

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Локтионова Оксана Геннадьевна
Должность: проректор по учебной работе
Дата подписания: 29.05.2024 21:59:53
Уникальный программный ключ:
0b817ca911e6668abb13a5d426d39e5f1c11eabbf73e943df4a4851fda56d089

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Юго-Западный государственный университет»
(ЮЗГУ)

Кафедра космического приборостроения и систем связи

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной работе
О.Г. Локтионова
« 17 » 01 2022 г.



ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЛЬТ-АМПЕРНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОЛУПРОВОДНИКОВ

Методические указания к лабораторным занятиям по дисциплине
«Физические основы электроники»

УДК 681.5

Составители: Е.О. Брежнева, О.Г. Бондарь

Рецензент

Доктор технических наук, профессор кафедры вычислительной техники *И.Е. Чернецкая*

Исследование вольт-амперных характеристики полупроводников: методические указания к лабораторным занятиям по дисциплине «Физические основы электроники»/ Юго-Зап. гос. ун-т; сост.: Е.О. Брежнева, О.Г. Бондарь – Курск, 2022. – 25 с.: ил. 14., табл. 3.: Библиогр.: с. 24.

Излагаются краткие теоретические сведения о типах газочувствительных датчиков и их основных параметрах. Приведены контрольные вопросы и задания.

Методические указания соответствуют требованиям программы, утвержденной учебно-методическим объединением по специальностям автоматике и электроники (УМО АЭ).

Предназначены для бакалавров направления подготовки 11.03.03 «Конструирование и технология электронных средств».

Текст печатается в авторской редакции

Подписано в печать 17.01.2021 . Формат 60×84 1/16.
Усл. печ. л. 1,45. Уч.- изд. л. 1,32. Тираж 30 экз. Заказ 663 . Бесплатно.

Юго-Западный государственный университет.
305040, г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94

СОДЕРЖАНИЕ

1. ОСНОВНЫЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ	5
1.1 Стабилитроны	5
1.2 Биполярные транзисторы	7
2. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ	17
3. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ	22
4. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА.....	23
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	24
ПРИЛОЖЕНИЕ А	25

ВВЕДЕНИЕ

Целью лабораторной работы является формирование навыков исследования и изучение вольт-амперных характеристик полупроводников (биполярных транзисторов и стабилитронов), освоение принципов работы модульной образовательной лабораторно-технической платформы *NI ELVIS II* и исследования характеристик электронных устройств на ее базе.

1. ОСНОВНЫЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1 Стабилитроны

Стабилитроном называется кремниевый полупроводниковый диод, работающий в режиме электрического пробоя и предназначенный для стабилизации выходного напряжения. Прямая ветвь ВАХ стабилитрона не отличается от характеристики кремниевого диода. Рабочим является участок электрического пробоя на обратной ветви ВАХ. Основные параметры стабилитрона: **напряжение стабилизации** U_{cm} при протекании заданного номинального тока стабилитрона I_{cm} ; **максимальный** $I_{cm.max}$ и **минимальный** $I_{cm.min}$ – предельно допустимые значения тока стабилитрона; **дифференциальное** сопротивление стабилитрона r_{cm} , которое определяется как отношение приращения напряжения ΔU_{cm} к вызвавшему его приращению тока ΔI_{cm} на участке пробоя: $r_{cm} = \Delta U / \Delta I$, которое должно быть возможно меньше. Этот параметр характеризует качество стабилитрона, то есть способность стабилизировать выходное напряжение при изменении проходящего тока; чем меньше дифференциальное сопротивление, тем выше качество стабилитрона; **температурный коэффициент** напряжения стабилизации α_{cm} :

$$\alpha_{cm} = \frac{\Delta U_{cm}}{U_{cm} \cdot \Delta T} \cdot 100\%$$

Промышленностью выпускаются стабилитроны с параметрами: U_{cm} от 1,5 до 180 В, токи стабилизации от 0,5 мА до 1,4 А; $\alpha_{ст}$ от 0,05 до 0,15 %/К; r_{∂} от долей и единиц ома (у мощных стабилитронов) до сотен и даже тысяч ом (у высоковольтных маломощных стабилитронов). Особую группу составляют прецизионные стабилитроны, имеющие $\alpha_{ст}$ до 0,0005 %/К, т.е. в сотни раз ниже, чем обычные. Их используют в качестве источников опорного напряжения. На рисунке 1 представлена ВАХ стабилитрона и его условно-графическое обозначение.

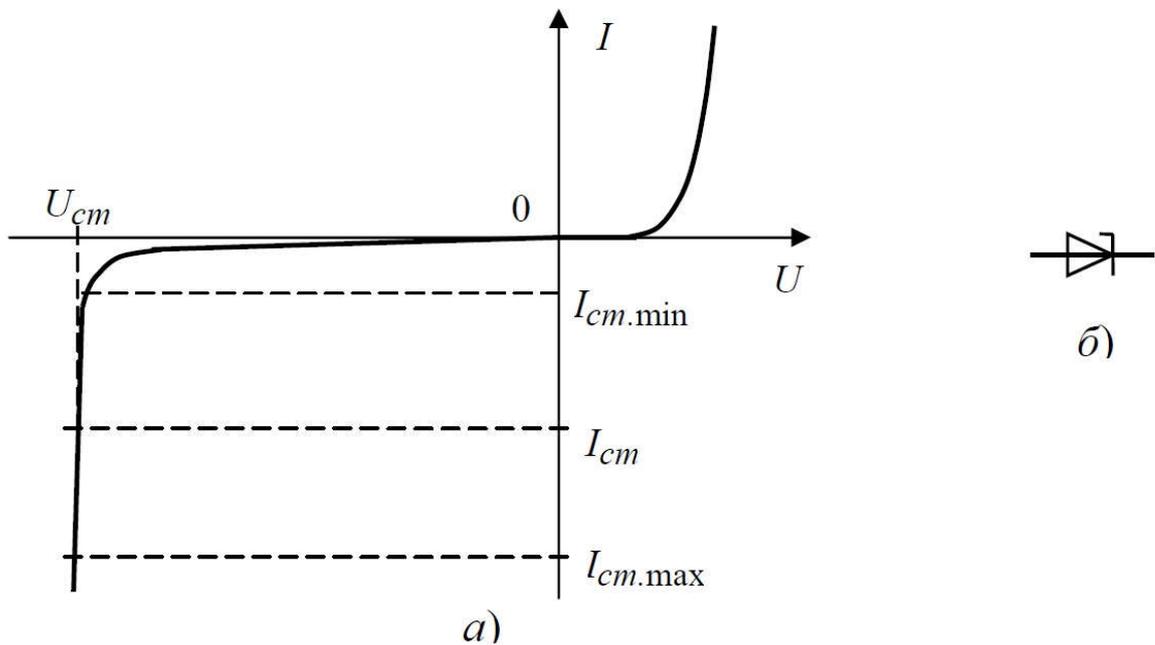


Рисунок 1 – а) ВАХ стабилитрона, б – УГО стабилитрона

1.2 Биполярные транзисторы

В 1948 году Д. Бардин и В. Брайтен обнаружили, что полупроводниковые устройства с двумя $p-n$ переходами способны создавать усиление электрических колебаний по мощности. Они назвали это устройство транзистором (от английских слов “transfer” – преобразователь и “resistor” – сопротивление).

В настоящее время промышленность выпускает плоскостные транзисторы, представляющие собой монокристалл полупроводника, в котором две области с проводимостью одного типа разделены областью с проводимостью противоположного типа. Таким образом, могут быть получены структуры $p-n-p$ и $n-p-n$ типа (рисунок 2). Между областями с разными типами проводимости образуются $p-n$ переходы. $P-n$ переход, образующийся между эмиттером и базой, называется эмиттерным переходом (ЭП); переход, образующийся между базой и коллектором, называют коллекторным переходом (КП).

Дырки (в $p-n-p$ транзисторе), создающие эмиттерный ток, из области эмиттера попадают в очень узкую (10-50 мкм) n -область базы, откуда большая их часть (95-99%) проходит в p -область к коллектору, образуя коллекторный ток I_k . Остальные дырки образуют ток базы I_b . Для суммы всех токов с учетом их направлений (рисунок 3, а) справедливо равенство $I_э + I_b + I_k = 0$. Следует помнить, что ток, направленный к транзистору, считается положительным, от транзистора – отрицательным, причем направление тока опре-

деляется направлением движения положительных зарядов. Транзистор, выполняя те же функции, что и электронная лампа – триод, обладает целым рядом преимуществ: отсутствием цепи накала, более высоким КПД, малыми размерами, весом и др.

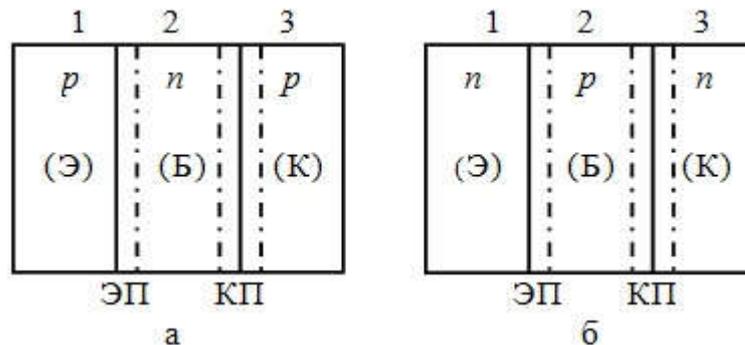


Рисунок 2 - Транзисторы $p-n-p$ (а) и $n-p-n$ (б) типа. Каждая область имеет свое название: область 1 – эмиттер (Э), область 2 – база (Б), область 3 – коллектор (К)

Физические основы работы транзисторов

Рассмотрим физические основы работы так называемых биполярных транзисторов, т. е. таких, в которых ток обусловлен движением как основных, так и неосновных носителей заряда. Будем рассматривать транзистор $p-n-p$ типа, в работе которого основную роль играют дырки. Физические основы $n-p-n$ транзистора аналогичны основам работы $p-n-p$ транзистора, но в нем основную роль играют электроны.

На рисунке 2 изображен биполярный транзистор, включенный по схеме с общей базой (рисунок 2, а) и его условное обозначение (рисунок 2, б). Левый $p-n$ переход включен в прямом направ-

лении. При этом через него течет большой ток основных носителей – дырок. Левая p -область инжектирует дырки в соседнюю n -область. Эта p -область, играющая роль катода в ламповом триоде, называется эмиттером. Попавшие в n -область, называемую базой, дырки с помощью диффузионного механизма перемещаются к правому p - n переходу, включенному в обратном направлении. Часть дырок в базе рекомбинирует с электронами. Оставшаяся часть достигает правого p - n перехода. Так как дырки в n -области являются неосновными носителями, а правый p - n переход включен в обратном направлении, то под действием ускоряющего поля правого p - n перехода дырки втягиваются в p -область.

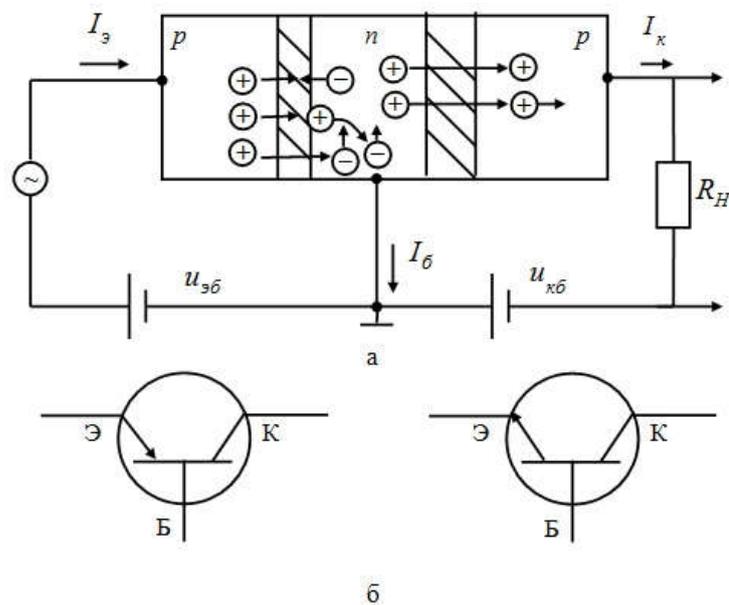


Рисунок 3 – Биполярный транзистор: а – схема включения с общей базой; б – условное обозначение транзистора, p - n - p типа (слева) и n - p - n типа (справа)

Эта p -область, собирающая дырки, называется коллектором. База и коллектор играют соответственно роль сетки и анода в ламповом триоде.

Усилительные свойства транзистора возникают в результате взаимосвязи токов эмиттера и коллектора. Определим условия, при которых эти взаимодействия имеют место. Предположим, что толщина материала базы велика по сравнению с диффузионной длиной.

При этом помним, что носитель заряда в полупроводнике от момента рождения до момента рекомбинации проходит в среднем определенное расстояние, называемое диффузионной длиной. Это означает, что дырка, инжектированная в базу, не доберется до коллектора из-за того, что она рекомбинирует в пути. Таким образом, ток эмиттера не достигнет коллекторного p - n перехода и ни о какой взаимосвязи тока эмиттера и коллектора не может быть и речи. Для того чтобы такое взаимодействие имело место, нужно свести к минимуму рекомбинацию носителей в базе. Это может быть достигнуто в основном двумя путями:

- 1) толщина базы делается очень малой ($\sim 10^{-6}$ м), меньше, чем диффузионная длина носителей;

- 2) степень легирования материала базы делается малой (меньше степени легирования областей эмиттера и коллектора). В результате рекомбинация сводится к минимуму и ток эмиттера почти без потерь достигает коллектора. Таким образом,

$$I_{\text{Э}} \approx I_{\text{К}}. \quad (1)$$

Приближенное равенство (1) позволяет объяснить работу транзистора как усилителя.

Коэффициент усиления определяется формулой

$$K_A = \frac{A_{\text{вых}}}{A_{\text{вх}}}, \quad (2)$$

где буквой A обозначен какой-либо из параметров выходного и входного сигналов: ток (I), напряжение (U), мощность (P).

Очевидно, коэффициент усиления по току в схеме с общей базой $\alpha = K_I < 1$ из-за неизбежной, хотя и малой рекомбинации в базе. Обычно α лежит в пределах $0,9 \dots 0,995$. Другая ситуация имеет место с напряжением. Так как эмиттерный переход включен в прямом направлении, его дифференциальное сопротивление $r_{\text{Э}}$ мало. Дифференциальное сопротивление коллекторного перехода $r_{\text{К}}$ очень велико (он включен в обратном направлении). Так как $I_{\text{Э}} \approx I_{\text{К}}$, то небольшое входное напряжение преобразуется в значительное выходное. Энергия для такого преобразования отбирается у источников питания, а сам транзистор выступает в качестве активного элемента (преобразователя).

Поскольку $U_{\text{ВЫХ}} = I_{\text{К}} \cdot R_{\text{Н}}$ ($R_{\text{Н}}$ – сопротивление нагрузки), а $U_{\text{ВХ}} = I_{\text{Э}} \cdot r_{\text{Э}}$, то при сопротивлении нагрузки существенно меньшем $r_{\text{К}}$:

$$K_U \approx \frac{U_{ВЫХ}}{U_{ВХ}} = \frac{I_K \cdot R_H}{I_{\mathcal{E}} \cdot r_{\mathcal{E}}} = \frac{R_H}{r_{\mathcal{E}}} \gg 1 \quad (3)$$

В этой схеме коэффициент усиления мощности также много больше единицы

$$K_P \approx \frac{P_{ВЫХ}}{P_{ВХ}} = \frac{I_K^2 \cdot R_H}{I_{\mathcal{E}}^2 \cdot r_{\mathcal{E}}} = \frac{I_K \cdot R_H}{I_{\mathcal{E}} \cdot r_{\mathcal{E}}} \cdot \frac{I_K}{I_{\mathcal{E}}} = \alpha \cdot K_U \quad (4)$$

Следует отметить, что кроме рассмотренной схемы включения с общей базой, существуют и другие схемы включения (рисунок 4).

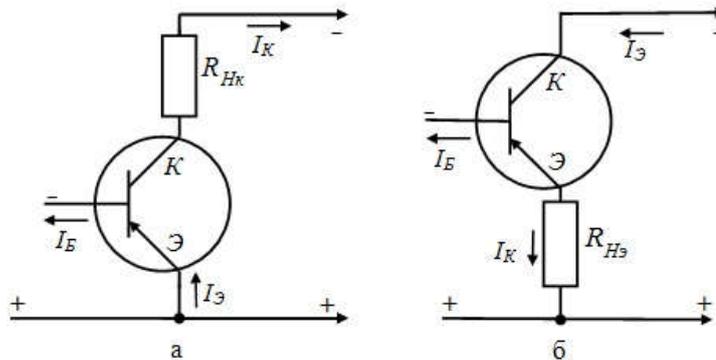


Рисунок 4 – Включения *p-n-p* транзистора по схеме с общим эмиттером (а) и общим коллектором (б)

В схеме с общим эмиттером (рисунок 3, а) входной сигнал подается между эмиттером и базой, а снимается с резистора, подключенного к выходам эмиттера и коллектора. Входным током яв-

ляется ток базы. Последнее вызывает инжекцию носителей из эмиттера и большой коллекторный ток $I_{\mathcal{E}} \approx I_K$. Это обстоятельство объясняет механизм усиления тока по схеме с общим эмиттером. При этом

$$\beta = K_I \approx \frac{I_K}{I_B} = -\frac{I_K}{I_{\mathcal{E}} - I_K} = \frac{1}{\left(\frac{I_{\mathcal{E}}}{I_K}\right) - 1} = \frac{1}{\left(\frac{1}{\alpha}\right) - 1} = \frac{\alpha}{1 - \alpha}.$$

Учитывая, что α лежит в пределах $0,9 \dots 0,995$ получим $\beta \approx 10 - 200$. В таблице 1 приведены параметры транзисторов для различных схем включения.

Статические характеристики транзистора могут задаваться соответствующими аналитическим выражениями, а могут быть представлены графически. Поскольку функции двух переменных графически представляются поверхностью, то при изображении на плоскости их представляют в параметрической форме (изолиниями, полученными при фиксации одного из аргументов – параметра). Несколько характеристик одного типа, полученные при различных значениях параметра и образуют семейство характеристик. Семейства входных и выходных характеристик транзистора считаются основными и приводятся в справочниках (рисунок 5). С их помощью легко могут быть получены два других семейства характеристик. В различных схемах включения транзистора в качестве входных и выходных токов и напряжений выступают токи, проте-

кающие в цепях различных электродов, и напряжения, приложенные между различными электродами. Поэтому конкретный вид статических характеристик зависит от схемы включения транзистора.

В схеме с ОЭ входным током является ток базы I_b , а выходным – ток коллектора, соответственно, входным напряжением является напряжение $U_{бэ}$, а выходным – напряжение $U_{кэ}$.

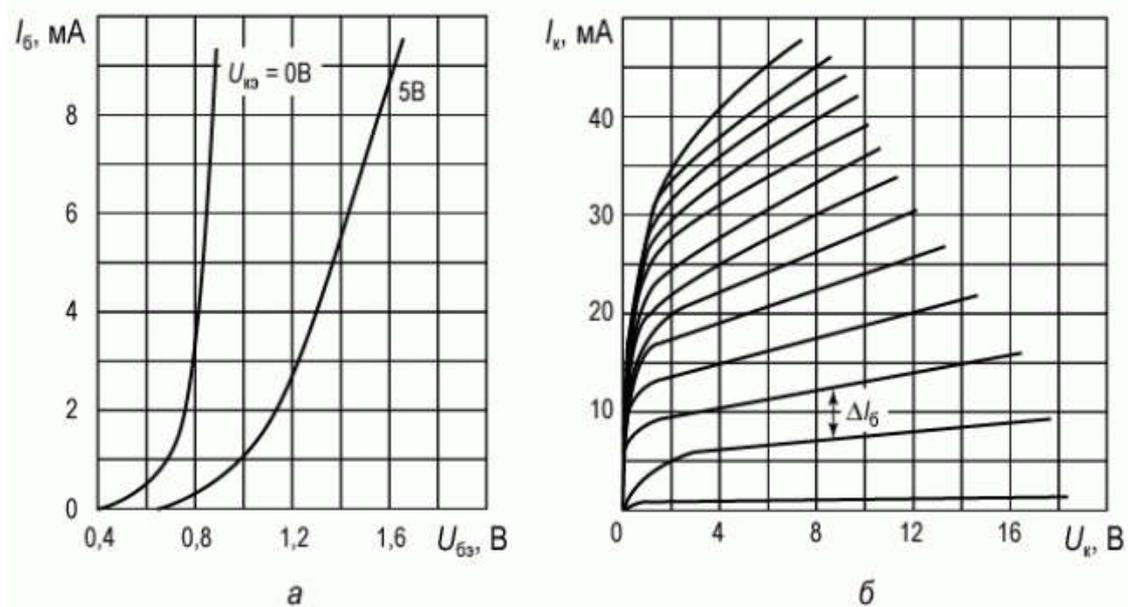


Рисунок 5 – Вольтамперные характеристики биполярного транзистора КТ215В, включенного по схеме с общим эмиттером: а) входные характеристики; б) выходные характеристики

Справочная информация

На рисунке 6 представлена схема биполярного транзистора КТ6116.

КТ6116

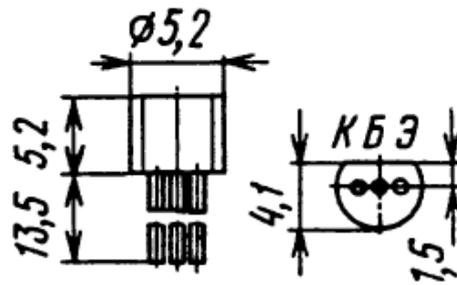


Рисунок 6 - Цоколевка транзистора КТ6116

Чтобы определить выводы транзистора, необходимо разместить его, как на рисунке 6, срезом вверх, ножками от себя (слева находится коллектор, справа эмиттер). Подключаем на плате в соответствии с рисунком 7 слева на панели прибора (р-п-р).



Рисунок 7 – Подключение БТ на панели NI ELVIS II

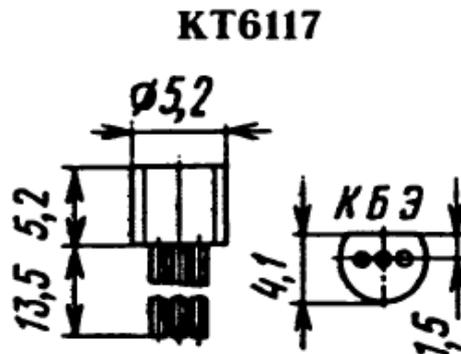
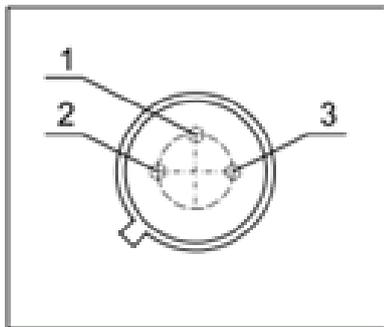


Рисунок 8 - Цоколевка транзистора **КТ6117**

В приложении таблицах А1 и А2 представлены параметры транзисторов.

На рисунке 9 представлены вид сверху (а) и внешний вид транзистора КТ3117 n-p-n типа в корпусе КТ1-7 (б).



а



б

Рисунок 9 – Корпус КТ1-7: 1 – база, 2 – эмиттер, 3 – коллектор

В приложении в таблице А3 приведены основные электрические параметры КТ3117А1 при $T_{\text{окр. среды}} = 25 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

2. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Установить стабилизатор на стенде в соответствии с рисунком 10.

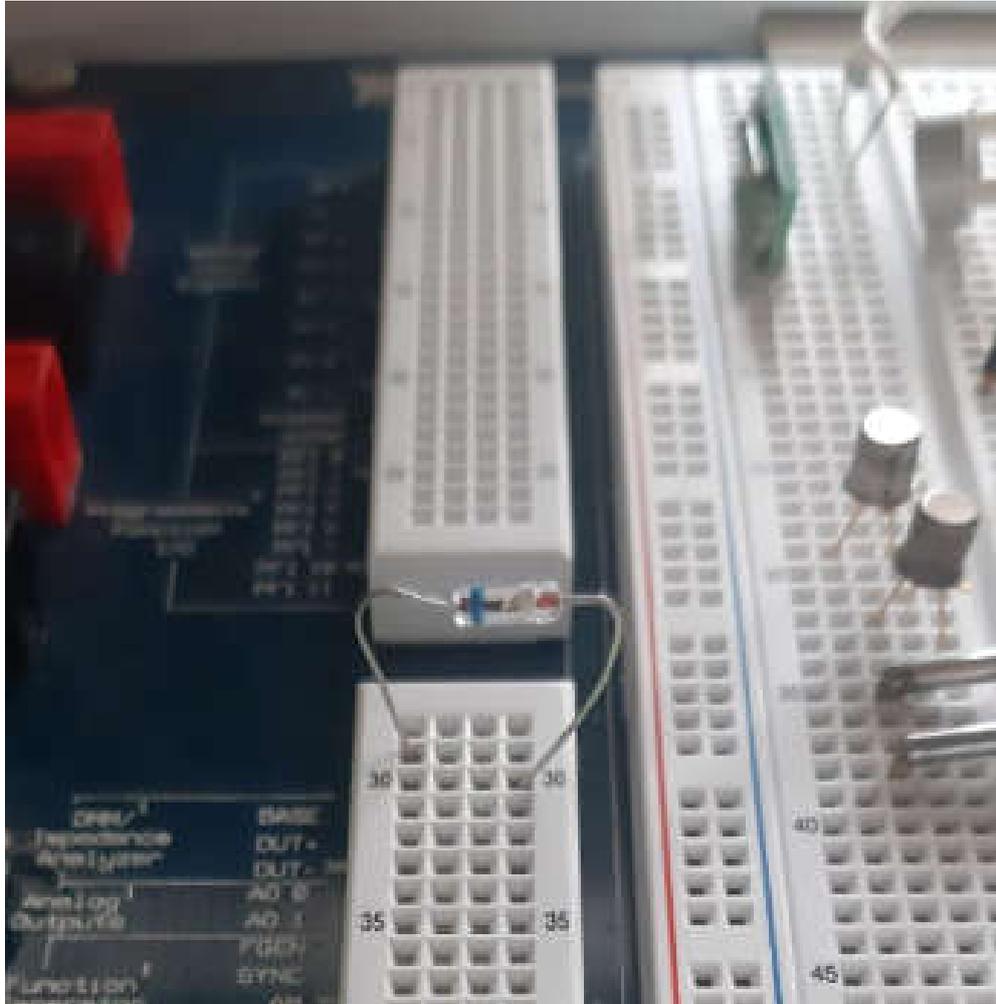


Рисунок 10 – Установка стабилизатора на стенде

2. В режиме 2-Wire построить обратную ветвь ВАХ стабилизатора. Установки приборной панели должны соответствовать рисунку 11. Определить напряжение стабилизации и полярность стабилизатора.

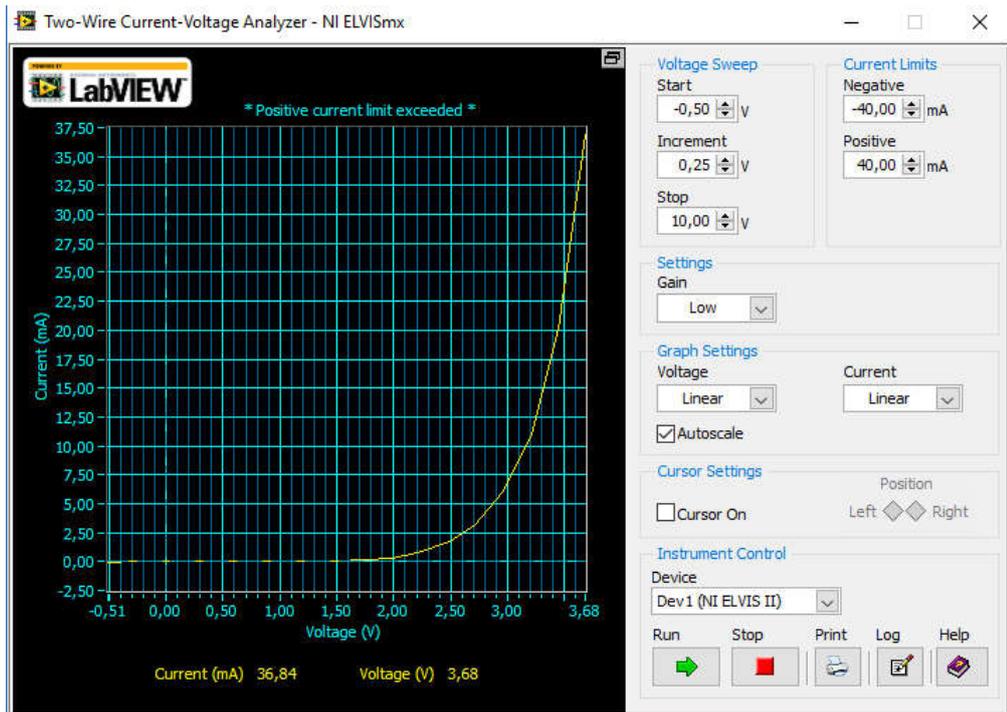


Рисунок 11 – Построение обратной ветви ВАХ стабилитрона

3. Для построения прямой ветви ВАХ, поменять местами выходы на панели и запустить симуляцию (рисунок 12).

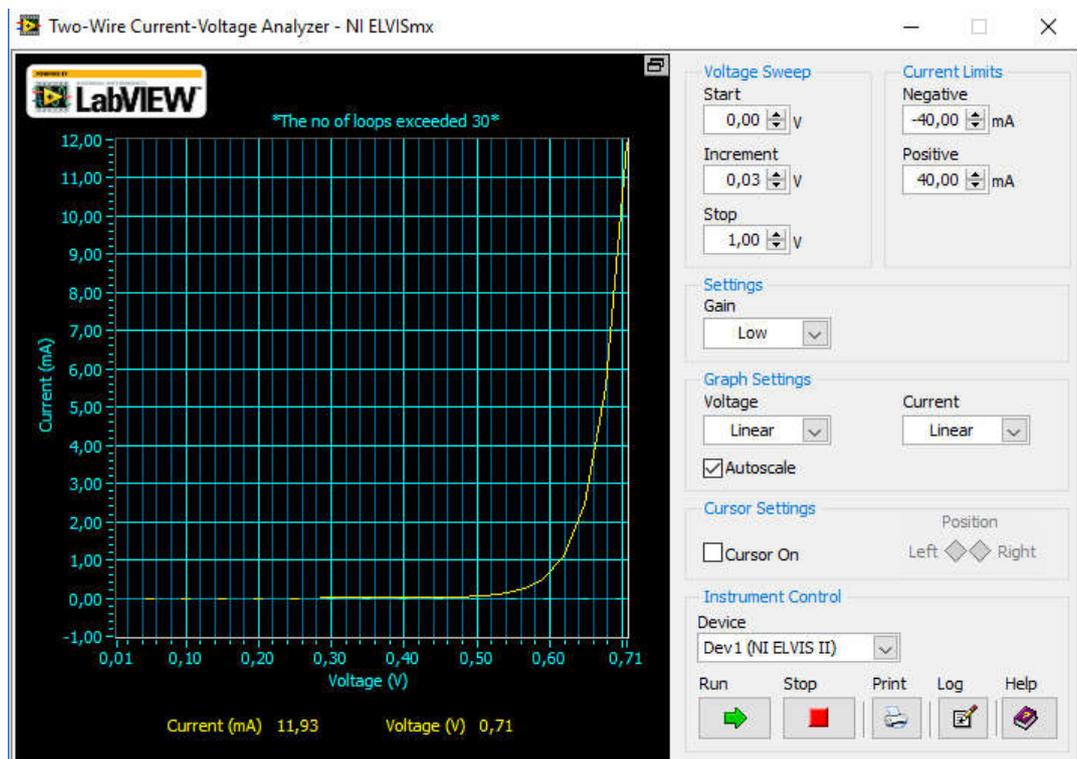


Рисунок 12 – Построение прямой ветви ВАХ стабилитрона

4. Сохранить в отчет ВАХ стабилитрона, сравнить с теоретическими.

5. Изучить техническую документацию на биполярные транзисторы. Найти документацию на зарубежный аналог, сопоставить информацию, сделать выводы.

6. Определить тип транзистора по технической документации.

7. Установить транзистор на рабочей панели установки *ELVIS II 2* и указать параметры симуляции на панели трехпроводного анализатора в соответствии с рисунком 13.

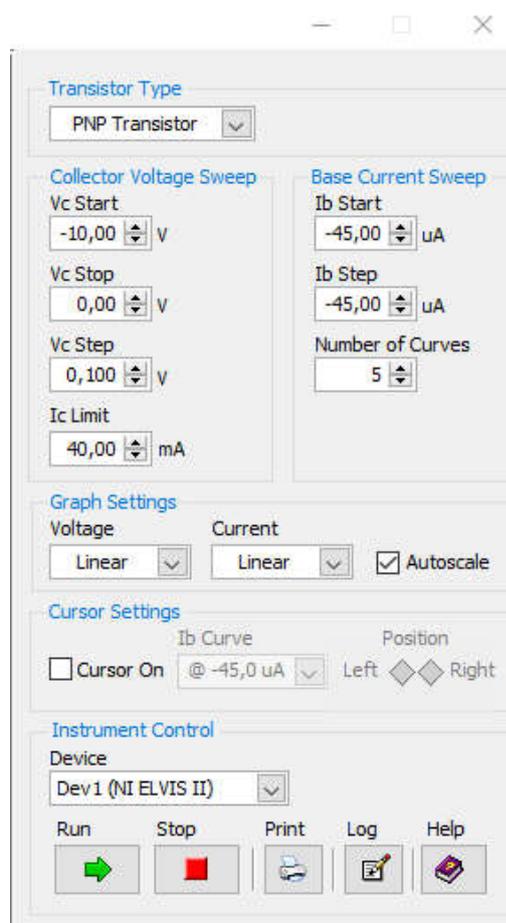


Рисунок 13 – Параметры установки симуляции (транзистор *p-n-p* типа)

8. Подсоединить *ELVIS II* 2 кабелем к *USB* разъему ПК и подключить блок питания. При подключении кратковременно появиться всплывающее окно обнаружения драйвера, щелчком по нему открыть окно и выбрать инструмент *Launcher*.

9. Выбрать анализатор 3-Wire и построить выходные ВАХ для двух типов БТ.

9.1 Установить значения параметров в окне симуляции в соответствии с рисунками для *p-n-p* (рисунок 13) и *n-p-n* (рисунок 14) типов транзисторов.

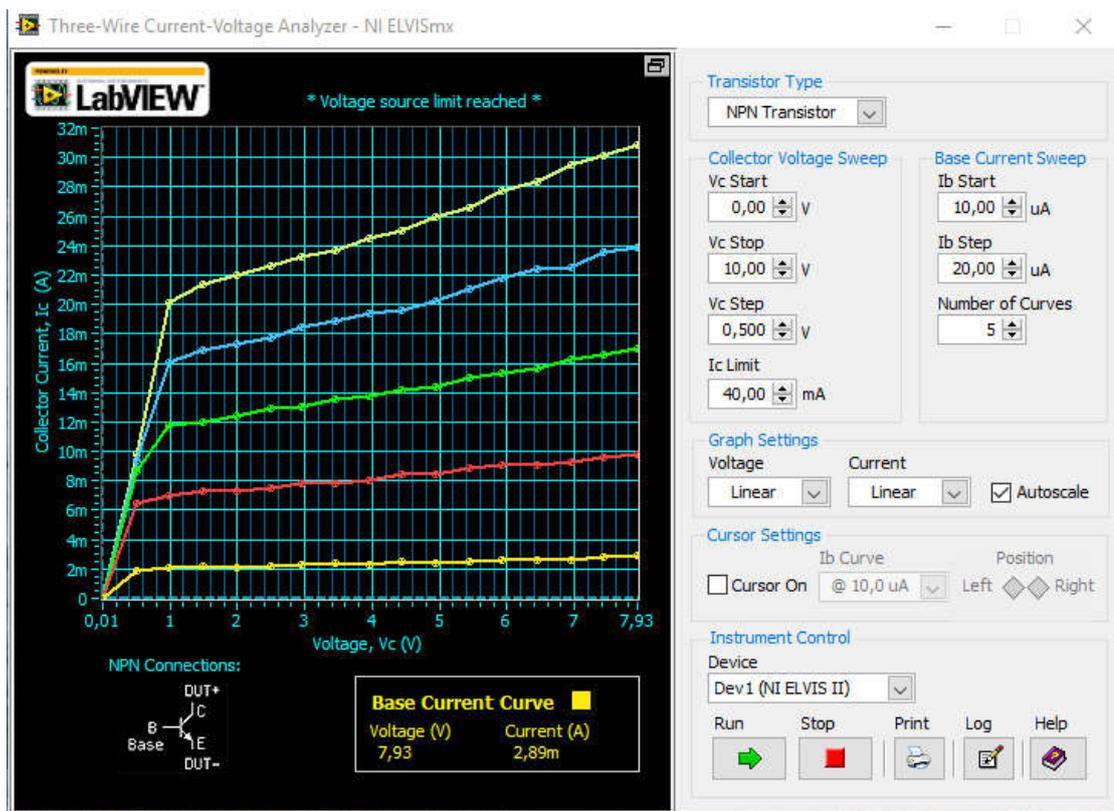


Рисунок 14 – Параметры установки симуляции (транзистор *n-p-n* типа)

9.2 Разобраться и объяснить, чем обоснован выбор значений параметров в окне установки. В каком квадранте находятся ВАХ для различных типов БТ.

10. Используя кнопку «print» вывести на печать в формате pdf ВАХ транзистора и разместить в отчет. В каких координатах строятся выходные ВАХ транзисторов?

11. Опираясь на настройки восстановить значения токов базы для каждой параметрических кривых для обоих графиков.

12. Сопоставить ВАХ для разных типов транзисторов и объяснить с точки зрения процессов физики отличия знаков токов и напряжений для транзисторов различных типов.

13. Найти в технической документации и сохранить в отчет ВАХ транзистора, сопоставить с полученными в лабораторной работе.

14. Объяснить, почему характеристики веерообразны?

3. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Поясните физический принцип работы стабилитронов и биполярных транзисторов, приведите их ВАХ.
2. Чем обоснован выбор значений параметров в окне установки симуляции?
3. В каком квадранте находятся ВАХ для различных типов биполярных транзисторов?
4. В каких координатах строятся выходные ВАХ транзисторов?
5. Восстановите значения токов базы для каждой параметрической кривых для обоих графиков.
6. Сопоставьте ВАХ для разных типов транзисторов и объяснить с точки зрения процессов физики отличия знаков токов и напряжений для транзисторов различных типов.
7. Что такое эффект Эрли, каким образом проявляется на ВАХ транзисторов?

4. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

Отчёт должен быть оформлен в соответствии с требованиями ГОСТ и содержать:

1. Титульный лист;
2. Оглавление;
3. Наименование работы, цель исследований;
4. Обратная ветвь ВАХ стабилитрона с указанием напряжения стабилизации и полярности стабилитрона, результаты сравнения с теоретической ВАХ.
5. Тип исследуемого транзистора и его ВАХ.
6. Значения токов базы для каждой параметрических кривых для обоих графиков.
7. Результаты сопоставления ВАХ для разных типов транзисторов.
8. Результаты сопоставления ВАХ, полученных в ходе выполнения лабораторной работы и представленных в технической документации.
9. Ответы на контрольные вопросы;
10. Перечень литературы, использованной при подготовке и выполнении работы (ссылки на используемую техническую документацию).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Аш, Ж. Датчики измерительных систем: В 2-х книгах. Кн. 1. Пер. с франц. – М.: Мир, 1992. -480 с.
2. Григораш О.В. Электротехника и Электроника [Текст]: учебник –Ростов н/Д.: Феникс 2008 г.- 462 с. (70 экз.)
3. М.В. Бобырь, В.И. Иванов, В. С. Титов, А.С. Ястребов. Электротехника и электроника [Текст]: учебное пособие: в 2 кн. Кн. 2: Электроника. - Курск: КурскГТУ, 2009. - 240 с (59 экз.)
4. Жаворонков М.А. Электротехника и электроника [Текст]: учебное пособие. - 2-е изд., стер. - М.: Академия, 2008. - 400 с. (5 экз.)
5. Забродин Ю.С. Промышленная электроника [Текст]: учебник. – 2-е изд. стер. - М.: Альянс, 2008. - 496 с. (100 экз.).

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Таблица А1 - Параметры транзисторов КТ6116

Параметр	Обозначение	Маркировка	Условия	Значение	Ед. изм.
Аналог		КТ6116А		BC450 ^{*2} , 2SA794 ^{*3} , 2SA794P ^{*3} , SK3114A ^{*2} , 2SA984K ^{*2} , 2SA984KD ^{*2} , 2SA777NC ^{*2} , FMMA56 ^{*3}	
		КТ6116Б		SO5400 ^{*1} , FM MT5400 ^{*1} , A5 T5400, MP5L51 ^{*2} , MP5D53 ^{*2} , PN4356 ^{*2} , 2N4356 ^{*3}	
Структура			—	p-n-p	
Максимально допустимая постоянная рассеиваемая мощность коллектора	$P_{K\max}, P_{K, \tau\max}, P_{K, и\max}$	КТ6116А	50 °С	625	мВт
		КТ6116Б	50 °С	625	
Граничная частота коэффициента передачи тока транзистора для схемы с общим эмиттером	$f_{гп}, f_{h21б}, f_{h21э}, f_{max}^{**}$	КТ6116А	—	≥100	МГц
		КТ6116Б	—	≥100	
Пробивное напряжение коллектор-база при заданном обратном токе коллектора и разомкнутой цепи эмиттера	$U_{КБО\ проб.}, U_{КЭР\ проб.}, U_{КЭО\ проб.}^{**}$	КТ6116А	—	160	В
		КТ6116Б	—	130	
Пробивное напряжение эмиттер-база при заданном обратном токе эмиттера и разомкнутой цепи коллектора	$U_{ЭБО\ проб.}$	КТ6116А	—	5	В
		КТ6116Б	—	5	
Максимально допустимый постоянный ток коллектора	$I_{K\max}, I_{K, и\max}^*$	КТ6116А	—	600	мА
		КТ6116Б	—	600	
Обратный ток коллектора — ток через коллекторный переход при заданном обратном напряжении коллектор-база и разомкнутом выводе эмиттера	$I_{КБО}, I_{КЭР}^*, I_{КЭО}^{**}$	КТ6116А	—	≤0.05	мкА
		КТ6116Б	—	≤0.01	
Статический коэффициент передачи тока транзистора в режиме малого сигнала для схем с общим эмиттером	$h_{21э}, h_{21б}^*$	КТ6116А	—	60...240	
		КТ6116Б	—	40...180	
Коэффициент шума транзистора	$K_{ш}, r_b^*, P_{вых}^{**}$	КТ6116А	—	≤8	Дб, Ом, Вт
		КТ6116Б	—	—	

Таблица А2 - Параметры транзисторов КТ6117

Параметр	Обозначение	Маркировка	Условия	Значение	Ед. изм.
Аналог		КТ6117А		MPS5551M, FMMT5551 ^{*1} , 2N5551, CMBT5551 ^{*1} , SO5551 ^{*1} , NTE2410 ^{*3} , SO5550 ^{*3}	
		КТ6117Б		2N5550, FMMT5550 ^{*1} , CMBT5550 ^{*1} , PMS5550 ^{*1} , KST5550 ^{*1}	
Структура			—	n-p-n	
Максимально допустимая постоянная рассеиваемая мощность коллектора	$P_{K\max}, P_{K, \tau\max}^*, P_{K, и\max}$	КТ6117А	50 °С	625	мВт
		КТ6117Б	50 °С	625	
Граничная частота коэффициента передачи тока транзистора для схемы с общим эмиттером	$f_{гр}, f_{h21б}^*, f_{h21э}^{**}, f_{max}^{***}$	КТ6117А	—	≥ 100	МГц
		КТ6117Б	—	≥ 100	
Пробивное напряжение коллектор-база при заданном обратном токе коллектора и разомкнутой цепи эмиттера	$U_{КБО\ проб.}, U_{КЭР\ проб.}^*, U_{КЭО\ проб.}^{**}$	КТ6117А	—	180; 160*	В
		КТ6117Б	—	160; 140*	
Пробивное напряжение эмиттер-база при заданном обратном токе эмиттера и разомкнутой цепи коллектора	$U_{ЭБО\ проб.}$	КТ6117А	—	5	В
		КТ6117Б	—	5	
Максимально допустимый постоянный ток коллектора	$I_{K\max}, I_{K, и\max}^*$	КТ6117А	—	600	мА
		КТ6117Б	—	600	
Обратный ток коллектора — ток через коллекторный переход при заданном обратном напряжении коллектор-база и разомкнутом выводе эмиттера	$I_{КБО}, I_{КЭР}^*, I_{КЭО}^{**}$	КТ6117А	—	≤ 0.05	мкА
		КТ6117Б	—	≤ 0.1	
Статический коэффициент передачи тока транзистора в режиме малого сигнала для схем с общим эмиттером	$h_{21э}, h_{21б}^*$	КТ6117А	5 В; 10 мА	80...250	
		КТ6117Б	5 В; 10 мА	60...250	
Коэффициент шума транзистора	$K_{ш}, \Gamma_b^*, P_{вых}^{**}$	КТ6117А	—	80...250	
		КТ6117Б	—	60...250	

Таблица А3 - Основные электрические параметры КТ3117А1 при
 $T_{\text{окр. среды}} = 25^{\circ}\text{C}$

Параметры	Обозначение	Ед. измер	Режимы измерения	Min	Max
Обратный ток коллектора	$I_{кбо}$	мкА	$U_{кб}=60\text{В}, I_{э}=0$		10
Статический коэффициент передачи тока	$h_{21\text{E}}$		$U_{кб}=-5\text{В}, I_{э}=200\text{мА}$	40	200
Напряжение насыщения коллектор-эмиттер	$U_{кэ}(\text{нас})$	В	$I_{к}=500\text{мА}, I_{б}=50\text{мА}$		0,6
Напряжение насыщения база - эмиттер	$U_{бэ}(\text{нас})$	В	$I_{к}=500\text{мА}, I_{б}=50\text{мА}$		1,2
Емкость коллекторного перехода*	$C_{к*}$	пФ	$U_{кб}=10\text{В}, I_{э}=0,$ $f=10\text{МГц}$		10
Емкость эмиттерного перехода*	$C_{э*}$	пФ			80
Граничная частота коэффициента передачи тока*	$F_{гр*}$	МГц			200