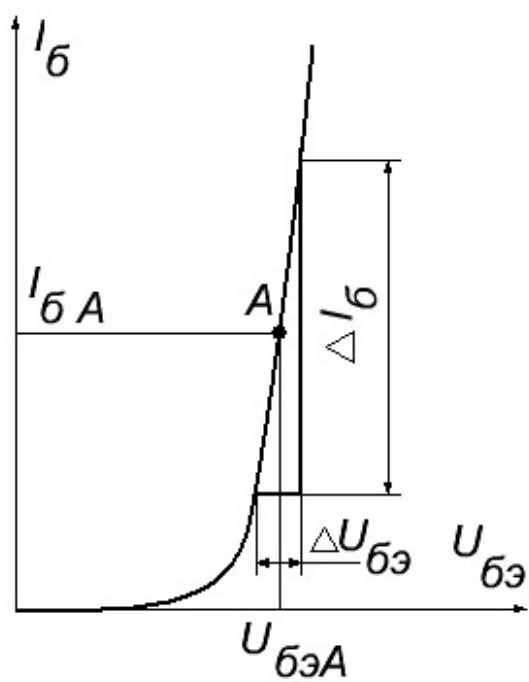
Из уравнения Эберса-Молла для транзистора следует, что

$$\Delta U_{бэ} = U_T \ln \frac{I_{к2}}{I_{к1}}$$

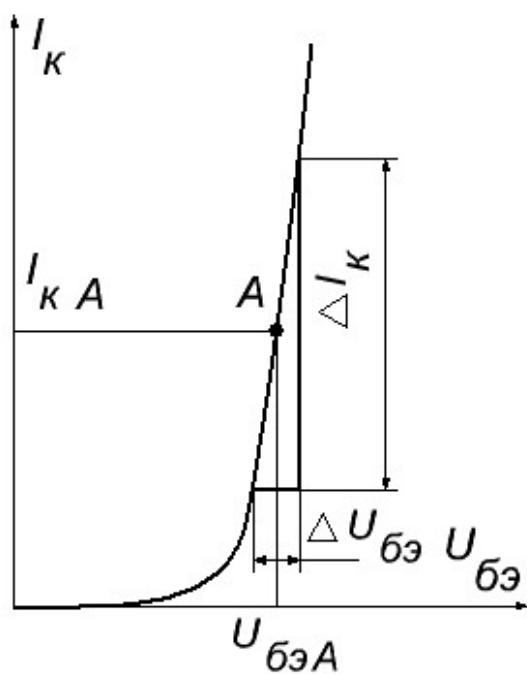
Это означает, что ток коллектора увеличивается в 10 раз при увеличении напряжения на переходе база-эмиттер на 60 мВ.



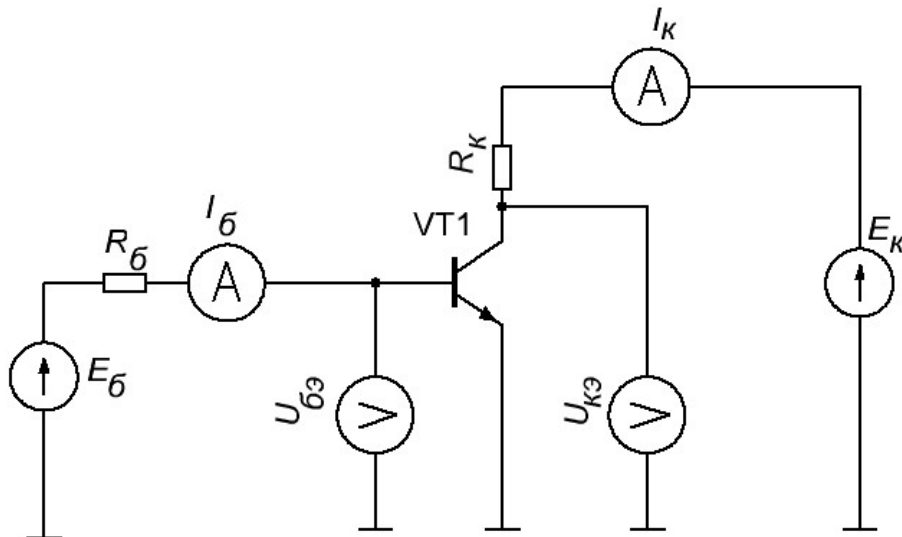
а. семейство выходных характеристик



б. входная характеристика



в, переходная характеристика



г, Схема для снятия характеристик транзисторов

Рис. 4. Характеристики транзистора и схема для их снятия.

а- семейство выходных характеристик; б- входная характеристика;
в- переходная характеристика; г- схема снятия характеристик.

2. ЛАБОРАТОРНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

Для выполнения лабораторной работы требуются:

- 1) электронный осциллограф, (USB-осциллограф),
- 2) ампервольтметр цифровой, (USB-осциллограф),
- 3) функциональный генератор, (ПК с программой функционального генератора),
- 4) специальный стенд.
- 5) Работа может выполняться также в среде **Electronics Workbench** на ПК.

3. ЗАДАНИЕ

Часть 1. Диоды

1.Собрать схему рис.5 для снятия прямой ветви вольтамперной характеристики полупроводникового диода.

2. Снять ВАХ диода путем дискретного изменения питающего напряжения от 0 до 15 В. Величину тока $I_{пр}$ рассчитывать по падению напряжения на балластном резисторе $R_б$. Напряжения измерять записывая не менее 3-х значащих цифр. Снятые показания свести в таблицу.

3. По результатам опыта построить ВАХ диода. Сравнить полученные значения ($U_{пр}$, $I_{пр}$, $I_{обр}$) со справочными данными.

4. Сменить полярность питающего схему напряжения и измерить обратный ток диода.

5. Исследуйте схему двухполупериодного выпрямителя на полупроводниковых диодах (рис.6). На выходных клеммах (выводы резистора) посмотрите с помощью осциллографа форму напряжения, измерьте его амплитуду, частоту при отключенном конденсаторе С. Обратите внимание на форму напряжения вблизи уровня 0В. Подключите конденсатор С и снова посмотрите форму напряжения на экране осциллографа. Объясните наблюдаемый эффект.

6. На схему рис.7 подайте напряжение прямоугольной формы частотой порядка 10 Гц, амплитудой 3- 4 вольта. Наблюдайте сигналы до и после диода. Объясните в чем смысл этой цепи? Зачем нужен резистор R2?

7. На вход схемы рис.8 подайте синусоидальный сигнал. Плавно меняйте его амплитуду и наблюдайте сигнал на выходе схемы. Объясните работу схемы.

8. Сформулируйте и запишите выводы по проделанной работе.

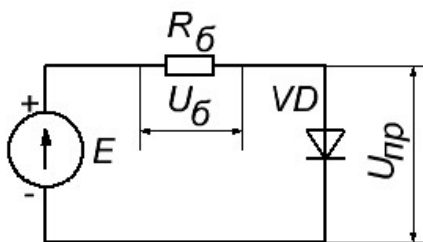


Рис. 5. Схема для снятия ВАХ диода

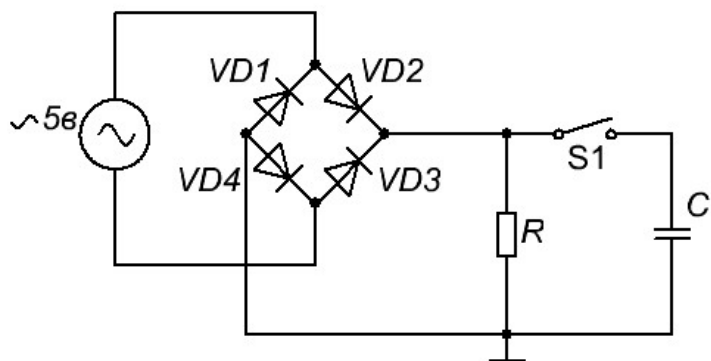


Рис. 6. Двухполупериодный выпрямитель

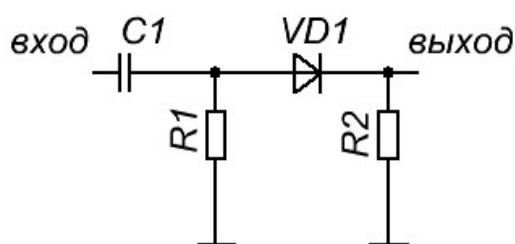


Рис. 7. Дифференцирующая цепь с выпрямителем

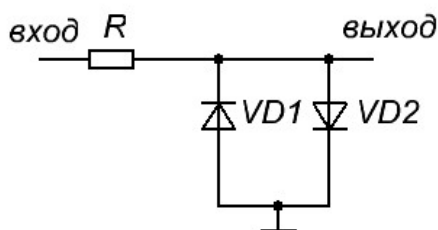


Рис. 8. Диодный ограничитель

Часть 2. Транзисторы

1. Используя схему рис. 4 г. снимите входные и выходные характеристики транзистора. Ток базы изменяйте от нуля через $\Delta I_6 [\mu A]$ путем изменения напряжения U_1 . Значения тока рассчитываются по формуле

$$I_6 = \frac{U_1 - U_{6э}}{R_6}$$

Напряжение $U_{кэ}$ устанавливается изменением напряжения U_2 . Ток

коллектора I_k рассчитывается по формуле

$$I_k = \frac{U_2 - U_{кэ}}{R_k}$$

Изменяя напряжение E_k , снимите выходную характеристику при $I_б = 0$. Затем снимите характеристики при токах базы $\Delta I_б$, $2\Delta I_б$, $3\Delta I_б$. Полученные данные сведите в таблицу.

2. Постройте семейство выходных характеристик и входную характеристику.

3. Задайтесь значением $U_{кэА} = 4 \dots 8$ В, постройте характеристические треугольники и рассчитайте параметры $r_{кэ}$, $r_{бэ}$, $h_{12э}$, $h_{21э}$, $h_{22э}$, β , S .
Объясните полученные результаты в выводах.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. В чем заключается принцип действия полупроводникового диода?
2. Что такое дифференциальное сопротивление диода?
3. Объясните ход вольтамперной характеристики диода.
4. Для каких целей применяются диоды?
5. По каким параметрам выбираются диоды для двухполупериодного выпрямителя?
6. Каково влияние температуры на параметры диода?
7. Что такое транзистор и для чего он применяется?
8. Чем отличаются транзисторы $n-p-n$ и $p-n-p$
9. Что такое $h_э$ – параметры транзистора?
10. Какая связь между $h_э$ - параметрами и физическими параметрами транзисторов?
11. Каково соотношение между токами эмиттера, коллектора и базы?
12. Как влияет температура на параметры транзисторов?

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. У. Хоровиц, П. Хилл. Искусство схемотехники. М.: Мир, 2003. – 704с
2. Лачин В.И. Электроника: учебное пособие для студентов вузов, / В. И. Лачин, Н. С. Савелов. - Ростов н/Д: Феникс, 2002-2007. – 703с.
3. Гусев В.Г.Г. Электроника и микропроцессорная техника : учебник для студентов вузов / В. Г. Гусев, Ю. М. Гусев. - М.: Высшая школа, 2005. - 792 с.:
4. Миловзоров О.В. Электроника: Учебник для вузов/ О.В. Миловзоров, И.Г. Панков. - М.: Высшая школа, 2004-2005. - 288 с.
5. Немцов М.В. Электротехника и электроника : учебник для вузов / М. В. Немцов. - М.: Издательство МЭИ, 2003. – 596с.
6. Жаворонков М.А. Электротехника и электроника : учебное пособие для студентов вузов. - М.: Академия, 2005. – 394с.

Кудряшов Борис Петрович

Иванов Алексей Александрович

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ДИОДОВ И ТРАНЗИСТОРОВ

Методические указания

к выполнению лабораторной работы по курсам

«Общая электротехника и электроника», «Электротехника и электроника»,
«Электроника и схемотехника»

для студентов направлений 220700.62 «Автоматизация технологических процессов и производств», 220400.62 «Управление в технических системах», 090303.65 «Информационная безопасность автоматизированных систем», 231000.62 «Программная инженерия», 220301.65 «Автоматизация технологических процессов и производств (в машиностроении)»
очной и заочной форм обучения

Авторская редакция

Подписано к печати 08.11.13	Формат 60x84 1/16	Бумага тип. № 1
Печать цифровая	Усл. печ. л. 1,0	Уч.-изд. л. 1,0
Заказ 187	Тираж 20	Не для продажи

Редакционно-издательский центр КГУ.
640669, г. Курган, ул. Гоголя, 25.
Курганский государственный университет.