

Проект «Инженерные кадры Зауралья»

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

Кафедра «Автоматизация производственных процессов»

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА И ЭЛЕКТРОНИКА
Часть 1

Методические указания
к выполнению лабораторных работ
для студентов очной и заочной форм обучения
направления 220700.62 «Автоматизация технологических процессов и
производств»

Курган 2015

Кафедра: «Автоматизация производственных процессов»
Дисциплина: «Электротехника и электроника»
(направление 220700.62).

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

Утверждены на заседании кафедры 27 ноября 2014 г.
Рекомендованы методическим советом университета в рамках проекта
«Инженерные кадры Зауралья» 20 декабря 2013 г.

Содержание

	Стр.
Лабораторная работа № 1. Построение вольтамперной характеристики (ВАХ) диода и стабилитрона	4
Лабораторная работа № 2. Выпрямители	8
Лабораторная работа № 3. Транзисторы 1	11
Лабораторная работа № 4. Транзисторы 2	17
Лабораторная работа № 5. Транзисторы 3. Дифференциальный усилитель	23
Список литературы	27

Лабораторная работа № 1

ПОСТРОЕНИЕ ВОЛЬТАМПЕРНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ (ВАХ) ДИОДА И СТАБИЛИТРОНА

Цель работы: снятие и анализ вольтамперных характеристик полупроводникового диода и стабилитрона и расчет их параметров.

Прямую ветвь вольтамперной характеристики диода или стабилитрона снимаем с помощью схемы (рисунок 1.1) при верхнем положении переключателя S1. Прямой ток через диод или стабилитрон задаётся путем изменения напряжения на переходе с помощью потенциометра RP1. Напряжение источника E1 возьмите порядка 1 вольта. Изменяя положение движка потенциометра RP1, записываем значения прямого тока через диод I_D и соответствующее ему падение напряжения на диоде U_D , заносим их в таблицу 1.1. Снимаем показания в 10-12 точках изменяя напряжение на диоде ступенчато на 8-10% от максимального за каждый шаг.

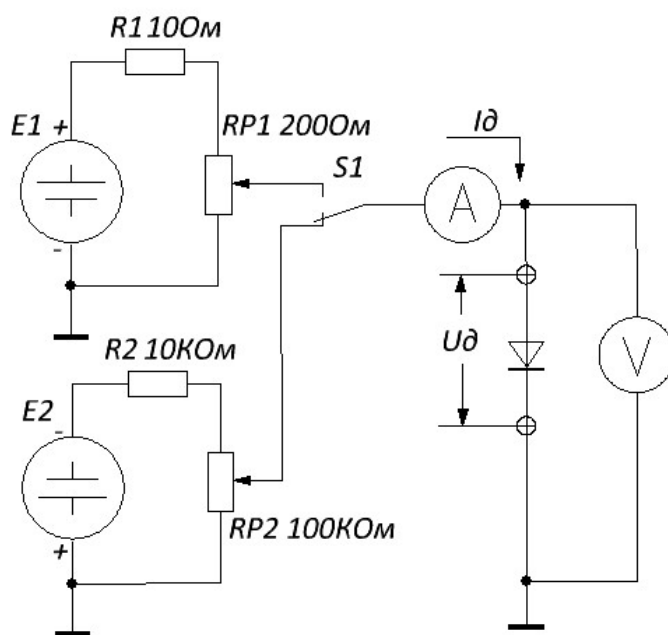


Рисунок 1.1 – Схема снятия ВАХ диодов

В библиотеке Instruments среды Multisim имеется построитель ВАХ диодов и транзисторов (IV ANALYZER). Подключив соответствующие выводы диода или стабилитрона к входам прибора IV ANALYZER, и задав предельные значения входного напряжения в закладке, открываемой командой Simulate Parameters, нужно запустить программу моделирования.

Изменяя пределы напряжения, можно смоделировать и исследовать отдельные участки ВАХ диодов и стабилитронов. Координаты точек ВАХ удобно определять с помощью визирной линии, перемещая её в

горизонтальном направлении. Эти координаты выводятся в нижней строке окна прибора IV ANALYZER рисунок 1.2.

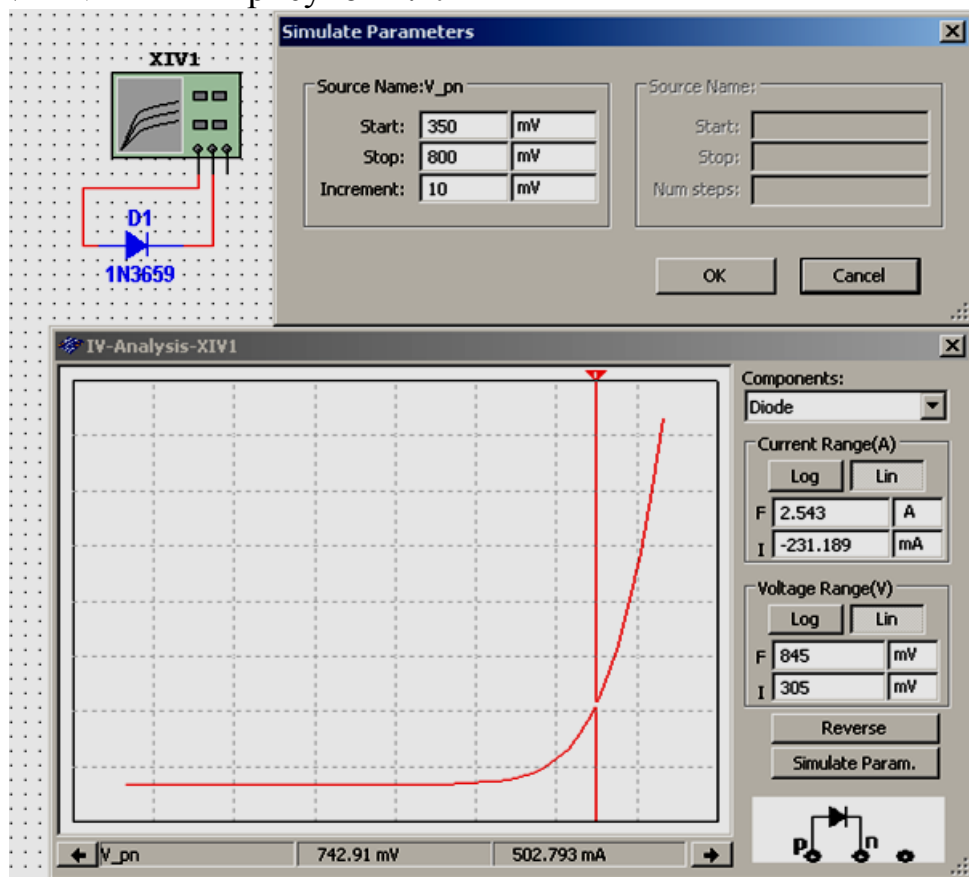


Рисунок 1.2 – Окно IV ANALYZER

Обратную ветвь вольтамперной характеристики диода снимаем также с помощью схемы (рис. 1.1) но при нижнем положении переключателя S1. Обратное напряжение диода задаётся путем изменения напряжения на переходе с помощью потенциометра RP2. Напряжение источника E2 выбирается в пределах $1,05-1,15U_{проб.}$ измерения проводят в 8-10 точках.

Порядок выполнения работы.

1.Собрать схему (рис. 1.1) на стенде “ELVIS” или в рабочем поле Multisim, подключить к ней диод или стабилитрон, модель которых возьмите в таблицах 1.3 и 1.4, и снять ВАХ, как указано выше. Результаты измерений занести в таблицу 1.1, а также построить график ВАХ по данным измерений. Обратную ветвь ВАХ диода рекомендуется снимать при изменении напряжения на его аноде от $-1,05U_{обр.макс.}$ до $0,95U_{обр.макс.}$, а прямую ветвь (в том числе и стабилитрона) – от 0 до $U_{np.} = 0,75...1,0$ В.

Выберите рабочую точку на ВАХ диода и рассчитайте его динамическое $r_d = \Delta U_{AK} / \Delta I_d$ и статическое $R_d = U_{AK} / I_d$ сопротивления в этой точке. По обратной ветви ВАХ определите $U_{обр.макс.} \cong 0,75 U_{проб.}$ и обратный ток $I_{обр.}$ Обратите внимание на крутизну обратной ветви. Сделайте выводы по проделанной работе.

Таблица 1.1.

Модель диода	№ точки	E1 В	Упр. мВ	Ипр. мА	E2 В	Uобр. В	Ioбр. мА

2. Используя схему рис.1.1 снимите обратную ветвь ВАХ стабилитрона при нижнем положении ключа S1 и напряжении источника E2,

Таблица 1.2.

Модель стабилитрона	№ точки	E2 В	Uобр. В	Ioбр. мА
Устаб.= Vz=				
Iстаб.=Iz=				

превышающем напряжении стабилизации стабилитрона ($E2=1,2U_{ст}$). Ступенчато изменяя напряжение, с помощью потенциометра RP2 измеряйте ток через стабилитрон и напряжение на нем, заносая результаты в таблицу 1.2. Таблица 1.3-Варианты заданий по пункту 1

Обратную ветвь ВАХ стабилитрона можно построить с помощью прибора IV ANALYZER, как было показано выше. По данным таблицы 1.2 постройте обратную (рабочую) ветвь ВАХ стабилитрона. Рассчитайте динамическое сопротивление стабилитрона при номинальном токе стабилизации. Варианты заданий в таблицах 1.3 и 1.4.

Сформулируйте выводы и оформите отчет.

Таблица 1.3 – Варианты заданий по пункту 1

№ варианта	Наименование диода	Обратное напряжение, В	Ток, А
1	<u>1N4001</u>	50	1
2	<u>1N4002</u>	100	1
3	<u>1N4003</u>	200	1
4	<u>1N4148</u>	100	0,15
5	<u>1N4150</u>	50	0,2
6	<u>1N4151</u>	75	0,15

7	<u>1N4448</u>	100	0,15
8	<u>1N4933</u>	50	1
9	<u>1N4934</u>	100	1
10	<u>1N4935</u>	200	1
11	<u>1N5391</u>	50	1,5
12	<u>1N5392</u>	100	1,5
13	<u>1N5400</u>	50	3
14	<u>1N5401</u>	100	3

Таблица 1.4 – Варианты заданий по пункту 2

№ п/п	марка	Напряжение стабилизации $U_{ст}$, В при $I_{ст}=20\text{мА}$			r_{∂} , Ом при $I_{ст}=20\text{мА}$	$I_{ст}$ макс. мА
		минимальное	типовое	максимальное		
1	1N4370 А	2.28	2.4	2.52	30	150
2	1N4372	2.85	3.0	33.15	29	120
3	1N747А	3.42	3.6	3.78	24	100
4	1N749А	4.09	4.3	4.52	22	85
5	1N751А	4.85	5.1	5.36	17	70
6	1N753А	5.89	6.2	6.51	7	60
7	1N755А	7.13	7.5	7.88	6	50
8	1N758А	9.50	10	10.5	17	35
9	1N759	11.40	12	12.6	30	30

Обратную ветвь ВАХ стабилитрона можно построить с помощью прибора IV ANALYZER, как было показано выше. По данным таблицы 1.2 постройте обратную (рабочую) ветвь ВАХ стабилитрона. Рассчитайте динамическое сопротивление стабилитрона при номинальном токе стабилизации. Варианты заданий в таблицах 1.3 и 1.4.

Сформулируйте выводы и оформите отчет.

СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА ПО ЛАБОРАТОРНЫМ РАБОТАМ

1. Наименование и цель работы.
 2. Копия схемы цепи, собранной на рабочем поле программной среды Multisim, либо на стенде «ELVIS».
 3. Расчетные формулы и результаты расчетов.
 4. Таблицы с расчетными и экспериментальными данными.
 5. Графики.
 6. Выводы по работе.
- Контрольные вопросы:

1. В чем заключается основное свойство диода.

2. Как влияет температура перехода на ход ВАХ диода.
3. Почему стабилитрон работает на обратной ветви ВАХ.
4. Какие параметры диода определяют с помощью его ВАХ.
5. Чем обусловлен максимальный ток стабилизации стабилитрона.

Лабораторная работа № 2

ВЫПРЯМИТЕЛИ

Цель работы: исследование одно- и двухполупериодных схем выпрямления, построение вольтамперных характеристик выпрямителей.

Выпрямитель это устройство, преобразующее переменные напряжение и ток в постоянные. Преобразование переменного тока в постоянный осуществляется с помощью полупроводниковых диодов.

Основные параметры выпрямителя:

$U_{\text{ср}}, (I_{\text{ср}})$ – среднее значение выпрямленного напряжения (тока) нагрузки;

$U_{\text{пульс.макс.}}$ – амплитуда пульсаций выпрямленного напряжения;

$K_{\text{пульс.}} = U_{\text{пульс.макс.}}/U_{\text{ср}}$ – коэффициент пульсации выпрямленного напряжения;

В основном применяются схемы однополупериодных и двухполупериодных (мостовая или со средней точкой) выпрямителей.

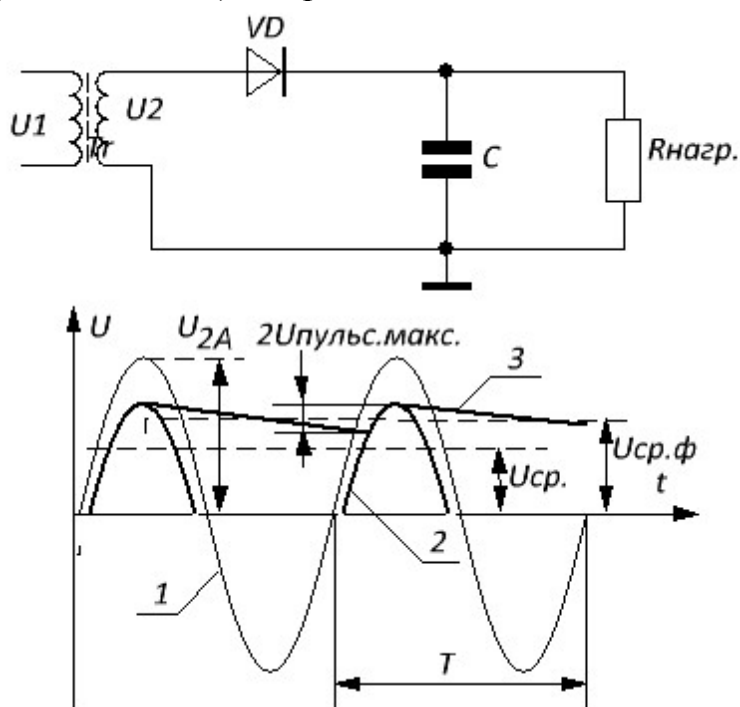


Рисунок 2.1 – Однополупериодный выпрямитель

Однополупериодная схема выпрямления (рисунок 2.1) с активной нагрузкой состоит из силового трансформатора Tr , диода VD и нагрузки $R_{\text{нагр.}}$.

Временные диаграммы напряжения вторичной обмотки трансформатора - график 1 и напряжения на нагрузке - 2 на рисунке 2.1 при отсутствии

конденсатора фильтра. Ток i_n в нагрузке протекает только при положительной полуволне напряжения u_2 . При отрицательной полуволне u_2 диод закрыт.

Мостовая схема двухполупериодного выпрямителя (рисунок 2.2) состоит из трансформатора Tr и четырех диодов.

Временные диаграммы напряжения приведены на рисунке 2.2. В положительный полупериод синусоидального напряжения U_2 ток протекает по цепи $VD1, R_n, VD3$. диоды $VD2$ и $VD4$ закрыты, так как находятся под обратным напряжением. В отрицательный полупериод, ток протекает через $VD2, R_n$ через $VD2, R_n, VD4$ а, диоды $VD1$ и $VD3$ закрыты. Токи, протекающие через нагрузку в первом и втором полупериодах, совпадают по направлению.

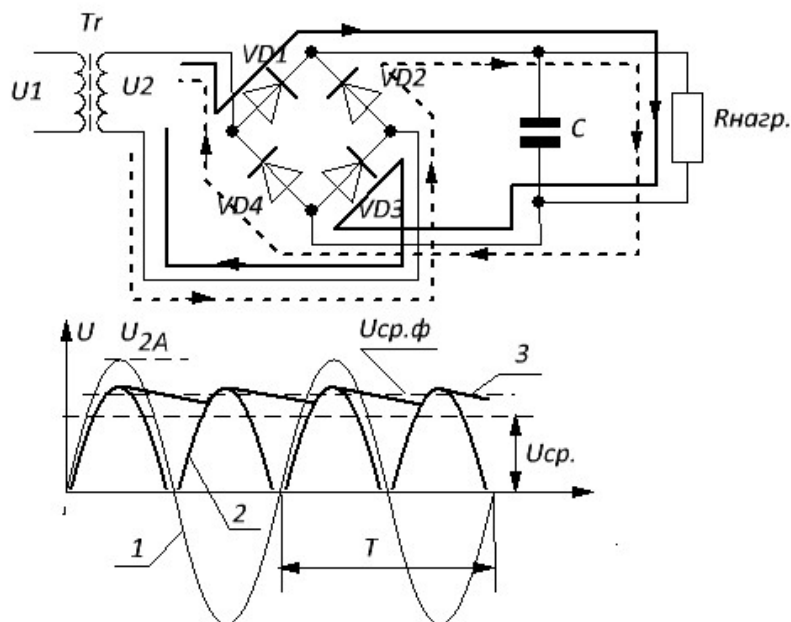


Рисунок 2.2 – Двухполупериодный выпрямитель

Сглаживающие фильтры предназначены для уменьшения пульсаций выпрямленного напряжения на нагрузке. В качестве фильтрующего элемента чаще всего используется конденсатор, который включается параллельно нагрузке и заряжается на пиках выпрямленного напряжения, а остальное время отдает ток в нагрузку. Качество фильтрации оценивается величиной удвоенной амплитуды пульсаций напряжения на нагрузке (графики 3 на рисунке 2.1 и рисунке 2.2).

Требуемая ёмкость конденсатора фильтра при заданной амплитуде пульсаций:

$$C \geq I_{\text{нагр.}} \cdot t_{\text{разр.}} / 2U_{\text{пульс.макс.}} \quad (2.1)$$

где $t_{\text{разр.}} = (\sim 17\text{мС}$ для однополупериодного выпрямителя и $\sim 8\text{мС}$ для двухполупериодного при 50 Гц.) Время разряда конденсатора - $t_{\text{разр.}}$ зависит также и от внутреннего сопротивления выпрямителя.

Порядок выполнения работы.

1. На стенде «ELVIS» или на рабочем поле Multisim собрать схемы рисунок 2.1 и рисунок 2.2 (можно использовать источник переменного напряжения вместо трансформатора). Значения напряжения U_2 и сопротивления нагрузки

$R_{нагр.}$ взять из таблицы 2.1. Диод для схемы рисунок 2.1 и диодный мостик для схемы рисунок 2.2 выбрать исходя из тока нагрузки. Параллельно нагрузке включить вольтметр, а последовательно с нагрузкой амперметр, настроенные на измерение постоянного тока (DC). Один вход двухлучевого осциллографа подключить параллельно источнику переменного напряжения, а второй параллельно нагрузке.

2. Запустить моделирование схем. Настроить осциллограф так, чтобы по длине экрана умещалось 3-4 периода входного синусоидального напряжения, которое по вертикали будет занимать 2/3-3/4 высоты экрана. Конденсатор из схем убрать. С помощью осциллографа, используя маркеры, измерить амплитудные значения напряжения на выходе источника и на нагрузке и объяснить их неравенство. Объяснить разницу показаний вольтметра и осциллографа при измерении напряжения на нагрузке.

Таблица 2.1 – Варианты заданий к выполнению работы

№ варианта	Напряжение источника переменного тока U_2 В.	Сопротивление нагрузки $R_{нагр.}$ Ом.	Максимальный размах пульсаций $2U_{пульс.макс.}$ В.
1	4	50	0,2
2	4,7	250	0,25
3	5,5	120	0,15
4	6,2	750	0,18
5	7	1000	0,12
6	7,8	220	0,22
7	8,4	270	0,3
8	9	450	0,05
9	9,2	200	1,1
10	10	150	0,4
11	11,5	60	0,35
12	12	800	0,12
13	12,5	100	1,1
14	13,5	1200	0,02
15	15	150	1,15

Объяснить причину возникновения паузы между полуволнами напряжения нагрузки в однополупериодном и двухполупериодном выпрямителях.

3. В обеих схемах подключить конденсаторы фильтра, предварительно рассчитав их величину по данным таблицы вариантов заданий (таблица 2.1). Далее измерить размах пульсаций напряжения на нагрузке и найти среднее напряжение на нагрузке, сравнить его с показаниями вольтметра. Изменить сопротивление нагрузки $R_{нагр.}$ на 25% в сторону уменьшения и на 25% в сторону увеличения. В том и другом случаях повторить измерения и по их результатам

построить нагрузочную характеристику выпрямителей в координатах $R_{\text{нагр.}}$ — $U_{\text{нагр.}}$.

Сформулируйте выводы по результатам проделанной работы и оформите отчет.

Контрольные вопросы.

1. Какое максимальное обратное напряжение на диоде будет при использовании схемы однополупериодного выпрямителя.

2. Зачем в схему выпрямителей включают конденсатор фильтра.

3. Если емкость конденсатора фильтра будет существенно больше расчетной, то что изменится в осциллограммах.

4. Какое максимальное обратное напряжение на диодах будет при использовании схемы двухполупериодного выпрямителя.

5. Можно ли использовать индуктивность в качестве фильтрующего элемента.

6. Как определить необходимую величину коэффициента передачи трансформатора при построении схемы выпрямителя.

7. Как влияет внутреннее сопротивление источника переменного напряжения на среднее значение выпрямленного напряжения.

8. Как рассчитать необходимое переменное напряжение, если известно требуемое напряжение нагрузки.

9. Каково должно быть соотношение между током нагрузки и максимальным допустимым током диода в одно и двухполупериодной схемах.

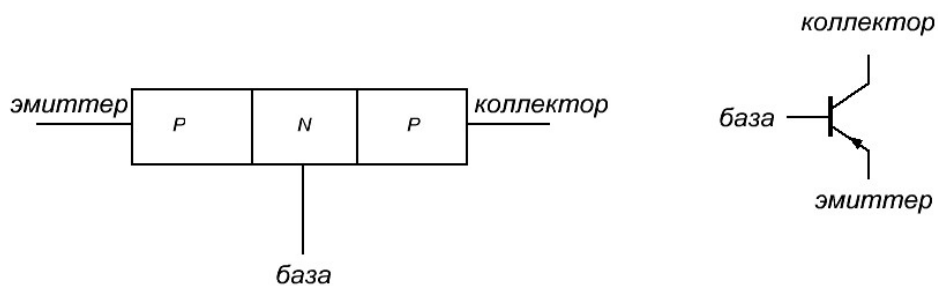
10. Как влияет емкость конденсатора фильтра на максимальный ток вторичной обмотки трансформатора.

Лабораторная работа № 3 ТРАНЗИСТОРЫ 1

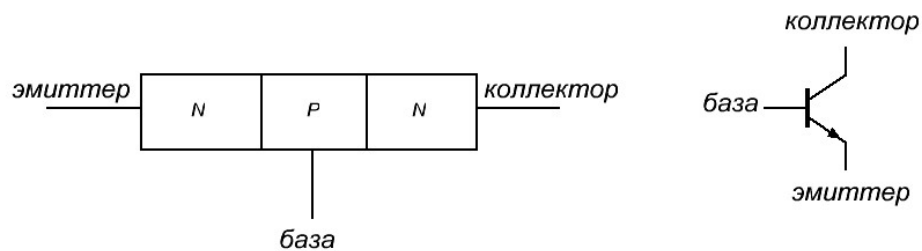
Цель работы:

Снятие и анализ входных и выходных характеристик биполярного транзистора в схеме с общим эмиттером и определение по ним его физических и h -параметров.

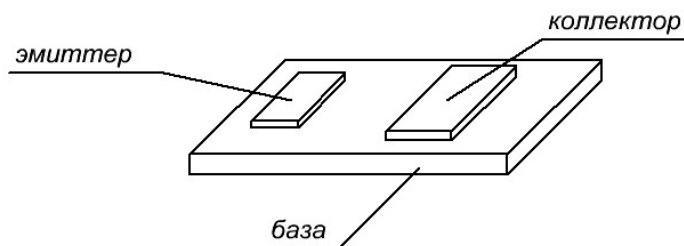
Биполярные транзисторы – это полупроводниковые приборы, имеющие структуру $p-n-p$ или $n-p-n$ -типа с тремя выводами, связанными с тремя областями: коллектор (K), база (B) и эмиттер (\mathcal{E}) (рисунок 3.1а,б,в).



а) транзистор *p-n-p*



б) транзистор *n-p-n*



в) устройство планарного транзистора

Рисунок 3.1 – Структуры транзисторов и их условное обозначение

Транзистор предназначен для усиления сигналов, генерирования колебаний, переключения и т.п. Схема включения транзистора с ОЭ является наиболее распространенной вследствие того, что он усиливает входной сигнал и по напряжению, и по току

Токи транзистора в схеме включения с ОЭ (см. рисунок 3.2) связаны уравнением:

$$I_э = I_к + I_б \quad (3.1)$$

Отношение тока коллектора к току базы называют коэффициентом передачи тока:

$$\beta = \frac{I_к}{I_б} \quad (3.2)$$

Простейшей моделью биполярного транзистора является модель Эберса–Молла, в основу которой положена диодная эквивалентная схема. Модель имеет три параметра и описывает все первичные эффекты (3.3):

$$I_k = I_{k0} \left(e^{U_{БЭ}/U_T} - 1 \right), \quad (3.3)$$

где: I_{k0} теоретический начальный ток коллектора,
 $U_T = kT/e_0$ напряжение термического потенциала (26мВ/град К).

Более точной является модель Гуммеля–Пуна, которая позволяет весьма точно описывать статические свойства транзистора и применяется в программах компьютерного моделирования.

Схема (рисунок 3.2) позволяет снять все статические вольтамперные характеристики транзистора. Так для снятия переходной характеристики (рисунок 3.3, а) необходимо ступенчато изменять напряжение U_B (от 0 до 1-1,5В) и при этом снимать показания вольтметра в цепи базы (U_B) и, соответствующие им показания амперметра в цепи коллектора (I_k). При этом напряжение на коллекторе остается неизменным. Увеличивать напряжение на переходе база-эмиттер можно до того момента пока ток коллектора не достигнет максимально-допустимого значения (I_{max} для конкретного транзистора смотрите в базе Multisim, для этого: сделать двойной щелчок левой кнопкой мышки на транзисторе, в окне выбрать Value-Edit Component in DB). Если одновременно с показаниями U_B снимать показания амперметра в цепи базы (I_B), то получим точки для построения входной характеристики.

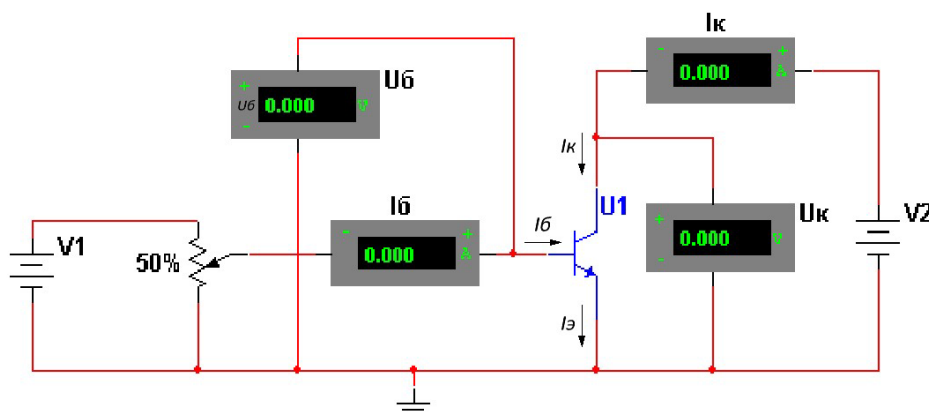


Рисунок 3.2 – Схема включения транзистора с общим эмиттером, позволяющая снять все его вольтамперные характеристики

Семейство выходных характеристик снимаем следующим образом: устанавливаем напряжение базы, при котором ток коллектора составляет примерно 1-3мА. Далее ступенчато меняем напряжение источника V_2 от 0 до $U_{kэ\ max}$ и снимаем показания вольтметра ($U_{кэ}$) и амперметра в цепи коллектора (I_k). Полученные данные позволяют построить выходную характеристику а, чтобы построить семейство выходных характеристик необходимо увеличить напряжение база-эмиттер на 20-30мВ и повторить предыдущие действия и так далее.

Входные и выходные характеристики транзистора используют для анализа работы транзисторов и для расчета схем при больших сигналах. С помощью ВАХ можно найти все параметры транзистора путем построения

характеристических треугольников, как это показано на рисунках 3.3. Характеристический треугольник строится в окрестности выбранной рабочей точки (А). Вершины острых углов треугольника располагаются на самой характеристике равноудаленно от точки А, а его катеты параллельны осям координат.

В связи с тем, что графический способ расчета не обладает высокой точностью, погрешность, обусловленная криволинейностью ВАХ, можно не принимать во внимание. Через соотношения катетов треугольников (рисунок 3.3) можно вычислить h -параметры линейного четырехполюсника (рисунок 3.4), которым заменяют транзистор при расчетах в режиме малого сигнала:

$$h_{11э} = \left| \frac{\Delta U_{бэ}}{\Delta I_б} \right| = r_{бэ}, \text{ при } U_{кэ} = const \quad (3.3)$$

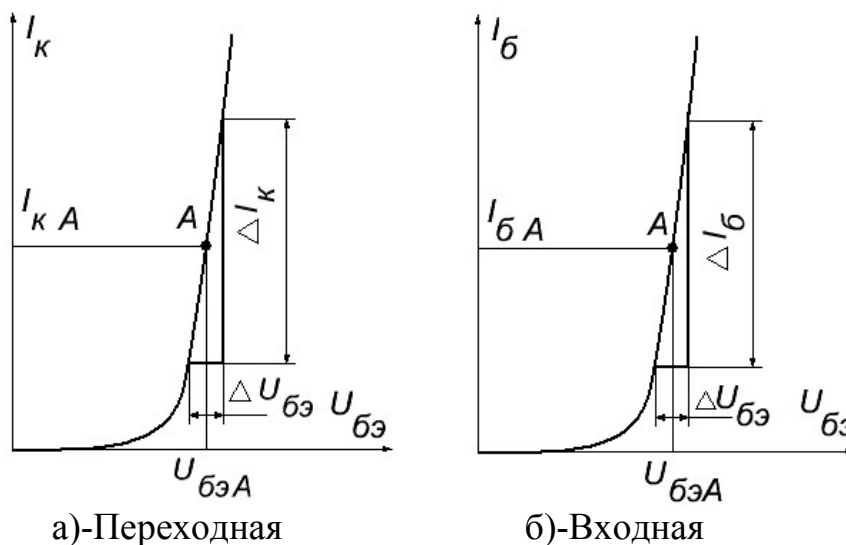
$$h_{12э} = \left| \frac{\Delta U_{бэ}}{\Delta U_{кэ}} \right| \approx 0, \text{ при } I_б = const \quad (3.4)$$

$$h_{21э} = \left| \frac{\Delta I_к}{\Delta I_б} \right| \approx \beta \text{ (при } I_к = const), \quad (3.5)$$

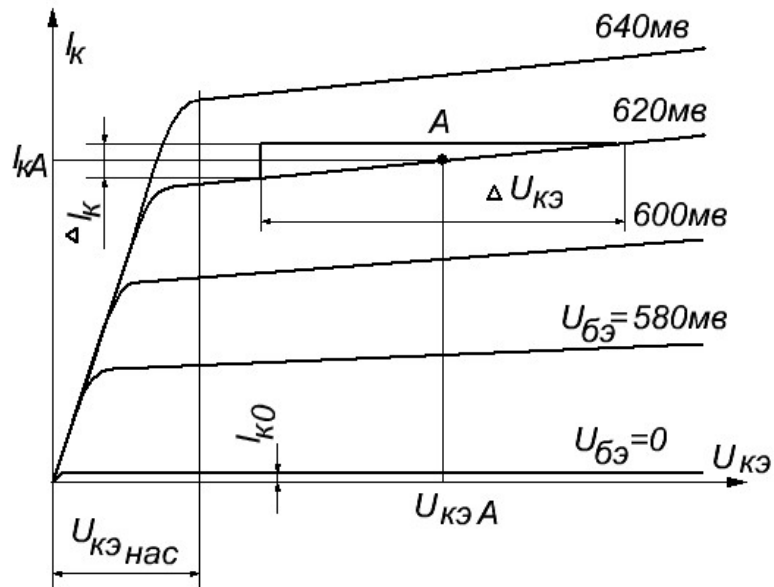
$$h_{22э} = \left| \frac{\Delta I_к}{\Delta U_{кэ}} \right| \approx \frac{1}{r_{кэ}} \text{ (при } I_б = const), \quad (3.6)$$

где:

$h_{11э}$ -динамическое сопротивление перехода база-эмиттер,



а)-Переходная
б)-Входная
Рисунок 3.3-Статические вольтамперные характеристики транзистора в схеме с общим эмиттером



в)-Семейство выходных
Продолжение рисунка 3

$h_{12э}$ -обратная крутизна (коэффициент внутренней обратной связи),
 $h_{21э}$ - коэффициент передачи тока,
 $h_{22э}$ - выходная проводимость.

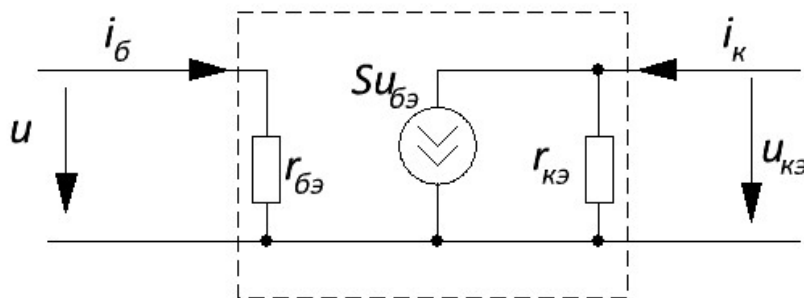


Рисунок 3.4–Модель транзистора в виде линейного четырехполюсника (режим малого сигнала)

В свою очередь h -параметры связаны с физическими параметрами транзистора следующим образом:

$$r_{бэ} = h_{11э}; \quad (3.7)$$

$$S_{обр} = h_{12э}/h_{11э} \approx 10^{-3} - 10^{-4}; \quad (3.8)$$

$$S = h_{21э}/h_{11э} = \beta/r_{бэ}; \quad (3.9)$$

$$r_{кэ} \approx 1/h_{22э}. \quad (3.10)$$

В среде Multisim статические ВАХ строятся с использованием построителя ВАХ IV Analyses, который позволяет, с одной стороны, упростить съем характеристик, с другой построить их по более точной модели Гуммеля–Пуна. В окне Components выбрать тип транзистора, подключить его как показано в

окне IV Analyses, и задав параметры во вкладке Simulate Parameters, включить моделирование. В окне IV Analyses появится семейство из n (Num Steps) выходных характеристик. Выделив нужную кривую и перемещая визирную линию снимем значения ВАХ в нужных точках.

Для построения входной характеристики в окне Components выбираем Diod. В этом режиме коллектор можно подключить к отдельному заземленному источнику постоянного напряжения и тогда появится возможность выявить влияние напряжения коллектора на входную ВАХ.

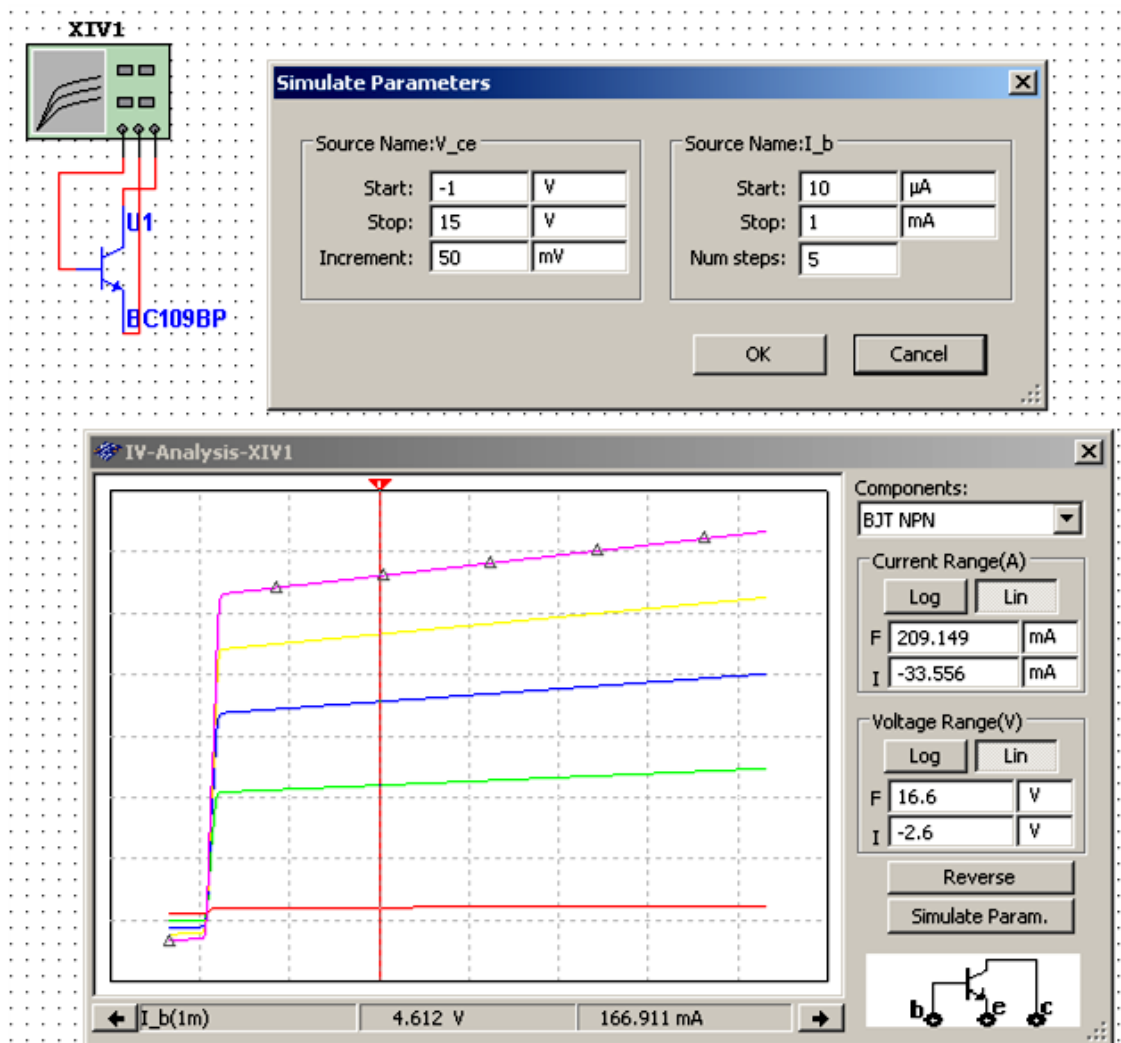


Рисунок 3.5 – Подключение транзистора и задание параметров моделирования ВАХ

Порядок выполнения работы.

1). Собрать схему по рисунку 3.2. Выбрать вариант задания из таблицы 3.1. Задать положение рабочей точки каскада с общим эмиттером, установив $V_2 = U_{кА} \approx (U_{кэ\ max}/2)$, $V_1 = (1 \div 2)$ В и, с помощью потенциометра, $I_{кА} \approx (I_{к\ max}/2)$. Снять показания амперметров в цепи базы и в цепи коллектора и по их соотношению определить статический коэффициент передачи тока $B = I_{кА} / I_{бА}$.

2). Снять показания всех приборов схемы при уменьшении тока коллектора до $\sim 0,9 U_{кА}$ и его увеличении до $\sim 1,1 U_{кА}$. Полученные значения занести в

таблицу 3.1. Рассчитать параметры транзистора, пользуясь выражениями (3.3)...(3.10), на интервале 0,9-1 $U_{кА}$ и 0,9-1,1 $U_{кА}$. Объяснить разницу в результатах расчетов на разных интервалах измерения.

3). Снять входную, и семейство выходных характеристик с помощью прибора IV Analyses в среде Multisim в том же диапазоне параметров, что и в предыдущих пунктах. Сравнить результаты, полученные в пунктах 1,2 и 3.

Таблица 3.1 – Результаты измерений и расчетов

Результаты измерений					Результаты расчета На интервале 1-2/1-3			
№ п/п	$U_{кА}$, В	$I_{кА}$, мА(А)	$U_{бА}$, мВ	$I_{бА}$, мА	β	S мА/В	$r_{бэ}$ КОм	$r_{кэ}$ КОм
1								
2								
3								

Таблица 3.2 – Варианты заданий

п/п	Марка транзистора	Максимальное напряжение $U_{кэ max}$, В	Максимальный ток коллектора $I_{к max}$, А
1	BC327	45	1
2	BC547	50	0,1
3	BC639	100	1
4	2N2222A	60	0.8
5	2N6754	500	10
6	2N5232	50	0.3
7	2N5551	180	0.6
8	2N2905	40	0.6
9	2N3494	80	0.1

Сформулировать и записать выводы, оформить отчет.

Контрольные вопросы.

1. Чем отличаются структуры транзисторов прямой и обратной проводимости.
2. Как изменяется входная ВАХ транзистора в схеме с общим эмиттером при изменении напряжения между коллектором и эмиттером.
3. На какие области делится поле семейства выходных характеристик.
4. Какой параметр определяют с помощью характеристического треугольника на переходной характеристике.
5. Что такое рабочая точка транзистора.
6. Как интерпретировать режим малого сигнала.
7. Что показывает динамический коэффициент передачи тока.
8. Что такое динамическое сопротивление перехода транзистора.

Лабораторная работа № 4 ТРАНЗИСТОРЫ 2

Цель работы: изучить работу базовых схем на транзисторах.

4.1 Эмиттерный повторитель (каскад с общим коллектором).

Соберите эмиттерный повторитель на идеальном транзисторе (вариант в таблице 4.1), схема на рисунке 4.1 (S2 в нижнем положении S1 в верхнем). Подайте на вход схемы синусоидальное напряжение, симметричное относительно нуля (без постоянной составляющей). Амплитудное значение входного напряжения частотой $f=1-3\text{КГц}$ установите равным половине напряжения питания схемы $+U$.

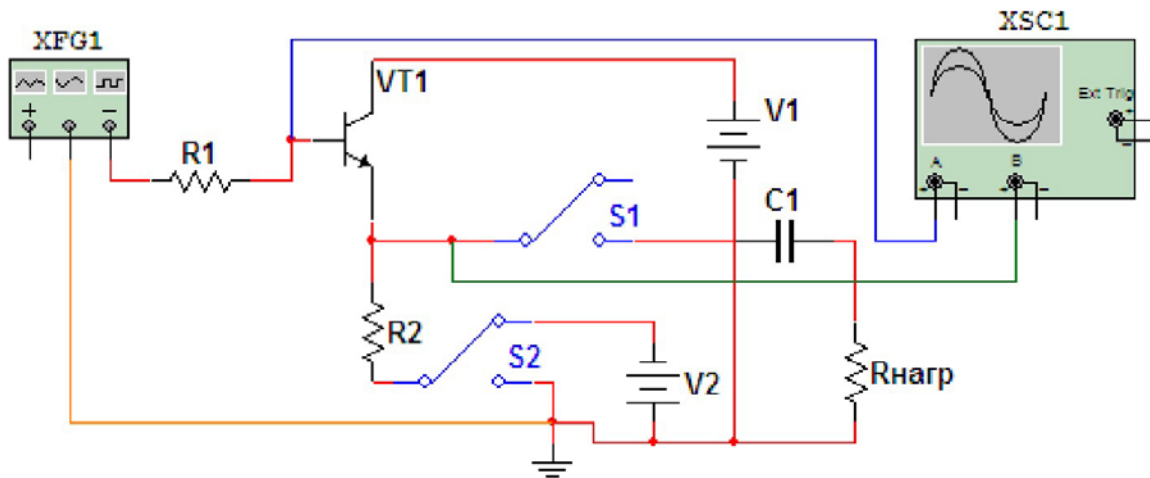


Рисунок 4.1 – Эмиттерный повторитель.

Посмотрите с помощью осциллографа выходное напряжение. Объясните, почему выходное напряжение так отличается от входного. Далее подсоедините нижний вывод резистора R2 к напряжению $-U$ вместо общего провода (переключите S2 в верхнее положение) и посмотрите выходной сигнал. Объясните, что произошло. Далее оставьте такое подключение.

Затем определяем динамическое входное и выходное сопротивление схемы. Для этого, замените резистор R1 на 10 кОм , чтобы имитировать источник сигнала с умеренно высоким полным сопротивлением.

1) Измерьте $r_{\text{вых}}$ — выходное полное сопротивление повторителя, подсоединив нагрузку R_n через блокировочный конденсатор C1 к выходу повторителя (S1 в нижнем положении). Конденсатор нужен для того, чтобы при подключении нагрузки не нарушался режим по постоянному току. Входное напряжение уменьшите до $0,5\text{В}$. Измерьте амплитуду выходного сигнала на эмиттере транзистора с помощью осциллографа при подключенной U_n и при отключенной нагрузке $U_{\text{хх}}$. Считая, что выход эмиттерного повторителя, как источника сигнала имеет сопротивление $r_{\text{вых}}$, получаем делитель напряжения. Конденсатор $C1=100\text{ мкФ}$ имеет достаточно большую емкость и соответственно его сопротивление на рабочей частоте ($X_c=1/2\pi f C1$) пренебрежимо мало по сравнению с R_n и его влияние не учитываем

(выполнить проверку: $X_c \ll R_H$). Из формулы (4.1) делителя напряжения найдите $r_{\text{ВЫХ}}$.

$$U_H = U_{\text{ХХ}} R_H / r_{\text{ВЫХ}} + R_H. \quad (4.1)$$

Рассчитайте выходное сопротивление схемы в соответствии с теоретической формулой (4.2) и сравните результаты.

$$r_{\text{ВЫХ}} = \frac{R_2/S}{(1/S)+R_2} + \frac{R_1}{\beta} \quad (4.2)$$

Где: $S = I_K/U_T$ – крутизна,

β – динамический коэффициент передачи тока транзистора.

2) Измерьте $r_{\text{ВХ}}$ - входное полное сопротивление эмиттерного повторителя.

Для этого измерьте напряжение на обоих выводах резистора R1. В этот раз также образуется делитель из R1 и $r_{\text{ВХ}}$ и падение напряжения на резисторе R1 будет падением на верхнем плече делителя. Зная входное напряжение, рассчитываем входное сопротивление схемы. Измерения провести при подключенной и при отключенной нагрузке и рассчитать два значения входного сопротивления. Сравнить полученные экспериментальные значения с рассчитанными по теоретической формуле значениями (4.3).

$$r_{\text{ВХ}} = \beta \left(1/S + \frac{R_2 R_H}{R_2 + R_H} \right) \quad (4.3)$$

при отключенном резисторе R2 его сопротивление считать бесконечным.

Таблица 4.1 – Варианты заданий на выполнение пункта 1.

№ п/п	Резистор R1 (КОм)	Резистор R2 (КОм)	Резистор Rн (КОм)	Напряжение питания V1/V2 (В)
1	0,15	0,91	0,33	+/-6
2	0,22	1,5	0,56	+/-8
3	0,27	2	0,68	+/-10
4	0,33	1,8	0,62	+/-11
5	0,1	0,68	0,33	+/-10
6	1	5,1	1,6	+/-14
7	1,5	4,2	1,3	+/-12
8	0,91	4,7	2	+/-15

4.2. Эмиттерный повторитель с однополярным источником питания

На рисунке 4.2 показана схема эмиттерного повторителя, работающего от одиночного источника положительного питания.

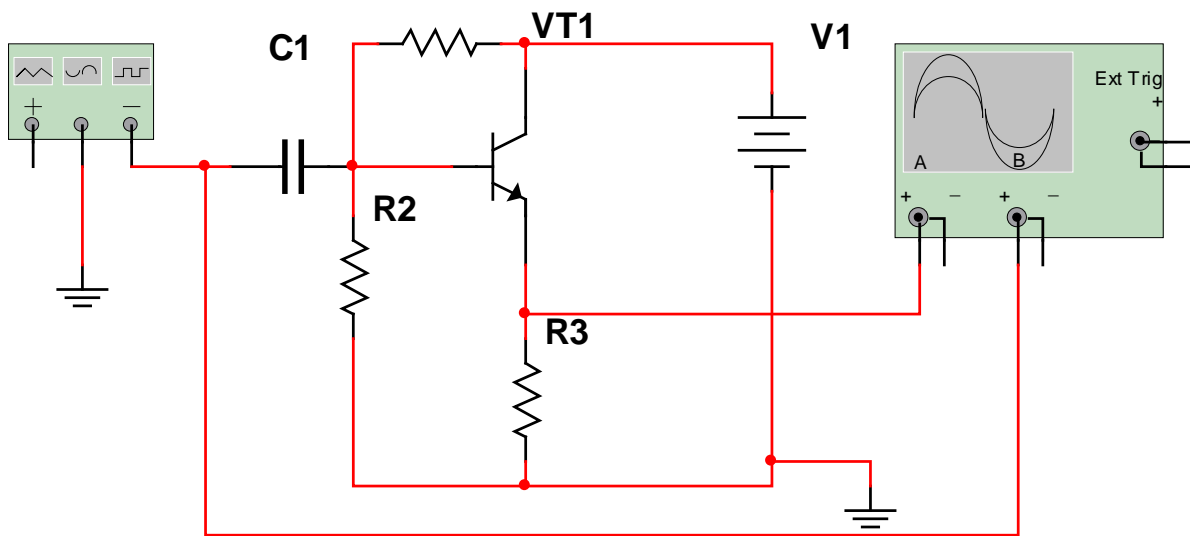


Рисунок 4.2 – Эмиттерный повторитель с однополярным источником питания

Режим по постоянному току в этой схеме задается делителем в цепи базы. Соберите схему, предварительно рассчитав значения сопротивлений резисторов R1 и R2 исходя из того, что ток делителя в цепи базы должен на порядок превышать ток базы, второе условие - потенциал базы относительно общего провода должен составлять половину напряжения питания плюс 0,6В (падение напряжения на переходе база-эмиттер кремниевого транзистора). Объясните для чего устанавливается такой потенциал базы. Ток базы рассчитайте, принимая во внимание, что:

$$I_B = I_K / \beta, \quad (4.4)$$

$$I_3 = (\beta + 1) I_B, \quad (4.5)$$

$$I_3 = U_3 / R_3, \quad (4.6)$$

$$U_3 = U_B - U_{БЭ}. \quad (4.7)$$

Сопротивление резистора R3 возьмите равным сопротивлению нагрузки для вашего варианта (таблица 4.1), отсюда же возьмите и значение напряжения питания схемы. Подключите осциллограф, установите частоту генератора синусоидального сигнала 1-3КГц. Убедитесь, что постоянное напряжение эмиттера составляет примерно половину напряжения питания. Увеличивайте входное напряжение до появления ограничения выходного сигнала, таким образом, определите максимально допустимый размах выходного напряжения. Усилитель при наибольшем динамическом диапазоне должен иметь симметричное ограничение. Объясните полученные результаты.

4.3 Транзисторный источник тока.

Простейший источник тока на транзисторе строится по схеме, показанной на рисунке 4.3.

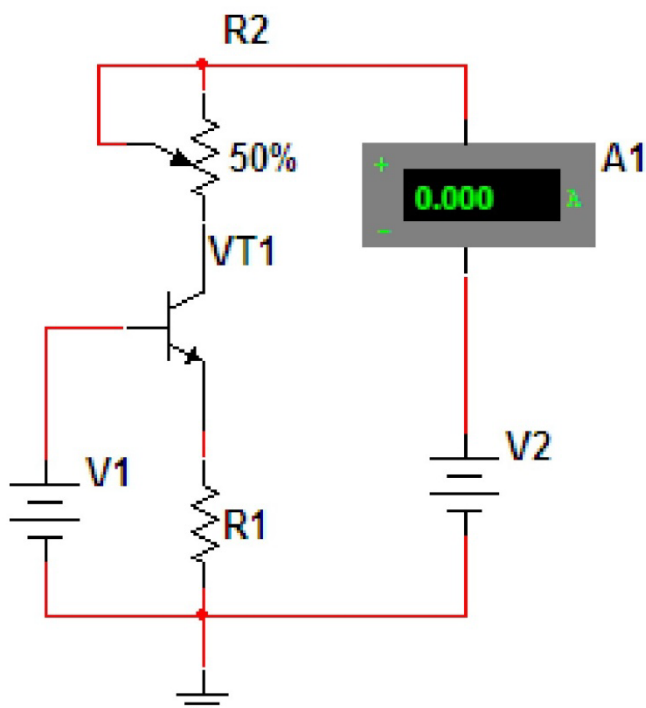


Рисунок 4.3 – Транзисторный источник тока

Работа схемы базируется на том, что за счет обратной связи по току ($R_э$) динамическое сопротивление транзистора многократно возрастает (формула 4.4) и выходное динамическое сопротивление схемы составит:

$$r_{вн} = r_{кэ} (1 + \beta R_э / (r_{внUб} + r_{бэ} + R_э)) \quad (4.8).$$

Таким образом, сопротивление нагрузки становится очень малым, в сравнении с внутренним сопротивлением источника тока, и степень его влияния становится незначительной.

Эта схема не лишена недостатков, основными из которых считаются зависимость тока от температуры и от напряжения на коллекторе транзистора (эффект Эрли). Исследуйте поведение схемы при изменении сопротивления нагрузки от 0 до R_n максимального. Результаты сведите в таблицу 4.2.

Таблица 4.2 – Экспериментальные данные.

Параметр	$R_n=0$	$0,2R_n$ мах	$0,4R_n$ мах	$0,6R_n$ мах	$0,8R_n$ мах	R_n мах
Ik						
Uк						

Объясните отклонение тока от расчетного ($I_n = U_э / R_э$) при значительном увеличении сопротивления нагрузки.

Таблица 4.3 – Варианты номиналов схемы транзисторного источника тока

№ п/п	Uб, В	Ек, В	Rэ, КОм	Rн max, КОм
1	3	10	1	3,0
2	4	12	1,2	3,3
3	5	15	1,5	3,6
4	4,5	12	2	4,3
5	3,5	10	0,51	1,5
6	5,5	15	0,75	1,8
7	2,7	10	0,22	1,3
8	3,3	12	0,1	0,33

Снимите зависимости выходного тока схемы от температуры и от напряжения коллектора. Для этого в среде Multisim выберите пункт меню Simulate далее Analyses, Temperature Sweep Analyses. В открывшемся окне установите параметры анализа, запустите моделирование и нажмите в окне Grapher View кнопку Show Cursors. Выберите из таблицы значения тока, потребляемого от источника, при соответствующих значениях температуры и постройте график. Рассчитайте температурный коэффициент как отношение изменения тока в мА к изменению температуры на 1град. Цельсия. Объясните механизм влияния температуры на выходной ток.

Аналогичным образом снимите зависимость выходного тока от напряжения питания: Simulate- Analyses- Parameter Sweep- Grapher View - Show Cursors. По данным открывшейся таблицы рассчитайте выходное сопротивление источника тока и сравните с расчетным. Варианты заданий в таблице 4.3.

Сформулируйте и обоснуйте выводы по проделанной работе. Оформите отчет.

Контрольные вопросы.

- 1.Зачем требуется напряжение смещения базы в эмиттерном повторителе при однополярном питании.
- 2.Чем обусловлено нижнее ограничение выходного сигнала эмиттерного повторителя.
- 3.Как влияет сопротивление нагрузки на входное сопротивление эмиттерного повторителя.
- 4.Почему размах напряжение на выходе эмиттерного повторителя ниже размаха входного напряжения.
- 5.Почему выходное напряжение эмиттерного повторителя смещено вниз относительно входного.

6. Каким должно быть смещение базы эмиттерного повторителя для того чтобы был обеспечен максимальный размах выходного напряжения.
7. На каком эффекте основана схема транзисторного источника тока.
8. Почему при увеличении сопротивления нагрузки сверх максимального происходит падение выходного тока транзисторного источника тока.
9. С чем связано изменение выходного тока транзисторного источника тока при изменении напряжения на коллекторе транзистора.
10. Что изменится, если в качестве источника опорного напряжения цепи базы в транзисторном источнике тока включить делитель напряжения.
11. Какая связь между внутренним сопротивлением транзисторного источника тока и точностью поддержания этого тока.

Лабораторная работа № 5 ТРАНЗИСТОРЫ 3 ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫЙ УСИЛИТЕЛЬ

Цель работы: Изучить принцип работы дифференциального усилителя, особенности его применения, научиться рассчитывать его компоненты и режимы.

Дифференциальный усилитель обладает полезным свойством усиливать малый дифференциальный сигнал, подавляя при этом синфазный сигнал. В реальных ситуациях синфазный сигнал U_{cc} может во много раз превышать дифференциальный $U_{дифф}$ и при этом никакой другой усилитель, кроме дифференциального, не может обеспечить необходимое усиление. Такая ситуация возникает почти всегда при применении мостовых схем включения различных датчиков (рисунок 5.1), а также при использовании длинных линий связи, когда на прямой и обратный проводники действует внешняя помеха. Использование дифференциального усилителя в составе операционных усилителей обусловлено тем, что он имеет два входа, а это облегчает применение в схемах различных обратных связей.

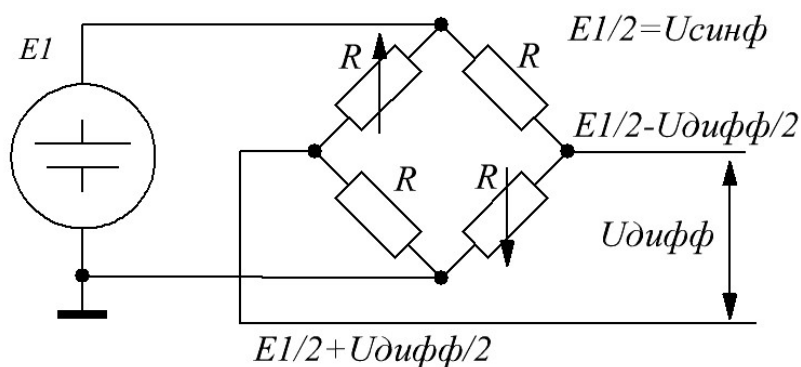


Рисунок 5.1 – Мостовая схема включения резистивных датчиков

Дифференциальный усилитель строится по симметричной схеме (рисунок 5.2), резисторы одинакового сопротивления устанавливаются в цепях коллекторов транзисторов VT1 и VT2, а их эмиттеры соединены между собой. Питается каскад, как правило, от двухполярного источника питания, но возможно и однополярное питание. Резистор в цепи эмиттеров задает токи коллекторов транзисторов, выступая в роли источника тока:

$$(I_{к1} + I_{б1}) + (I_{к2} + I_{б2}) = I_{э\text{ общ}} \approx Const, \quad (5.1)$$

$$I_{э\text{ общ}} = (|-U_{пит}| - U_{бэ})/R_э. \quad (5.2)$$

При полной симметрии каскада токи коллекторов равны между собой.

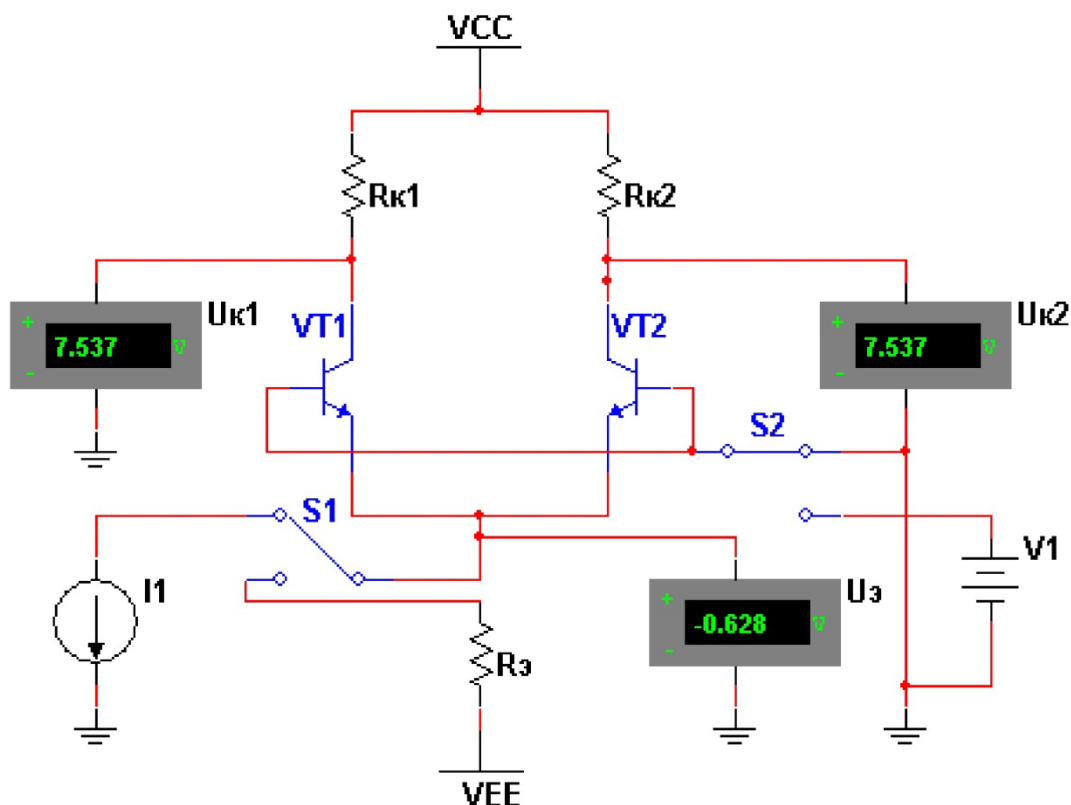


Рисунок 5.2 – Дифференциальный усилитель. Схема для измерения режимов в отсутствии сигналов

Появление на входах дифференциального сигнала приводит к перераспределению токов коллекторов VT1, VT2 и между их коллекторами появляется дифференциальное выходное напряжение. В этом режиме каждое плечо схемы можно считать каскадом с общим эмиттером и тогда коэффициент дифференциального усиления составит:

$$A_{U_{дифф}} = \frac{U_{дифф.вых}}{U_{дифф.вх}} = \pm SR_K = \frac{I_{э\text{ общ}}}{U_T} R_K. \quad (5.3)$$

Если сигнал снимается только с одного выхода относительно общего провода то его уровень будет в 2 раза меньше, чем рассчитанный по формуле 5.3. Синфазный сигнал вызовет одновременное изменение токов транзисторов VT1, VT2 на одну и ту же величину, при этом дифференциальное выходное напряжение не изменит своего значения. Если используется только один выход

дифференциального усилителя (с коллектора VT1 или с коллектора VT2), то синфазный сигнал будет усилен в $A_{U_{CC}}$ раз:

$$A_{U_{CC}} = - \frac{R_K}{2R_Э} . \quad (5.4)$$

Если в цепи эмиттеров используется источник тока, то вместо $R_Э$ в формуле 5.4 нужно подставить значение его внутреннего сопротивления $R_{ит}$. Степень подавления синфазной составляющей сигнала, по отношению к дифференциальной характеризует качество диффусилителя и выражается коэффициентом ослабления синфазного сигнала (КОСС), равным:

$$КОСС = 20 \log \frac{A_{U_{дифф}}}{A_{U_{CC}}} . \quad (5.5)$$

Порядок выполнения работы.

1.Соберите схему по рисунку 5.2, предварительно рассчитав в соответствии с вариантом задания (таблица 5.1), режим каскада по постоянному току(переключатель S1 установите в нижнее положение, а S2 в верхнее при двухполярном питании или в нижнее при однополярном). Марку транзисторов возьмите из таблицы 3.2 вариантов заданий лабораторной работы №3. Установите значения номиналов элементов и напряжения источников VCC, VEE, V1и запустите моделирование.Снимите показания приборов. Сравните расчетные и полученные в результате моделирования значения, объясните небольшие различия результатов (вы помните о токе базы?). Попробуйте в небольших пределах изменить сопротивление резистора в цепи коллектора одного из транзисторов и повторите моделирование. Объясните полученный результат. Восстановите значение сопротивления резистора в цепи коллектора.

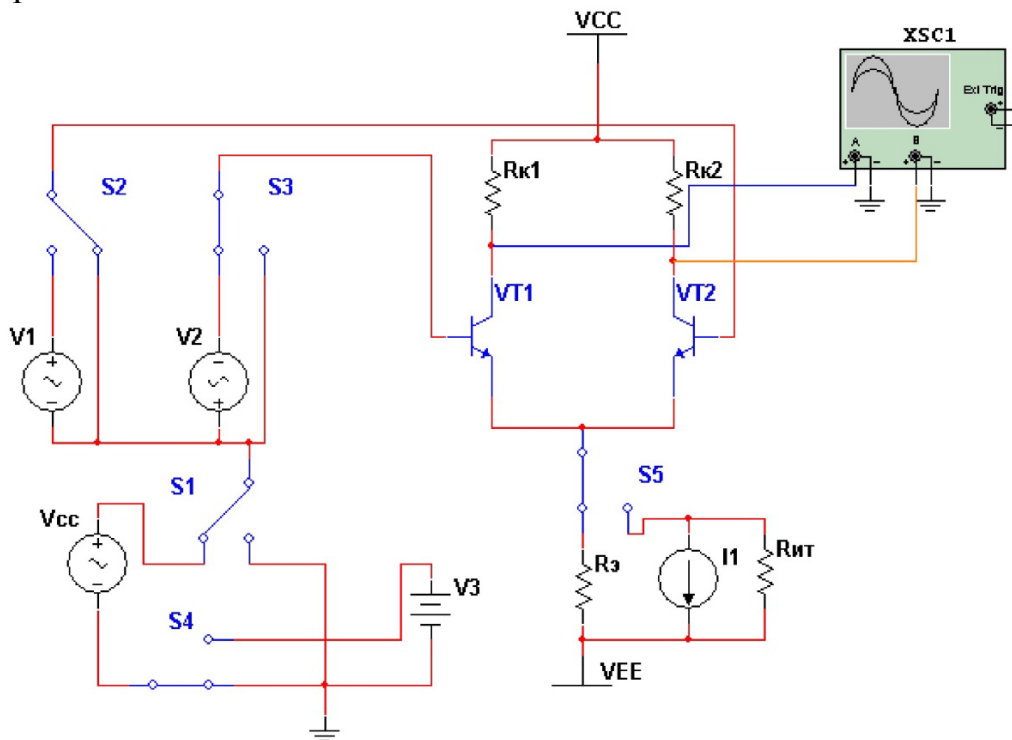


Рисунок 5.3 – Схема для исследования дифференциального усилителя в режиме малого сигнала

Переключите S1 в верхнее положение (ток источника тока установлен в соответствии с вариантом задания) и повторите моделирование. Что дала замена резистора Rэ на источник тока, как это сказалось на режиме каскада?

2. Соберите схему по рисунку 5.3. Номиналы элементов и напряжения источников те же, что и в пункте 1 (напряжение V3 принять равным V1). Установите напряжение и частоту дифференциального ($V1 = \frac{U_{вх.дифф}}{2} = 1\text{мВ}$, $V2 = \frac{-U_{вх.дифф}}{2} = 1\text{мВ}$, 100-200Гц) и синфазного ($V_{cc}=U_{cc}=10\text{мВ}$, 50 Гц) сигналов. Переключатели S1, S2, S3 и S5 установить в левое положение, а S4 в нижнее при двухполярном питании или в верхнее при однополярном. Для указанных параметров рассчитайте КОСС. Запустите моделирование. Измерьте коэффициенты усиления дифференциального сигнала, предварительно переключив S1 в правое положение, и синфазного сигнала (S1 в левом положении, S2 и S3 в правом). Сравните КОСС, полученный расчетным путем и измеренный. Посмотрите с помощью осциллографа форму сигналов на базах и коллекторах транзисторов, а также между коллекторами транзисторов. Объясните результаты.

3. Установите переключатель S5 в правое положение, внутреннее сопротивление источника тока возьмите равным полученному в предыдущей 4 лабораторной работе, а величину тока равной Iэ общ из таблицы 5.1. Повторите пункты 1 и 2.

4. Сформулируйте выводы и оформите отчет.

Таблица 5.1 – Варианты заданий

№	Напряжение питания +VCC, (В)	Напряжение питания -VEE, (В)	Ток эмиттеров Iэ общ., (мА)	Напряжение коллектора UкА, (В)	Напряжение смещения V1 или V3 ,(В)
1	15	-15	2	0,5(+VCC)	0
2	12	0	5	0,86(+VCC)	4
3	10	-12	10	0,3(+VCC)	0
4	8	0	3	0,85(+VCC)	3,3
5	13	-15	4	0,25(+VCC)	0
6	11	0	7	0,8(+VCC)	4,2
7	9	-10	1,5	0,72(+VCC)	0
8	14	0	2,5	0,75(+VCC)	7

Контрольные вопросы.

1. Для каких применений оптимален дифференциальный усилитель.
2. Что такое КОСС.
3. Если выходное напряжение снимать с симметричного выхода, то каким будет значение КОСС.
4. Как ток эмиттеров дифференциального усилителя влияет на коэффициент дифференциального усиления.
5. Что дает использование транзисторного источника тока в эмиттерной цепи дифференциального усилителя.
6. Как зависит коэффициент дифференциального усиления от положения рабочей точки усилителя.
7. Влияет ли выходное сопротивление источника тока в эмиттерной цепи дифференциального усилителя на его режим по постоянному току.
8. Как сказывается несимметричность дифференциального усилителя на значении КОСС.
9. Как влияет уровень синфазного сигнала на значение КОСС.
10. Как отличаются коэффициенты усиления дифференциального усилителя на симметричном и несимметрично выходах.
11. Одинаковы ли значения входного сопротивления дифференциального усилителя для дифференциального и синфазного сигналов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Хоровиц П., Хилл У. Искусство схемотехники: Пер. с англ.-Изд. 2-е,- М.:Бином,2014.-704 с.,ил. (стр.**50-61,87-114**)
2. Титце У., Шенк К. Полупроводниковая схемотехника: 12-е изд. Том 1:Пер. с нем.-М.:ДМК Пресс, 2008.-832 с., ил. (стр. **17-34,41-49,78-81,156-165,368-432**)
3. Хернитер Марк Е.Multisim 7: Современная система компьютерного моделирования и анализа схем электронных устройств.Пер. с англ.-М.: Издательский дом ДМК-пресс.2006ю-488 с.: ил.
4. Лачин В. И., Савёлов Н.С. Электроника: Учеб.пособие.-Ростов н/Д: изд-во «Феникс», 2000. -448 с. (стр. **28-40,53-81**)

Кудряшов Борис Петрович
Иванов Алексей Александрович

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА И ЭЛЕКТРОНИКА
Часть 1

Методические указания
к выполнению лабораторных работ
для студентов очной и заочной форм обучения
направления 220700.62 «Автоматизация технологических процессов и
производств»

Авторская редакция

Подписано в печать 16.03.15	Формат 60x84 1/16	Бумага 65 г/м ²
Печать цифровая	Усл. печ.л 1,75	Уч.-изд. л 1,75
Заказ 47	Тираж 25	Не для продажи

РИЦ Курганского государственного университета.
640000, г. Курган, ул. Советская, 63/4.
Курганский государственный университет.