

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение
высшего профессионального образования
«Томский государственный университет систем управления и
радиоэлектроники»

Кафедра электронных приборов

ИССЛЕДОВАНИЕ БИПОЛЯРНОГО ТРАНЗИСТОРА

Методические указания к лабораторной работе
для студентов направления «Электроника и микроэлектроника»
(специальность «Электронные приборы и устройства»)

2012

Бородин Максим Викторович
Саликаев Юрий Рафаельевич

Исследование биполярного транзистора: методические указания к лабораторной работе для студентов направления «Электроника и микроэлектроника» (специальность 210105 – Электронные приборы и устройства) / М.В. Бородин, Ю.Р. Саликаев; Министерство образования и науки Российской Федерации, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, Кафедра электронных приборов. - Томск : ТУСУР, 2012. – 12 с.

Лабораторная работа выполняется с использованием программной среды QUCS (Quite Universal Circuit Simulator) и заключается в моделировании аналоговых цепей. Для обработки результатов и оформления отчёта могут применяться различные математические и офисные программные средства.

Предназначено для студентов очной и заочной форм, обучающихся по направлению «Электроника и микроэлектроника» (специальность 210105 – Электронные приборы и устройства) по дисциплине «Математические модели и САПР электронных приборов и устройств»

© Бородин Максим Викторович, 2012

© Саликаев Юрий Рафаельевич, 2012

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Томский государственный университет систем управления и
радиоэлектроники»

Кафедра электронных приборов

УТВЕРЖДАЮ
Зав.кафедрой ЭП
_____ С.М. Шандаров
«___» _____ 2012 г.

ИССЛЕДОВАНИЕ БИПОЛЯРНОГО ТРАНЗИСТОРА

Методические указания к лабораторной работе
для студентов направления «Электроника и микроэлектроника»
(специальность «Электронные приборы и устройства»)

Разработчик
_____ М.В. Бородин
_____ Ю.Р. Саликаев
«___» _____ 2012 г.

Содержание

1 Введение.....	5
2 Лабораторная работа. Исследование биполярного транзистора.....	5
2.1 Цель работы.....	5
2.2 Краткие сведения из теории.....	5
2.3 Порядок проведения экспериментов.....	7
2.4 Контрольные вопросы.....	10
3 Содержание отчета.....	10
Список рекомендуемой литературы.....	10

1 Введение

Лабораторная работа выполняется с использованием программной среды QUCS (Quite Universal Circuit Simulator) и заключается в моделировании аналоговых цепей. Для обработки результатов и оформления отчёта могут применяться различные математические и офисные программные средства.

При выполнении работы используются следующие приборы и элементы: биполярный транзистор 2N3904; источники постоянной ЭДС; источники переменной ЭДС; амперметры; вольтметры; диод; резисторы.

2 Лабораторная работа. Исследование биполярного транзистора

2.1 Цель работы

В ходе выполнения работы необходимо:

- исследовать зависимость тока коллектора от тока базы и напряжения база-эмиттер; работы биполярного транзистора; динамическое входное сопротивление транзистора;
- провести анализ зависимости коэффициента усиления по постоянному току от тока коллектора;
- получить входных и выходных характеристик транзистора;
- определить коэффициент передачи по переменному току;

2.2 Краткие сведения из теории

Исследуемая схема показана на рис. 2.1. Статический коэффициент передачи тока определяется как отношение тока коллектора I_K к току базы I_B :

$$\beta_{DC} = \frac{I_K}{I_B}.$$

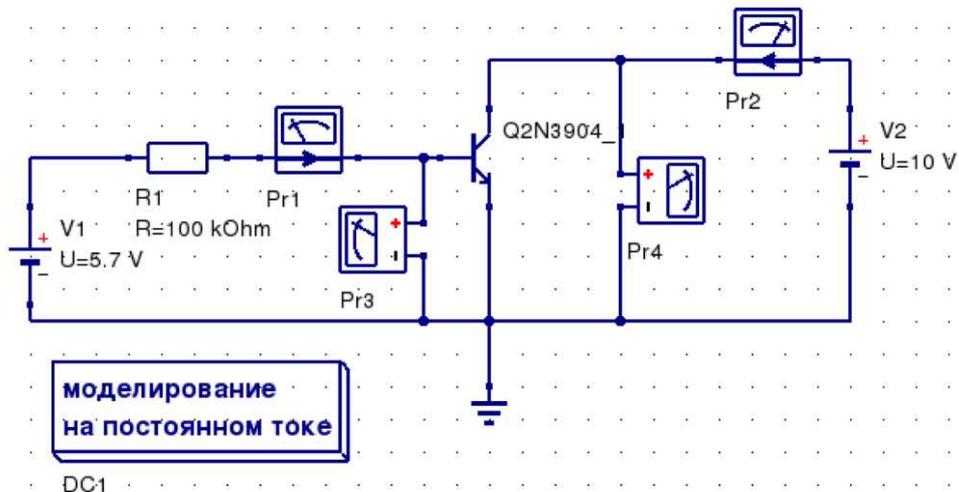


Рисунок 2.1

Коэффициент передачи тока β_{AC} определяется отношением приращения ΔI_K коллекторного тока к вызывающему его приращению ΔI_B базового тока:

$$\beta_{AC} = \frac{\Delta I_K}{\Delta I_B}.$$

Дифференциальное входное сопротивление r_{BX} транзистора в схеме с общим эмиттером (ОЭ) определяется при фиксированном значении напряжения коллектор эмиттер. Оно может быть найдено как отношение приращения напряжения база-эмиттер к вызванному им приращению ΔI_B тока базы:

$$r_{BX} = \frac{\Delta U_{БЭ}}{\Delta I_B} = \frac{U_{БЭ2} - U_{БЭ1}}{I_{Б2} - I_{Б1}}.$$

Дифференциальное входное сопротивление r_{BX} транзистора в схеме с ОЭ через параметры транзистора определяется следующим выражением:

$$r_{BX} = r_B + \beta_{AC} \times r_{Э},$$

где r_B - распределенное сопротивление базой области полупроводника,
 $r_{Э}$ - дифференциальное сопротивление перехода база-эмиттер, определяемое из выражения:

$$r_{Э} = \frac{25}{I_{Э}}$$

где $I_{Э}$ - постоянный ток эмиттера в миллиамперах.

Первое слагаемое r_B в выражении много меньше второго, поэтому им можно пренебречь:

$$r_{BX} = \beta_{AC} \cdot r_{Э}.$$

Дифференциальное сопротивление $r_{Э}$ перехода база-эмиттер для биполярного транзистора сравнимо с дифференциальным входным сопротивлением $r_{ВХОБ}$ транзистора в схеме с общей базой, которое определяется при фиксированном значении напряжения база-коллектор. Оно может быть найдено как отношение приращения $\Delta U_{БЭ}$ к вызванному им приращению $\Delta I_{Э}$ тока эмиттера:

$$r_{ВХОБ} = \frac{\Delta U_{БЭ}}{\Delta I_{Э}} = \frac{U_{БЭ2} - U_{БЭ1}}{I_{Э2} - I_{Э1}}.$$

Через параметры транзистора это сопротивление определяется выражением:

$$r_{ВХОБ} = \frac{r_B}{\beta_{AC}} + r_{Э}.$$

Первым слагаемым в выражении можно пренебречь, поэтому можно

считать, что дифференциальное сопротивление перехода база-эмиттер приблизительно равно:

$$r_{ВХОБ} \approx r_{Э}.$$

2.3 Порядок проведения экспериментов

Создайте новый проект в программе QUCS. В названии проекта не рекомендуется использовать пробелы и русские символы.

Задание 1. Определение статистического коэффициента передачи тока транзистора.

Создать схему согласно рис. 2.1. Символ «моделирование на постоянном токе» должен быть помещен на схему согласно рисунку. Это необходимо, чтобы задать режим моделирования. Включить симуляцию. В окне просмотра данных получите таблицу с результатами измерений тока коллектора, тока базы, напряжения коллектор-эмиттер и напряжения база-эмиттер. По полученным результатам подсчитать статический коэффициент передачи транзистора β_{DC} . Полученные результаты поместить в отчет.

Изменить номинал источника ЭДС E_B до 2,68 В. Включить симуляцию. Записать результаты измерений. По полученным результатам подсчитать коэффициент β_{DC} .

Изменить номинал источника ЭДС E_K до 5 В. Запустить моделирование. Записать результаты измерений. По полученным результатам подсчитать коэффициент передачи транзистора β_{DC} . Затем установить номинал E_K равным 10 В.

Задание 2. Измерение обратного тока коллектора.

На схеме рис. 2.1 изменить номинал источника ЭДС E_B до 0 В. Включить симуляцию. Записать результаты измерения тока базы, тока коллектора, напряжения база-эмиттер, напряжения коллектор-эмиттер.

Задание 3. Получение выходной характеристики транзистора в схеме с ОЭ.

В схеме (рис. 2.1) провести измерение тока коллектора I_K для каждого значения $E_K = 0,1; 0,5; 1; 5; 20$ В и $E_B = 1,66; 2,68; 3,68; 4,68; 5,7$ В. Рекомендуется использовать режим развертки параметра для сокращения затрат времени. Результаты измерений в виде таблицы занести в отчет. По результатам измерений построить семейство характеристик $I_K(E_K)$ для каждого значения E_B , разместить их на одном графике.

2. Создать схему согласно рис. 2.2. В данном случае используется режим «моделирование переходного процесса» для развертки сигналов во времени (получение осциллограмм) и режим развертки параметра. Следует

проследить, чтобы параметры моделирования соответствовали указанным на схеме. Запустить моделирование. Занести в отчет осциллограммы выходных характеристик для каждого значения E_B .

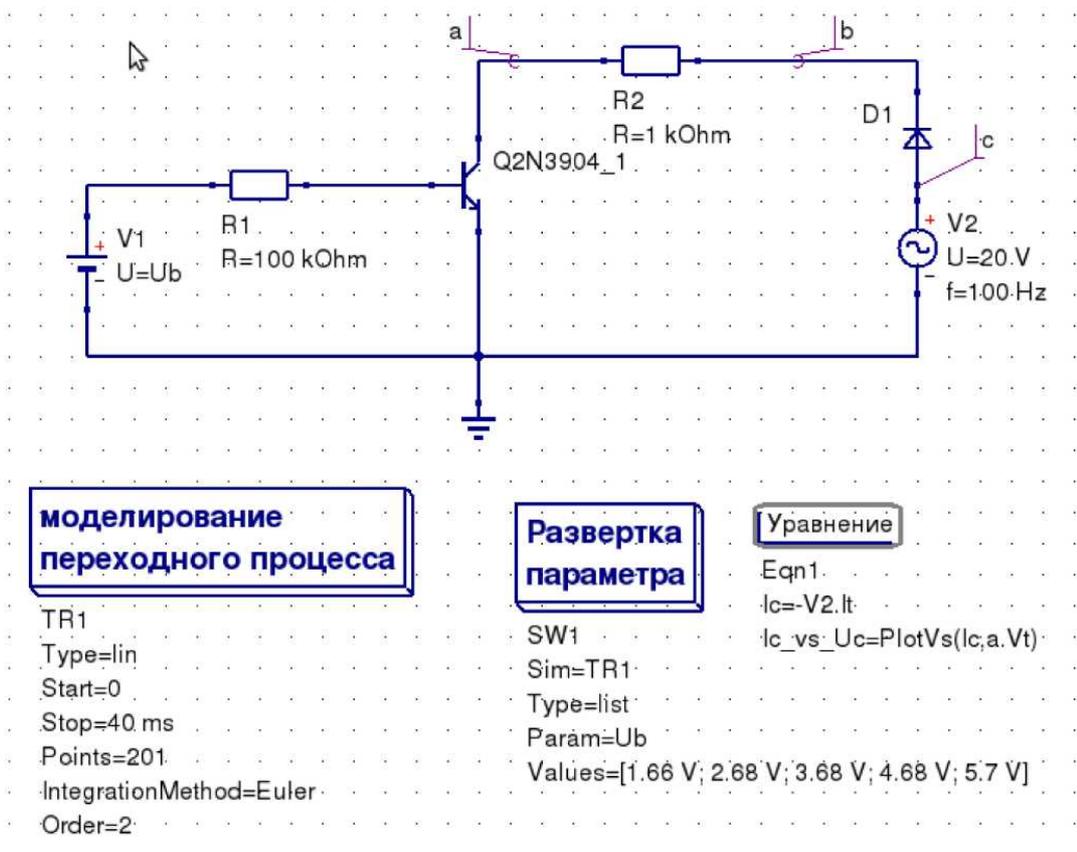


Рисунок 2.2

3. По выходной характеристике найти коэффициент передачи тока β_{AC} при изменении базового тока с $10 \mu A$ до $30 \mu A$, $E_K = 10 V$.

Задание 4. Получение входной характеристики транзистора в схеме с ОЭ.

1. Вернуться к схеме, изображенной на рис. 2.1. Установить значение напряжения источника E_K равным $10 V$ и провести измерение тока базы I_B , напряжения база-эмиттер U_{BE} , тока эмиттера I_E для различных значений напряжения источника E_B . Для измерения тока эмиттера добавить в схему соответствующий прибор. Обратит внимание, что коллекторный ток примерно равен току в цепи эмиттера.

2. По полученным результатам построить график зависимости тока базы от напряжения база-эмиттер.

3. Создать схему согласно рис. 2.3. Запустить симуляцию. Получить и занести входную характеристику транзистора $I_B(U_{BE})$ в отчет.

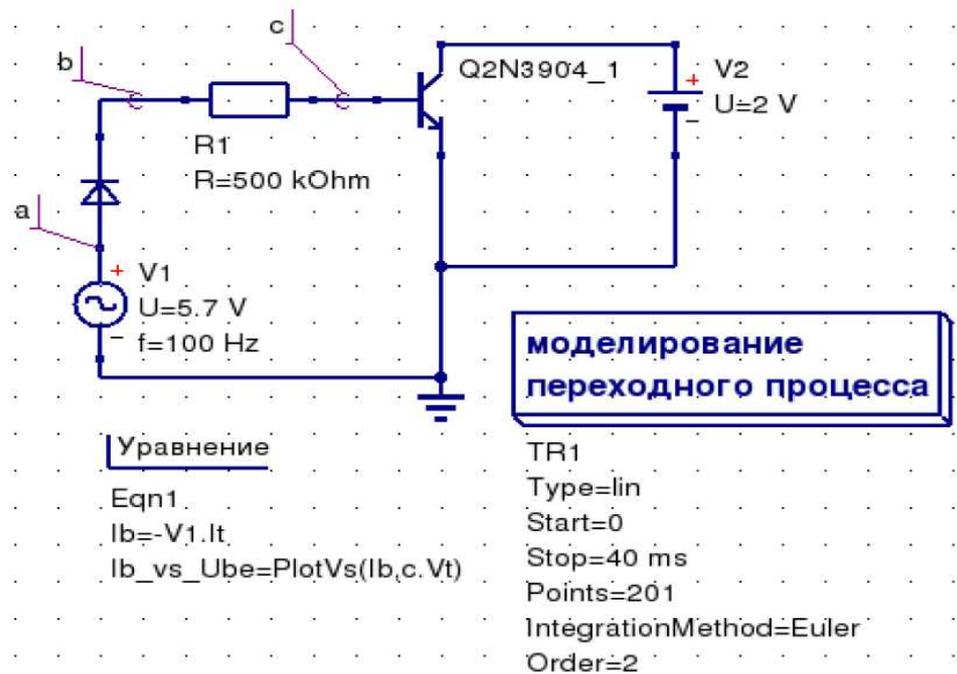


Рисунок 2.3

Задание 5. Получение входной характеристики транзистора в схеме с общей базой.

1. По данным, полученным в задании 4.1, построить график зависимости тока эмиттера от напряжения база-эмиттер.
2. Создать схему согласно рис. 2.4. Запустить моделирование. Занести в отчет полученную характеристику $I_E(U_{БЭ})$.

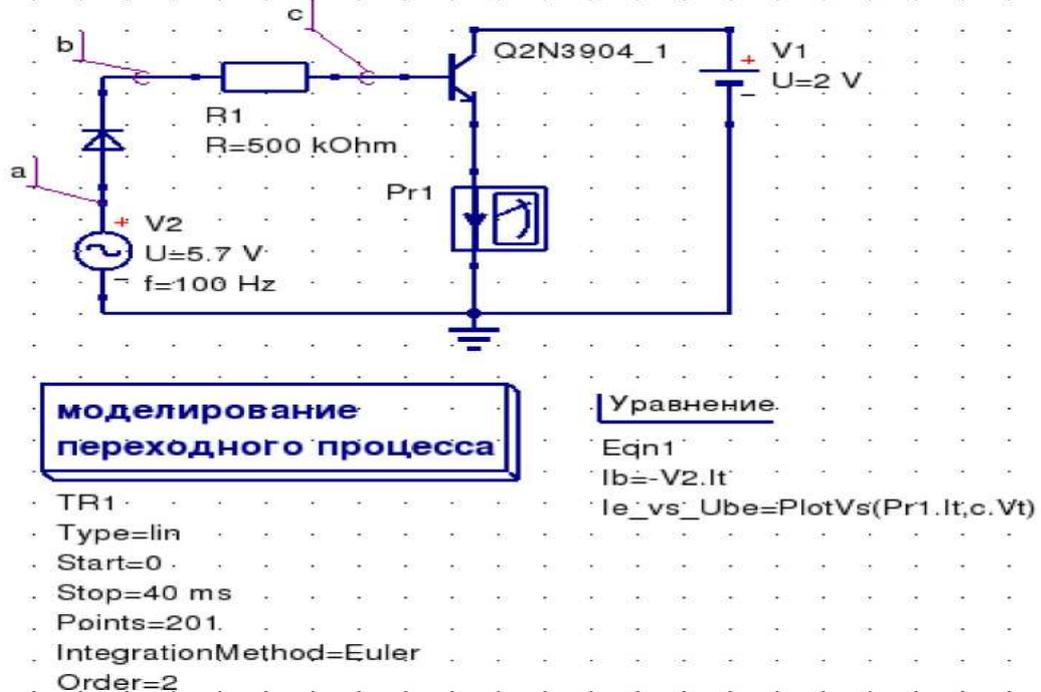


Рисунок 2.4

3. По полученной в п.1 характеристике найти сопротивление r_{Ω} при изменении базового тока с 10 μA до 30 μA .

4. Найти сопротивление r_{Ω} по формуле $r_{\Omega}=25\text{мВ}/I_{\Omega}$, используя значения I_{Ω} из эксперимента 4.1 при $I_B=20 \mu\text{A}$.

2.4 Контрольные вопросы

1. От чего зависит ток коллектора транзистора?
2. Зависит ли коэффициент β_{DC} от тока коллектора? Если да, то в какой степени? Обосновать ответ.
3. Что такое токи утечки транзистора в режиме отсечки?
4. Что можно сказать по выходным характеристикам о зависимости тока коллектора от тока базы и напряжения коллектор-эмиттер?
5. Что можно сказать по входной характеристике о различии между базо-эмиттерным переходом и диодом, смещенным в прямом направлении?
6. Одинаково ли значение $r_{\text{вх}}$ в любой точке характеристики?
7. Одинаково ли значение r_{Ω} при любом значении тока эмиттера?
8. Как отличается практическое значение сопротивления r_{Ω} от вычисленного по формуле?

3 Содержание отчета

По лабораторной работе необходимо составить отчет, который должен содержать:

- титульный лист;
- цель работы;
- краткие сведения из теории, содержащие расчётные формулы;
- схемы, собранные при проведении экспериментов в среде QUCS;
- результаты расчётов и экспериментов в виде таблиц и графиков;
- ответы на контрольные вопросы;
- выводы по проведённой работе.

Список рекомендуемой литературы

1. Основы компьютерного моделирования наносистем / Ибрагимов И.М., Ковшов А.Н., Назаров Ю.Ф. – М.: Изд-во «Лань», 2010.- 384 с. ISBN 978-5-8114-1032-3: http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_cid=25&pl1_id=156
2. Поршнева С.В. Компьютерное моделирование физических процессов в пакете MATLAB. + CD. - М.: Изд-во «Лань», 2011.- 736 с. ISBN 978-5-8114-1063-7 http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_cid=25&pl1_id=650
3. Моделирование компонентов и элементов интегральных схем /

Петров М.Н., Гудков Г.В. - М.: Изд-во «Лань», 2011.- 464 с. ISBN 978-5-8114-1075-0 http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_cid=25&pl1_id=661

4. Основы автоматизированного проектирования [Текст] : учебник для вузов / Е. М. Кудрявцев. - М. : Академия, 2011. - 304 с. - ISBN 978-5-7695-6004-0

5. Математические модели и САПР электронных приборов и устройств: учебное пособие / Ю. Р. Саликаев.- Томск: ТУСУР, 2012. - 131 с. Препринт. Режим доступа: <http://edu.tusur.ru/training/publications/>

6. Машинные методы анализа и проектирования электронных схем : / И. Влах, К. Сингхал ; пер.: А. Ф. Обьедков, Н. Н. Удалов, В. М. Демидов ; ред. пер. А. А. Туркина. - М. : Радио и связь, 1988. - 560 с. - ISBN 5-256-00054-3

7. Компьютерное моделирование и проектирование: учебное пособие / Ю. Р. Саликаев.- Томск: ТУСУР, 2012. - 94 с. Препринт. Режим доступа: <http://edu.tusur.ru/training/publications/2548>

8.Норенков И. П. Основы автоматизированного проектирования: Учебник для вузов. – М.: МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2000. – 360 с.

Учебное пособие

Бородин М.В., Саликаев Ю.Р.

Исследование биполярного транзистора

Методические указания к лабораторной работе

Усл. печ. л. _____. Препринт
Томский государственный университет
систем управления и радиоэлектроники
634050, г.Томск, пр.Ленина, 40