

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО СВЯЗИ
Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ
им. проф. М. А. БОНЧ-БРУЕВИЧА»

*Е.И. Бочаров, А.П. Бессонов, И.А. Кратиров,
В.М. Павлов, Ю.М. Першин, К.А. Фирсов*

ЭЛЕКТРОНИКА

**Методические указания
к лабораторным работам**

СПб ГУТ)))

**САНКТ-ПЕТЕРБУРГ
2010**

УДК 621.38 (076.5)
ББК 385я43
Э45

Рецензент
проректор по В и ЗО СПбГУТ им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, к. т. н., профессор
В. С. Иванов

*Рекомендовано к печати
редакционно-издательским советом университета*

Электроника: методические указания к лабораторным работам /
Э45 Е.И. Бочаров, А.П. Бессонов, И.А. Кратиров, В.М. Павлов, Ю.М. Першин,
К.А. Фирсов. – СПб. : Изд-во «Теледом» ГОУВПО СПбГУТ, 2010. – 48 с.

Приводятся описания лабораторных работ, инструкция по технике безопасности, требования к отчету и рекомендуемая литература.

Предназначены для студентов специальностей 210400, 210401, 210402, 210403, 210404, 210405, 210406, 210102, 210105, 210302, 230312.

УДК 621.38 (076.5)
ББК 385я43

© Е.И. Бочаров, А.П. Бессонов, И.А. Кратиров,
В.М. Павлов, Ю.М. Першин, К.А. Фирсов, 2010
© Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Санкт-Петербургский государственный
университет телекоммуникаций
им. проф. М. А. Бонч-Бруевича», 2010

ИНСТРУКЦИЯ ПО ТЕХНИКЕ БЕЗОПАСНОСТИ

Помещение лаборатории, в котором проводятся занятия, с точки зрения опасности поражения электрическим током, относится к помещениям с повышенной опасностью, поскольку в нем используется аппаратура, питающаяся напряжением более 30 В. Поэтому при работе в лаборатории необходимо проявлять внимательность и осторожность.

Наибольшую опасность представляют задние стенки лабораторных установок и осциллографов, к которым подводятся кабели, питающие аппаратуру от сети переменного тока напряжением 220 В. Запрещается прикасаться к задним стенкам, вытаскивать предохранители, вынимать вилки питания приборов из розеток. Все работы, связанные с устранением неполадок в работе измерительных установок, заменой приборов, проводятся преподавателем или лаборантом.

На лабораторный модуль, коммутационное поле которого служит для сборки исследуемых схем, подается напряжение, не превышающее 30 В и считающееся безопасными для человека. Несмотря на это при работе со схемами также следует соблюдать осторожность и все операции выполнять только одной рукой.

Обо всех нестандартных ситуациях при работе с измерительными установками следует немедленно сообщить преподавателю или лаборанту. При опасности поражения электрическим током необходимо обесточить аппаратуру, выключив главный рубильник.

ТРЕБОВАНИЯ К ОТЧЕТУ ПО ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ

Отчет по лабораторной работе выполняется каждым студентом индивидуально и сдается на проверку преподавателю на следующем лабораторном занятии.

Отчет выполняется на двойном тетрадном листе в клетку. Первая страница отчета представляет собой обложку, на которой приводятся номер работы, ее название, фамилия и инициалы студента и номер учебной группы. На первой внутренней странице повторяется название работы, приводится ее цель и далее по пунктам подробно описываются результаты работы.

Каждый пункт отчета должен иметь название, из которого должно быть видно, какие исследования или расчеты выполнялись в данном пункте. При описании результатов экспериментальных пунктов приводятся:

- схема измерительной установки с указанием номинальных значений входящих в нее элементов;

- значения измеренных величин (если измерения проводились однократно) или таблицы измеренных величин в случае, когда исследовались характеристики приборов;

- графики исследуемых характеристик.

В том случае, когда одна и та же схема используется в нескольких пунктах, ее следует привести в первом пункте, а в последующих пунктах дать ссылку на схему, приведенную в первом пункте.

При описании результатов расчетных пунктов приводятся:

- расчетные формулы с расшифровкой словами входящих в них величин;

- результаты расчетов (однократных) с указанием единиц измерений или таблицы расчетных величин при расчете характеристик приборов;

- графики рассчитанных характеристик.

Для удобства сопоставления однотипные экспериментальные и расчетные характеристики следует приводить на одном графике.

Отчет должен быть выполнен аккуратно. Схемы, таблицы и оси графиков должны быть нарисованы по линейке. В тексте могут быть использованы только общепринятые сокращения. В отчете следует оставлять поля для замечаний преподавателя.

Графики следует рисовать на миллиметровке, размер графиков должен приблизительно соответствовать размеру тетрадной страницы. Каждый график должен иметь номер и подпись, из которой должно быть ясно, какая характеристика на нем изображена, а в тексте отчета должна быть ссылка на соответствующий график. На осях графиков должны быть указаны единицы измерений и промежуточные значения отложенных по осям величин. В случае, если на графике представлены более одной кривой, должно быть указано, чем эти кривые различаются.

В конце отчета приводятся выводы по результатам работы. Здесь каждый студент должен кратко сформулировать основные результаты, которые он вынес из данной работы. Допускается краткие выводы приводить в конце описания каждого пункта работы.

Вопрос об оформлении отчетов на компьютере решается преподавателем, ведущим лабораторные занятия.

Лабораторная работа 1

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОСТЕЙШИХ СХЕМ НА ПАССИВНЫХ ЭЛЕМЕНТАХ

Цель работы

1. Получить навыки сборки электрических схем и проведения измерений на постоянном и переменном токах.
2. Исследовать параметры и характеристики простейших схем на пассивных элементах.

Подготовка к выполнению работы

1. Ознакомьтесь с правилами работы в лаборатории.
2. Изучите инструкцию по технике безопасности и требования к отчету по лабораторной работе.
3. Изучите состав лабораторной измерительной установки, порядок выполнения работы и подготовьте протокол для ее выполнения.

Порядок выполнения работы

1. ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОСТЕЙШИХ СХЕМ НА ПОСТОЯННОМ ТОКЕ

1.1. Измерение тока, протекающего через резистор, и падающего на нем напряжения

Соберите схему, приведенную на рис. 1.1; включите питание лабораторной установки и питание используемых на постоянном токе приборов.

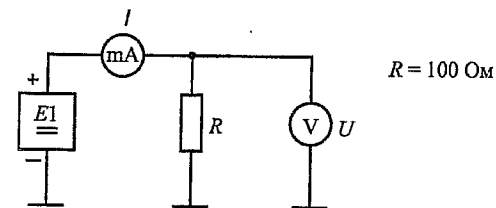


Рис. 1.1

Увеличивая напряжение источника питания $E1$, проследите за изменением тока I , протекающего через резистор R , и напряжения U , падающего на нем.

1.2. Измерение основных параметров источников питания

Убедитесь в том, что при некотором максимальном значении тока $I_{\text{макс}}$ источник питания переходит в режим перегрузки, и определите это значение тока.

Установите $R = \infty$ (уберите резистор из схемы) и определите максимальное значение напряжения источника питания $U_{\text{макс}}$.

Повторите измерение максимальных тока и напряжения для источника питания $E2$.

1.3. Исследование делителя напряжения

Соберите схему, приведенную на рис 1.2, установив $R2 = 1 \text{ кОм}$.

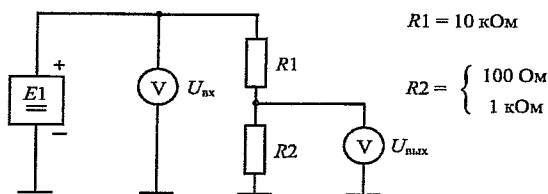


Рис. 1.2

С помощью источника питания $E1$ установите входное напряжение $U_{\text{вх}} = 1 \text{ В}$ и определите выходное напряжение $U_{\text{вых}}$.

Определите коэффициент деления делителя напряжения $K = U_{\text{вх}} / U_{\text{вых}}$.

Повторите измерение и расчет для $R2 = 100 \text{ Ом}$.

Запишите выражение для расчета коэффициента деления и убедитесь в том, что оно дает результаты, совпадающие с результатами измерений.

1.4. Исследование генератора стабильного тока

Соберите схему, приведенную на рис. 1.3, установив $R2 = 0$ (закоротите резистор).

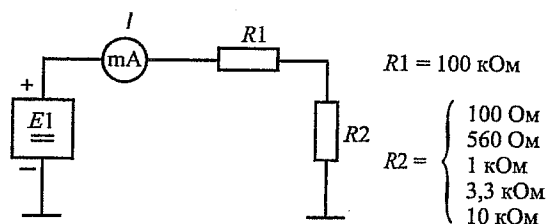


Рис. 1.3

С помощью источника питания $E1$ установите ток в цепи $I = 100 \text{ мкА}$. Устанавливая поочередно различные резисторы $R2$, зафиксируйте величины тока.

Убедитесь в том, что при $R1 \gg R2$ ток в цепи слабо зависит от величины $R2$.

Запишите выражение для расчета тока в цепи и убедитесь в том, что оно дает результаты, совпадающие с результатами измерений.

2. ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОСТЕЙШИХ СХЕМ НА ПЕРЕМЕННОМ ТОКЕ

Соберите схему, приведенную на рис. 1.4. Используя указания преподавателя, проведите настройку измерительных приборов на переменном токе, установив в режиме синусоидальных колебаний частоту генератора $f_r = 1 \text{ кГц}$ и действующее значение напряжения на его выходе $U_r = 1 \text{ В}$.

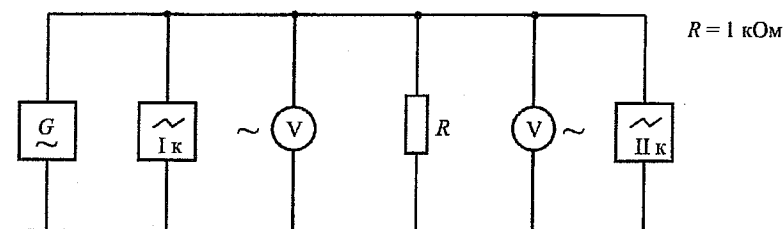


Рис. 1.4

2.1. Измерение основных параметров синусоидального напряжения

С помощью осциллографа определите амплитуду переменного синусоидального напряжения $U_{\text{ГМ}}$ и убедитесь в том, что она соответствует установленному действующему значению U_r .

С помощью осциллографа определите период синусоидального напряжения T и убедитесь в том, что он соответствует установленной частоте генерируемого напряжения f_r .

2.2. Исследование фильтра верхних частот

Соберите схему, приведенную на рис. 1.5.

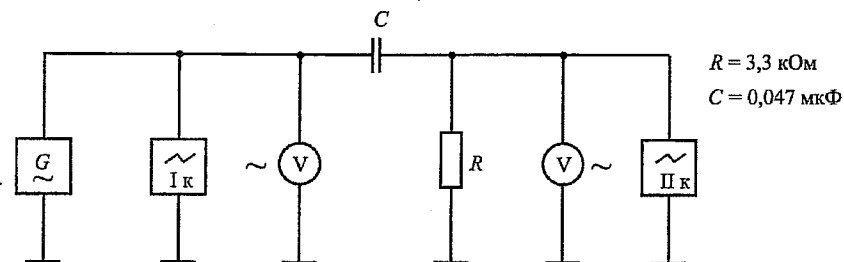


Рис. 1.5

Изменяя частоту синусоидального напряжения f_r , измеряйте величину напряжения на выходе фильтра $U_{\text{вых}}$. Результаты измерений записывайте в табл. 1.1.

Таблица 1.1

f_r	Гц				
$U_{\text{вых}}$	В				
K	-				

По результатам измерений на графике 1.1 в логарифмическом масштабе постройте зависимость модуля коэффициента передачи фильтра $K = U_{\text{вых}} / U_r$ от частоты входного сигнала f_r (амплитудно-частотную характеристику фильтра).

По графику определите граничную частоту фильтра $f_{гр}$, соответствующую уменьшению модуля коэффициента передачи по сравнению с максимальным значением в $\sqrt{2}$ раз.

Изменяя частоту синусоидального напряжения f_r , проследите за изменением фазового сдвига ϕ между входным и выходным напряжениями.

Определите величину фазового сдвига на граничной частоте $\phi_{гр}$.

Оцените, как изменяется фазовый сдвиг при $f_r \gg f_{гр}$ и $f_r \ll f_{гр}$.

2.3. Исследование фильтра нижних частот

Соберите схему, приведенную на рис. 1.6.

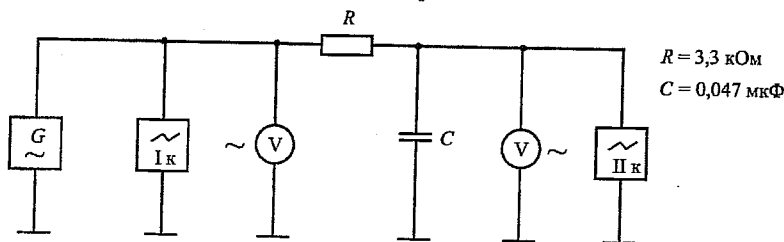


Рис. 1.6

Повторите для этой схемы все действия, указанные в п. 2.2.

Значения измеряемых величин записывайте в табл. 1.2, амплитудно-частотную характеристику (АЧХ) фильтра постройте на графике 1.2.

Таблица 1.2

f_r	Гц				
$U_{\text{вых}}$	В				
K	-				

Лабораторная работа 2

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК И ПАРАМЕТРОВ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ДИОДОВ

Цель работы

1. Освоить методику экспериментального исследования статических характеристик полупроводниковых приборов.
2. Исследовать вольт-амперные характеристики германиевого и кремниевого диодов.
3. Рассчитать значения основных параметров диодов.
4. Рассчитать теоретически вольт-амперные характеристики диодов и сопоставить их с экспериментальными.

Подготовка к выполнению работы

1. Изучите разделы курса, посвященные *p-n*-переходу, его вольт-амперной характеристике и основным параметрам [1, п. 2.3, 2.4].
2. Изучите порядок выполнения работы и подготовьте протокол для ее выполнения.

Порядок выполнения работы

1. ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЛЬТ-АМПЕРНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ДИОДОВ

1.1. Исследование прямой ветви характеристики

Соберите схему, приведенную на рис. 2.1, установив кремниевый диод.

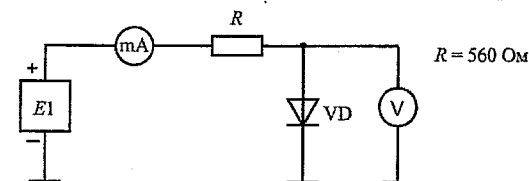


Рис. 2.1

Увеличивая напряжение источника питания $E1$, проследите за изменением тока I , протекающего через диод, и напряжения U , падающего на нем.

Зафиксируйте значение прямого тока, близкое к максимально допустимому значению $I_{пр макс} = 20$ мА, и соответствующее ему значение напряжения.

Уменьшая напряжение источника питания до нуля, снимите вольт-амперную характеристику (ВАХ) кремниевого диода; значения измеряе-

мых величин записывайте в табл. 2.1 и одновременно (!) наносите точки на график 2.1.

Таблица 2.1

U	В				
I	мА				

В процессе измерений зафиксируйте значение прямого тока $I = 500$ мкА и запишите соответствующее ему значение напряжения U .

Повторите вышеуказанные действия, установив в схему германиевый диод. Значения измеряемых величин записывайте в табл. 2.2 и одновременно наносите точки на график 2.1.

Таблица 2.2

U	В				
I	мА				

1.2. Исследование обратной ветви характеристики

Соберите схему, приведенную на рис. 2.2, установив германиевый диод.

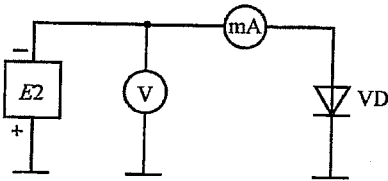


Рис. 2.2

Увеличивая напряжение источника питания $E2$, проследите за изменением обратного тока, протекающего через диод.

Зафиксируйте максимально допустимое значение напряжения $U_{\text{обр макс}} = 20$ В и соответствующее ему значение тока.

Уменьшая напряжение источника питания до нуля, снимите вольт-амперную характеристику германиевого диода; значения измеряемых величин записывайте в табл. 2.3 и одновременно отмечайте на графике 2.1.

Таблица 2.3

U	В				
I	мкА				

Установите в схему кремниевый диод и убедитесь в том, что у него обратный ток настолько мал, что он не может быть измерен используемым в лабораторной установке миллиамперметром.

2. РАСЧЕТ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ДИОДОВ

Пользуясь графиком 2.1, рассчитайте сопротивления постоянному току r_0 и дифференциальные сопротивления r_{pn} германиевого и кремниевого диодов в рабочей точке, соответствующей прямому току $I = 10$ мА.

Пользуясь графиком 2.1, рассчитайте сопротивление постоянному току и дифференциальное сопротивление германиевого диода в рабочей точке, соответствующей обратному напряжению $U = 10$ В.

Сопоставьте полученные значения сопротивлений.

3. РАСЧЕТ ВОЛЬТ-АМПЕРНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДИОДОВ

Подставляя в формулу для вольт-амперной характеристики идеализированного $p-n$ -перехода зафиксированные в п. 1.1 значения тока $I = 500$ мкА и соответствующего ему напряжения U , рассчитайте тепловой ток I_0 германиевого $p-n$ -перехода.

Используя вышеупомянутую формулу, рассчитайте значение напряжения, соответствующего прямому току $I = 10$ мА в идеализированном переходе.

Сопоставляя значения напряжения, соответствующего прямому току $I = 10$ мА для идеализированного перехода и реального диода, определите падение напряжения на базе диода U_b и рассчитайте объемное сопротивление базы r'_b .

Используя формулу для вольт-амперной характеристики реального перехода, рассчитайте прямую ветвь вольт-амперной характеристики германиевого диода в диапазоне изменения токов $I = 0 \dots 20$ мА; значения рассчитанных величин записывайте в табл. 2.4.

Таблица 2.4

U	В				
I	мА				

Используя табл. 2.4, постройте на графике 2.1 рассчитанную характеристику и сопоставьте ее с экспериментальной.

На графике 2.1 выполните кусочно-линейную аппроксимацию экспериментальной характеристики и определите пороговое напряжение $U_{\text{пор}}$.

Повторите вышеупомянутые действия для вольт-амперной характеристики кремниевого диода. Значения рассчитанных величин записывайте в табл. 2.5, характеристику постройте на графике 2.1.

Таблица 2.5

U	В				
I	мА				

Лабораторная работа 3

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ДИОДОВ

Цель работы

1. Освоить методику исследования полупроводниковых приборов на переменном токе.
2. Исследовать работу полупроводниковых диодов в схемах выпрямителя, ограничителя и стабилизатора напряжения.

Подготовка к выполнению работы

1. Изучите разделы курса, посвященные применению полупроводниковых диодов и пробоу $p-n$ -перехода [1, п. 2.4, 2.8].
2. Изучите порядок выполнения работы и подготовьте протокол для ее выполнения.

Порядок выполнения работы

1. ИССЛЕДОВАНИЕ ДИОДНОГО ВЫПРЯМИТЕЛЯ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

1.1. Исследование выпрямителя с резистивной нагрузкой

Соберите схему, приведенную на рис. 3.1, без подключения показанной пунктиром емкости и установите частоту и напряжение входного сигнала $f_{Г} = 1$ кГц и $U_{Г} = 5$ В.

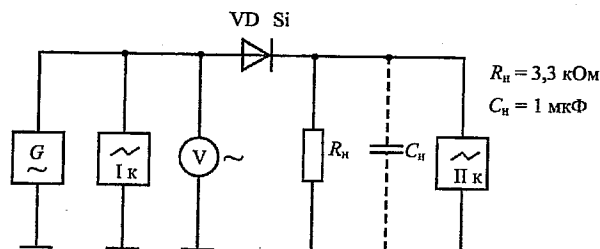


Рис. 3.1

Установив переключатели входов каналов осциллографа в нижнее положение (АС – открытый вход) и одинаковые положения переключателей регулировки усиления каналов, получите на экране изображения (осциллограммы) входного и выходного сигналов.

Совместите осциллограммы на центральной горизонтальной оси экрана и нарисуйте их на графике 3.1.

Определите максимальные значения напряжений на входе выпрямителя $U_{вх макс} = U_{Г макс}$ и на его выходе (нагрузке) $U_{вых макс} = U_{н макс}$, определите разницу между ними и оцените, с чем она связана.

Графически определите среднее значение выпрямленного напряжения $U_{н ср}$ и рассчитайте отношение $U_{н ср} / U_{н макс}$.

1.2. Исследование выпрямителя с фильтрующей емкостью

Подключите параллельно нагрузке фильтрующую емкость.

Получите на экране осциллограмму выходного сигнала и нарисуйте ее на графике 3.1.

Определите максимальное значение выходного напряжения $U_{н макс}$.

Графически определите среднее значение выпрямленного напряжения $U_{н ср}$ и рассчитайте отношение $U_{н ср} / U_{н макс}$.

Оцените влияние фильтрующей емкости на величину выпрямленного напряжения.

2. ИССЛЕДОВАНИЕ ДИОДНОГО ОГРАНИЧИТЕЛЯ НАПРЯЖЕНИЯ

2.1. Исследование ограничения синусоидального напряжения сверху

Соберите схему, приведенную на рис. 3.2, установив опорное напряжение $U_{оп} = E1 = 2$ В и напряжение входного сигнала $U_{Г} = 5$ В.

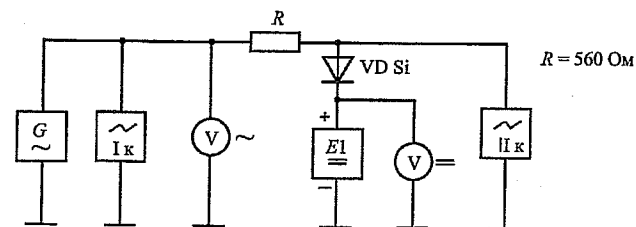


Рис. 3.2

Получите на экране осциллограммы входного и выходного сигналов и нарисуйте их на графике 3.2.

Установите опорное напряжение $U_{оп} = 5$ В и также нарисуйте на графике 3.2 осциллограмму выходного сигнала.

Оцените влияние опорного напряжения на форму выходного сигнала.

2.2. Исследование ограничения синусоидального напряжения сверху и снизу

Соберите схему, приведенную на рис. 3.3, установив опорные напряжения $U_{оп1} = E1 = 2$ В и $U_{оп2} = E2 = -3$ В.

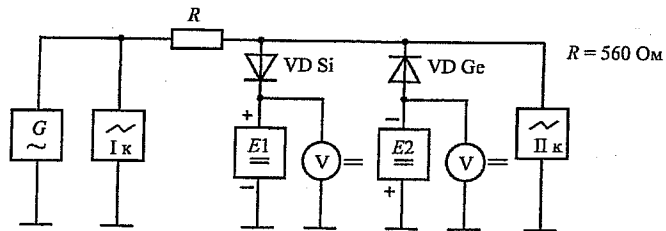


Рис. 3.3

Получите на экране осциллограммы входного и выходного сигналов и нарисуйте их на графике 3.3.

2.3. Исследование статической передаточной характеристики ограничителя сверху

Соберите схему, приведенную на рис. 3.4, установив опорное напряжение $U_{оп} = E2 = 2 \text{ В}$.

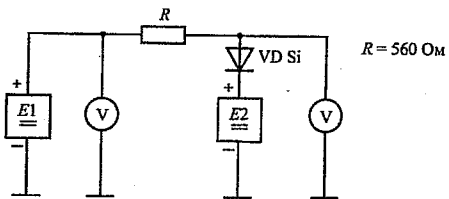


Рис. 3.4

Увеличивая напряжение входного сигнала $U_{вх} = E1$ от нуля до 10 В , снимите зависимость выходного напряжения от входного. Значения измеряемых величин записывайте в табл. 3.1. Постройте снятую зависимость (передаточную характеристику ограничителя) на графике 3.4.

Таблица 3.1

$U_{вх}$	В				
$U_{вых}$	В				

Снимите передаточную характеристику для опорного напряжения $U_{оп} = 5 \text{ В}$. Значения измеряемых величин записывайте в табл. 3.2, постройте характеристику также на графике 3.4.

Таблица 3.2

$U_{вх}$	В				
$U_{вых}$	В				

3. ИССЛЕДОВАНИЕ ДИОДНОГО СТАБИЛИЗАТОРА НАПЯЖЕНИЯ

3.1. Исследование обратной ветви вольт-амперной характеристики стабилитрона

Соберите схему, приведенную на рис. 3.5.

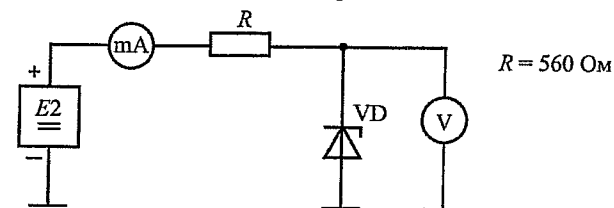


Рис. 3.5

Увеличивая обратное напряжение на стабилитроне $U_{обр} = E2$, проследите за увеличением обратного тока $I_{обр}$.

Зафиксируйте величину обратного напряжения, соответствующего обратному току $I_{обр} = 100 \text{ мкА}$. Эту точку можно считать началом пробоя $p-n$ -перехода.

Изменяя обратное напряжение, снимите вольт-амперную характеристику стабилитрона в диапазоне изменения токов от 100 мкА до максимально допустимого значения $I_{обр \text{ макс}} = 20 \text{ мА}$. Значения измеряемых величин записывайте в табл. 3.3.

Таблица 3.3

$U_{обр}$	В				
$I_{обр}$	мА				

Постройте обратную ветвь вольт-амперной характеристики стабилитрона на графике 3.5, при этом пределы изменения напряжения возьмите соответствующими реальному изменению тока.

В точке, соответствующей обратному току $I_{обр} = 10 \text{ мА}$, определите дифференциальное сопротивление стабилитрона.

3.2. Исследование статической передаточной характеристики стабилизатора напряжения

Соберите схему, приведенную на рис. 3.6.

Увеличивая напряжение входного сигнала $U_{вх} = E2$ от нуля до 20 В , снимите зависимость выходного напряжения от входного. При этом значе-

ния измеряемых величин записывайте в табл. 3.4. Постройте снятую зависимость на графике 3.6.

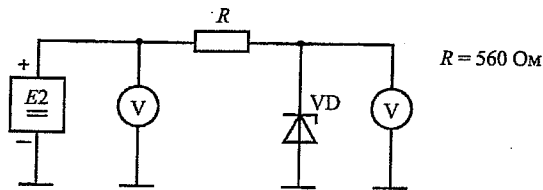


Рис. 3.6

Таблица 3.4

$U_{вх}$	В				
$U_{вых}$	В				

На участке стабилизации выходного напряжения определите экспериментально коэффициент стабилизации $K_{ст} = \Delta U_{вх} / \Delta U_{вых}$.

Пользуясь графиком вольт-амперной характеристики стабилитрона, рассчитайте передаточную характеристику стабилизатора напряжения. При этом значения рассчитанных величин записывайте в табл. 3.5, характеристику также постройте на графике 3.6.

Таблица 3.5

$U_{вх}$	В				
$U_{вых}$	В				

Пользуясь расчетной характеристикой, рассчитайте коэффициент стабилизации.

Сопоставьте экспериментальные и расчетные результаты.

Лабораторная работа 4

ИССЛЕДОВАНИЕ СТАТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК И ПАРАМЕТРОВ БИПОЛЯРНОГО ТРАНЗИСТОРА

Цель работы

1. Освоить методику экспериментального исследования статических характеристик биполярного транзистора.
2. Исследовать входную и управляющую характеристики и семейство выходных характеристик транзистора, включенного по схеме ОЭ.
3. Рассчитать значения малосигнальных параметров транзистора.

Подготовка к выполнению работы

1. Изучите разделы курса, посвященные биполярному транзистору, его статическим характеристикам и малосигнальным параметрам [1, п. 3.1, 3.5, 3.9].
2. Изучите порядок выполнения работы и подготовьте протокол для ее выполнения.

Порядок выполнения работы

1. ИССЛЕДОВАНИЕ ВХОДНОЙ И УПРАВЛЯЮЩЕЙ ХАРАКТЕРИСТИК БИПОЛЯРНОГО ТРАНЗИСТОРА

Соберите схему, приведенную на рис. 4.1, установив напряжение источника питания $E2 = U_{кэ} = 5 В$ (обозначения выводов транзистора приведены на рис. 4.2).

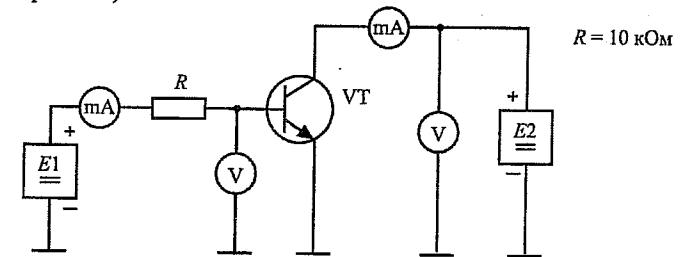


Рис. 4.1

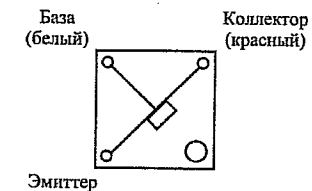


Рис. 4.2

Увеличивая напряжение источника питания $E1$, проследите за изменением токов базы I_b и коллектора I_k и напряжения $U_{бэ}$.

Зафиксируйте значение тока коллектора, близкое к максимально допустимому значению $I_{k \text{ макс}} = 20 \text{ мА}$, и соответствующие ему значения тока базы и напряжения $U_{бэ}$.

Уменьшая напряжение источника питания $E1$ до нуля, снимите зависимость тока базы от напряжения $U_{бэ}$ (входную характеристику) и зависимость тока коллектора от напряжения $U_{бэ}$ (управляющую характеристику транзистора); значения измеряемых величин записывайте в табл. 4.1 и одновременно отмечайте точки на графике 4.1.

Таблица 4.1

$U_{бэ}$	В				
I_b	мкА				
I_k	мА				

2. ИССЛЕДОВАНИЕ СЕМЕЙСТВА ВЫХОДНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК БИПОЛЯРНОГО ТРАНЗИСТОРА

Используя график входной характеристики транзистора, определите максимальный ток базы $I_{b \text{ макс}}$ для исследуемого транзистора.

С помощью источника питания $E2$ установите максимально допустимое напряжение $U_{кэ \text{ макс}} = 10 \text{ В}$.

С помощью источника питания $E1$ установите ток базы $I_b = 0,8 I_{b \text{ макс}}$.

Уменьшая напряжение источника питания $E2$ до нуля, снимите зависимость тока коллектора от напряжения $U_{кэ}$ (выходную характеристику транзистора); значения измеряемых величин записывайте в табл. 4.2 и одновременно отмечайте точки на графике 4.2.

Таблица 4.2

$U_{кэ}$	В				
I_k	мА				

Аналогичным образом снимите выходные характеристики для токов базы $I_b = 0,6 I_{b \text{ макс}}$ и $I_b = 0,4 I_{b \text{ макс}}$. Значения измеряемых величин записывайте в табл. 4.3 и 4.4, характеристики постройте на графике 4.2.

Таблица 4.3 (4.4)

$U_{кэ}$	В				
I_k	мА				

3. РАСЧЕТ МАЛОСИГНАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ БИПОЛЯРНОГО ТРАНЗИСТОРА

На входной и выходной характеристиках отметьте рабочие точки, соответствующие напряжению $U_{кэ} = 5 \text{ В}$ и току базы $I_b = 0,6 I_{b \text{ макс}}$.

С помощью входной характеристики определите параметр $h_{11э}$.

С помощью семейства выходных характеристик определите параметры $h_{21э}$ и $h_{22э}$.

Приведите названия этих параметров и единицы их измерения.

Лабораторная работа 5

ИССЛЕДОВАНИЕ СТАТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК И ПАРАМЕТРОВ ПОЛЕВОГО ТРАНЗИСТОРА С УПРАВЛЯЮЩИМ P-N-ПЕРЕХОДОМ

Цель работы

1. Освоить методику экспериментального исследования статических характеристик полевых транзисторов.
2. Исследовать семейства управляющих и выходных характеристик транзистора с управляющим p-n-переходом (ПТУП), включенного по схеме ОИ.
3. Рассчитать значения малосигнальных параметров транзистора.

Подготовка к выполнению работы

1. Изучите разделы курса, посвященные полевому транзистору с управляющим p-n-переходом, его статическим характеристикам и малосигнальным параметрам [2, п. 4.3.1, 4.3.2 и 4.4.1].
2. Изучите порядок выполнения работы и подготовьте протокол для ее выполнения.

Порядок выполнения работы

1. ИССЛЕДОВАНИЕ СЕМЕЙСТВА УПРАВЛЯЮЩИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОЛЕВОГО ТРАНЗИСТОРА

Соберите схему, приведенную на рис. 5.1, установив напряжение источника питания $E2 = U_{\text{си}} = U_{\text{си макс}} = 10 \text{ В}$ (обозначения выводов транзистора приведены на рис. 5.2).

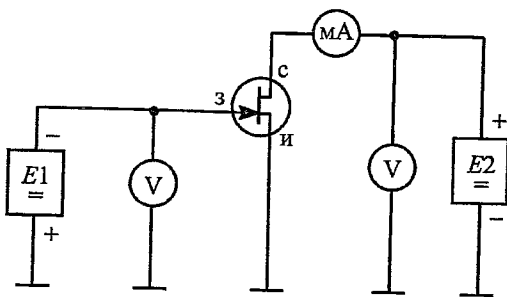


Рис. 5.1

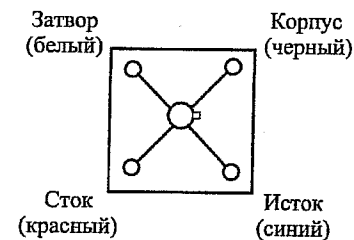


Рис. 5.2

Установив напряжение источника питания $E1 = U_{\text{зи}} = 0$, определите максимальное значение тока стока $I_{\text{с макс}}$.

Увеличивая напряжение $U_{\text{зи}}$, проследите за уменьшением тока стока $I_{\text{с}}$ и снимите зависимость тока $I_{\text{с}}$ от напряжения $U_{\text{зи}}$ (управляющую характеристику транзистора); значения измеряемых величин записывайте в табл. 5.1 и одновременно отмечайте точки на графике 5.11.

Таблица 5.1 (5.2)

$U_{\text{зи}}$	В				
$I_{\text{с}}$	мА				

Для определения порогового напряжения $U_{\text{зи пор}}$ зафиксируйте значение тока $I_{\text{с}} = 10 \text{ мкА}$.

Аналогичным образом снимите управляющую характеристику при напряжении $U_{\text{си}} = 5 \text{ В}$. Значения измеряемых величин записывайте в табл. 5.2 и одновременно отмечайте точки на графике 5.1.

2. ИССЛЕДОВАНИЕ СЕМЕЙСТВА ВЫХОДНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОЛЕВОГО ТРАНЗИСТОРА

Установите напряжение $U_{\text{зи}} = 0$ и $U_{\text{си}} = 10 \text{ В}$.

Уменьшая напряжение $U_{\text{си}}$, снимите зависимость тока стока $I_{\text{с}}$ от напряжения $U_{\text{си}}$ (выходную характеристику транзистора); значения измеряемых величин записывайте в табл. 5.3 и одновременно отмечайте точки на графике 5.2.

Таблица 5.3 (5.4 и 5.5)

$U_{\text{си}}$	В				
$I_{\text{с}}$	мА				

Аналогичным образом снимите выходные характеристики для напряжений $U_{\text{зи}} = 0,25 U_{\text{зи пор}}$ и $U_{\text{зи}} = 0,5 U_{\text{зи пор}}$. Значения измеряемых величин записывайте в табл. 5.4 и 5.5, характеристики постройте на графике 5.2.

3. РАСЧЕТ МАЛОСИГНАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ПОЛЕВОГО ТРАНЗИСТОРА

Используя управляющую характеристику, соответствующую напряжению $U_{си} = 10 \text{ В}$, в рабочей точке, соответствующей току стока $I_c = 0,5 I_{c \text{ макс}}$, определите крутизну транзистора S .

Используя семейство выходных характеристик, определите значения выходного дифференциального сопротивления транзистора r_c для все трех напряжений $U_{зи} = 0$, $U_{зи} = 0,25 U_{зи \text{ пор}}$ и $U_{зи} = 0,5 U_{зи \text{ пор}}$ в следующих точках: в линейном режиме при $U_{си} = 0$ и режиме насыщения при $U_{си} = 5 \text{ В}$; значения сопротивлений r_c запишите в табл. 5.6.

Таблица 5.6

	$U_{зи} = 0$	$U_{зи} =$	$U_{зи} =$
$U_{си} = 0$			
$U_{си} = 5 \text{ В}$			

Лабораторная работа 6

ИССЛЕДОВАНИЕ УСИЛИТЕЛЬНОГО КАСКАДА НА БИПОЛЯРНОМ ТРАНЗИСТОРЕ

Цель работы

1. Освоить методику экспериментального исследования транзисторных схем на постоянном и переменном токах.
2. Исследовать основные параметры усилительного каскада на биполярном транзисторе, включенном по схеме ОЭ.
3. Рассчитать основные параметры усилительного каскада и сравнить их с экспериментальными значениями.

Подготовка к выполнению работы

1. Изучите разделы курса, посвященные усилительному каскаду на биполярном транзисторе, включенном по схеме ОЭ, ознакомьтесь с расчетом его основных параметров [1, п. 3.8–3.10].
2. Изучите порядок выполнения работы и подготовьте протокол для ее выполнения.

Порядок выполнения работы

1. ИССЛЕДОВАНИЕ УСИЛИТЕЛЬНОГО КАСКАДА НА ПОСТОЯННОМ ТОКЕ

Соберите схему, приведенную на рис. 6.1, установив сопротивления резистора $R_H = \infty$ (обозначения выводов транзистора приведены на рис. 4.2).

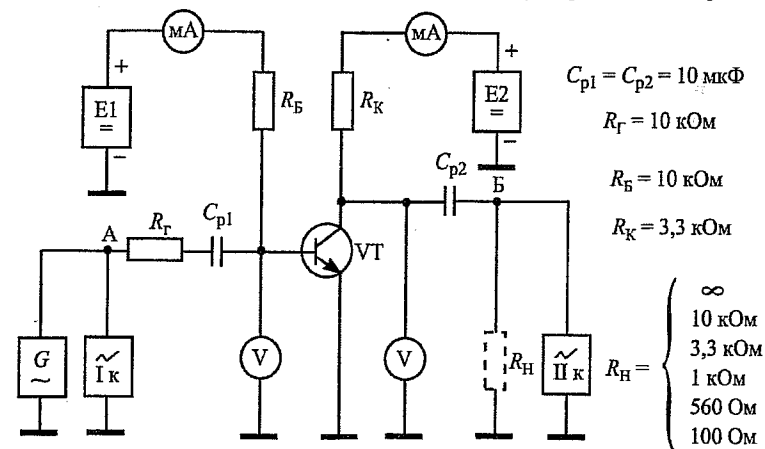


Рис. 6.1

Не включая генератор переменного сигнала, установите напряжение источника питания $E2 = U_{кз}(0) = 10 \text{ В}$ (при этом напряжение источника питания $E1$ должно быть равным нулю) и не изменяйте $E2$ до окончания работы.

Увеличивая напряжение источника питания $E1$, проследите за изменением токов базы $I_b(0)$ и коллектора $I_k(0)$ и напряжений $U_{бз}(0)$ и $U_{кз}(0)$.

Зафиксируйте значение напряжения $U_{кз}(0) = 5 \text{ В}$ и определите соответствующие ему значения $U_{бз}(0)$, $I_b(0)$ и $I_k(0)$. Повторите измерения для значений $U_{кз}(0) = 2,5 \text{ В}$ и $7,5 \text{ В}$. Запишите полученные значения в табл. 6.1.

Установите с помощью источника питания $E1$ напряжение $U_{кз}(0) = 5 \text{ В}$.

Рассчитайте значения статического коэффициента передачи тока базы β и мощности P_o , потребляемой каскадом от источника питания $E2$, и также запишите их в табл. 6.1.

Таблица 6.1

$U_{кз}(0)$	В	2,5	5	7,5
$U_{бз}(0)$	мВ			
$I_b(0)$	мкА			
$I_k(0)$	мА			
β	-			
P_o	мВт			

Используя данные табл. 6.1, постройте на графике 6.1 зависимости коэффициента β и потребляемой мощности P_o от напряжения $U_{кз}(0)$.

2. ИССЛЕДОВАНИЕ УСИЛИТЕЛЬНОГО КАСКАДА НА ПЕРЕМЕННОМ ТОКЕ

2.1. Проверка и настройка измерительных приборов

Подключите левый вольтметр к точке А, а правый вольтметр – к точке Б (рис. 6.1), переключите их для измерения переменных напряжений, удалите (временно) резистор R_r и соедините точки А и Б перемычкой.

Включите генератор переменного сигнала и установите частоту $f_r = 1 \text{ кГц}$, убедитесь в том, что оба вольтметра показывают одинаковые значения и установите с их помощью действующее (эффективное) значение напряжения на выходе генератора $U_r = 100 \text{ мВ}$.

Включите осциллограф, настройте его и получите устойчивые осциллограммы переменного сигнала по обоим каналам.

Переключите вольтметры в исходные положения (рис. 6.1), удалите перемычку между точками А и Б и включите обратно резистор R_r .

2.2. Исследование формы выходного сигнала

Используя органы управления второго канала, получите на экране осциллографа устойчивую осциллограмму выходного сигнала, установите его амплитуду примерно равной амплитуде входного сигнала и убедитесь в отсутствии нелинейных искажений (ограничения) сигналов. При появлении искажений сигналов уменьшите напряжение генератора U_r .

Обратите внимание на фазовый сдвиг между входным и выходным сигналами, на графике 6.2 нарисуйте осциллограммы входного и выходного сигналов.

Увеличивая напряжение источника питания $E1$, проследите за изменением формы выходного сигнала. Зафиксируйте появление заметного ограничения выходного сигнала и соответствующие этому значения постоянного напряжения $U_{кз}(0)$ и переменного напряжения на входе каскада $U_{вх} = U_{бз}$. На графике 6.3 нарисуйте осциллограмму выходного сигнала, укажите, откуда появляется ограничение – сверху или снизу и в каком режиме при этом оказывается транзистор.

Уменьшая напряжение источника питания $E1$, добейтесь появления заметного ограничения выходного сигнала с другой стороны, зафиксируйте $U_{кз}(0)$ и $U_{вх}$. На графике 6.4 нарисуйте осциллограмму выходного сигнала и укажите, в каком режиме оказывается транзистор.

Установите напряжение $U_{кз}(0) = 5 \text{ В}$ и, увеличивая с помощью генератора напряжение входного сигнала $U_{вх}$, добейтесь появления заметного ограничения выходного сигнала с обеих сторон, зафиксируйте соответствующее значение $U_{вх}$ и на графике 6.5 нарисуйте осциллограмму выходного сигнала.

С помощью генератора уменьшите $U_{вх}$ до величины, исключающей появление нелинейных искажений выходного сигнала, и в дальнейшем контролируйте форму выходного сигнала по осциллографу, чтобы исключить появление искажений.

2.3. Измерение основных параметров усилительного каскада при холостом ходе на выходе ($R_n = \infty$)

Следует иметь в виду, что при отсутствии полезной нагрузки на выходе ее роль играет нагрузочный резистор R_k .

Определите с помощью вольтметров и запишите в табл. 6.2 напряжения на выходе генератора $U_{Г}$, на входе каскада $U_{ВХ}$ и на его выходе $U_{ВЫХ} = U_{КЭ}$.

Рассчитайте и запишите в табл. 6.2 значения переменных токов на входе и выходе каскада $I_{ВХ} = I_{Б} = (U_{Г} - U_{БЭ}) / R_{Г}$, $I_{ВЫХ} = I_{К} = U_{КЭ} / R_{К}$ и мощность сигнала на выходе каскада $P_{ВЫХ} = U_{ВЫХ} \times I_{ВЫХ}$.

Рассчитайте и запишите в табл. 6.2 основные параметры усилительного каскада – коэффициенты усиления по напряжению, по току и по мощности, КПД и входное сопротивление каскада: $K_U = U_{ВЫХ} / U_{ВХ}$, $K_I = I_{ВЫХ} / I_{ВХ}$, $K_P = K_U \times K_I$, $\eta = P_{ВЫХ} / P_0$, $R_{ВХ} = U_{ВХ} / I_{ВХ}$, а также дифференциальный коэффициент передачи тока транзистора $h_{21э} = I_{К} / I_{Б}$.

Увеличивая напряжение источника питания $E1$, установите постоянное напряжение $U_{КЭ}(0) = 2,5$ В и повторите проведенные выше измерения и расчеты, полученные значения запишите в табл. 6.2.

Уменьшая напряжение источника питания $E1$, установите постоянное напряжение $U_{КЭ}(0) = 7,5$ В и повторите проведенные выше измерения и расчеты, полученные значения также запишите в табл. 6.2.

Таблица 6.2

$U_{КЭ}(0)$	В	2,5	5	7,5
$U_{Г}$	мВ			
$U_{ВХ}$	мВ			
$U_{ВЫХ}$	мВ			
$I_{ВХ}$	мкА			
$I_{ВЫХ}$	мА			
$P_{ВЫХ}$	мВт			
K_U	-			
K_I	-			
K_P	-			
η	-			
$R_{ВХ}$	Ом			
$h_{21э}$	-			
$K_{U \text{ расч}}$	-			
$K_{I \text{ расч}}$	-			
$R_{ВХ \text{ расч}}$	Ом			

Используя аналитические формулы [1, п. 3.10], рассчитайте значения K_U , K_I и $R_{ВХ}$ и также запишите их в табл. 6.2 (при расчете примите значение $r'_б = 100$ Ом).

На графике 6.6 постройте зависимости теоретических и экспериментальных значений K_U , K_I и $R_{ВХ}$, а также η и $h_{21э}$ от постоянного напряжения $U_{КЭ}(0)$.

2.4. Исследование влияния сопротивления нагрузки на основные параметры усилительного каскада

Изменяя напряжение источника питания $E1$, установите постоянное напряжение $U_{КЭ}(0) = 5$ В и определите входное напряжение $U_{ВХ}$ и выходное напряжение $U_{ВЫХ}$, соответствующее $R_{Н} = \infty$.

Подключая последовательно в качестве сопротивления нагрузки $R_{Н}$ резисторы 10 кОм; 3,3 кОм; 1 кОм; 560 Ом и 100 Ом, определите соответствующие значения $U_{ВЫХ}$ и запишите их в табл. 6.3.

Таблица 6.3

$R_{Н}$		100 Ом	560 Ом	1 кОм	3,3 кОм	10 кОм
$U_{ВЫХ}$	В					
$I_{ВЫХ}$	мА					
K_U	-					
K_I	-					

Рассчитайте соответствующие разным сопротивлениям нагрузки коэффициенты усиления по напряжению K_U и по току K_I . Следует иметь в виду, что при наличии нагрузки выходной ток определяется по формуле $I_{ВЫХ} = U_{ВЫХ} / R_{Н}$.

На графике 6.7 постройте зависимости коэффициентов усиления по напряжению K_U и по току K_I от сопротивления нагрузки $R_{Н}$.

Лабораторная работа 7

ИССЛЕДОВАНИЕ БИПОЛЯРНОГО ТРАНЗИСТОРА В ИМПУЛЬСНОМ РЕЖИМЕ

Цель работы

1. Освоить методику экспериментального исследования полупроводниковых приборов в импульсном режиме.
2. Исследовать статические характеристики транзисторного ключа.
3. Измерить параметры, характеризующие инерционность работы транзисторного ключа.

Подготовка к выполнению работы

1. Изучите разделы курса, посвященные импульсному режиму работы биполярного транзистора [1, п. 3.12] и ключу на биполярном транзисторе, его характеристикам и параметрам [3, п. 7.2.1].
2. Изучите порядок выполнения работы и подготовьте протокол для ее выполнения.

Порядок выполнения работы

1. ИССЛЕДОВАНИЕ СТАТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТРАНЗИСТОРНОГО КЛЮЧА

Соберите схему, приведенную на рис. 7.1 (обозначения выводов транзистора приведены на рис. 4.2).

Увеличивая с помощью источника питания $E1$ напряжение на входе ключа $U_{вх}$ от 0 до 3 В, снимите зависимости входного тока $I_{вх} = I_B$ от напряжения $U_{вх}$ (входную характеристику) и выходного напряжения $U_{вых}$ от $U_{вх}$ (передаточную характеристику); значения измеряемых величин записывайте в табл. 7.1 и одновременно отмечайте точки на графике 7.1.

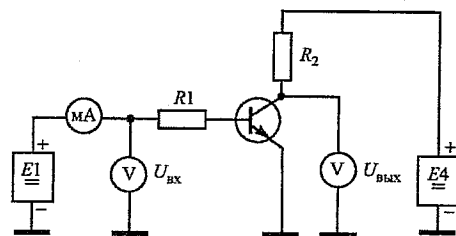


Рис. 7.1

$E4 = 5В$
 $R1 = 3,3 кОм$
 $R2 = 1 кОм$

Таблица 7.1

$U_{вх}$	В				
$I_{вх}$	мкА				
$U_{вых}$	В				

Укажите на передаточной характеристике два горизонтальных участка, соответствующие закрытому и открытому состояниям ключа, и крутой участок, соответствующий переключению ключа из закрытого состояния в открытое.

Отметьте на передаточной характеристике точку, соответствующую переходу ключа в открытое состояние, и определите по входной характеристике минимальный ток базы $I_{B мин}$, при котором транзистор переходит в режим насыщения.

2. ИЗМЕРЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ, ХАРАКТЕРИЗУЮЩИХ ИНЕРЦИОННОСТЬ ТРАНЗИСТОРНОГО КЛЮЧА

Соберите схему, приведенную на рис. 7.2, установите частоту следования импульсов $f_T = 1 кГц$.

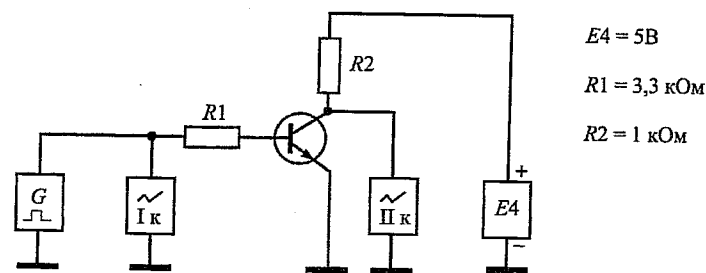


Рис. 7.2

$E4 = 5В$
 $R1 = 3,3 кОм$
 $R2 = 1 кОм$

Установив переключатели входов каждого из каналов осциллографа в нижнее положение (АС – открытый вход) и увеличивая сигнал генератора, получите на экране осциллограммы входного и выходного импульсов. Оцените фазовые соотношения между импульсами.

Для удобства проведения измерений инвертируйте фазу выходного импульса, установите размах импульсов, равный пяти клеткам, и совместите импульсы на экране.

Увеличивая частоту следования импульсов f_T до 100–250 кГц, проследите за изменением формы импульсов. Зафиксируйте частоту, при которой наглядно наблюдаются задержки фронтов выходного импульса относительно входного.

На графике 7.2 нарисуйте осциллограммы входного и выходного импульсов и отметьте на них интервалы, соответствующие временам задержки фронта t_3 , нарастания фронта $t_ф$, рассасывания t_p и спада (среза) импульса t_c .

С помощью осциллографа определите значение времен t_3 , $t_ф$, t_p и t_c .

3. ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТЕЙ ВРЕМЕНИ НАРАСТАНИЯ ФРОНТА И ВРЕМЕНИ РАССАСЫВАНИЯ ОТ ГЛУБИНЫ НАСЫЩЕНИЯ ТРАНЗИСТОРА

Изменяя размах входных импульсов $U_{\text{макс}}$ от 2 до 10 В, проследите за изменением формы выходного импульса.

Выберите в указанном интервале изменения $U_{\text{макс}}$ 4–5 характерных значений, позволяющих проследить изменение времен фронта и рассасывания, и определите при этих значениях $U_{\text{макс}}$ величины $t_{\text{ф}}$ и $t_{\text{р}}$; запишите значения $U_{\text{макс}}$, $t_{\text{ф}}$ и $t_{\text{р}}$ в табл. 7.2.

Для каждого значения $U_{\text{макс}}$ определите соответствующие значения тока базы $I_{\text{б}} = U_{\text{макс}} / 2 R_1$ и параметра, называемого глубиной насыщения транзистора $n = I_{\text{б}} / I_{\text{б мин}}$; значения $I_{\text{б}}$ и n также записывайте в табл. 7.2.

Таблица 7.2

$U_{\text{макс}}$	В				
$t_{\text{ф}}$	мкс				
$t_{\text{р}}$	мкс				
$I_{\text{б}}$	мкА				
n	-				

По данным табл. 7.2 на графике 7.3 постройте зависимости $t_{\text{ф}}$ и $t_{\text{р}}$ от глубины насыщения n .

Лабораторная работа 8

ИССЛЕДОВАНИЕ ОСНОВНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК И ПАРАМЕТРОВ ОПЕРАЦИОННОГО УСИЛИТЕЛЯ

Цель работы

1. Освоить методику экспериментального исследования интегральных схем.
2. Исследовать основные характеристики и параметры операционного усилителя.

Подготовка к выполнению работы

1. Изучите раздел курса, посвященный операционному усилителю, ознакомьтесь с его основными характеристиками и параметрами [3, п. 6.4.1].
2. Изучите порядок выполнения работы и подготовьте протокол для ее выполнения.

Порядок выполнения работы

1. ПОДГОТОВКА К ПРОВЕДЕНИЮ ИЗМЕРЕНИЙ

Приводимые ниже рекомендации в полной мере будут использоваться при подготовке к выполнению следующей лабораторной работы, посвященной исследованию применения операционного усилителя.

1.1. Подключение операционного усилителя

Ознакомьтесь с приведенным на рис. 8.1 обозначением основных выводов интегрального операционного усилителя (ОУ). Исследуемый ОУ является двоярным, т. е. в корпусе интегральной схемы (рис. 8.1, а) расположены два самостоятельных ОУ, причем нумерация выводов одного из них (условно назовем его первым) приведена на рис. 8.1, б вне скобок, а второго – в скобках. Выберите для исследования один из ОУ и запишите номера его выводов.

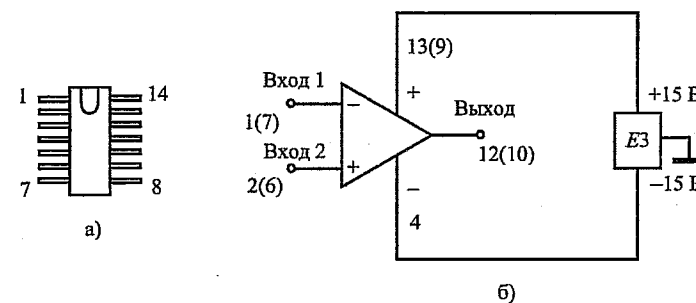


Рис. 8.1

Обратите внимание на то, что исследуемая интегральная схема располагается на специальной контактной колодке в верхней части коммутационного пульта, а подключение к ее выводам осуществляется с помощью пронумерованных контактных гнезд красного цвета. Поскольку контактная колодка имеет 24 контакта, а исследуемая схема всего 14, следует особенно внимательно подключаться к контактам с 8-го по 14-й (для подключения к 8-му контакту схемы следует использовать 18-е гнездо и т. д.).

Соберите приведенную на рис. 8.1, б схему, используя для питания ОУ специальный источник питания ЕЗ с заземленной средней точкой. Подключите соединительные провода ко входам и выходу ОУ и расположите их таким образом, чтобы исключить их закорачивание.

Включите источник питания ЕЗ и убедитесь в отсутствии его перегрузки. В дальнейшем не разбирайте собранную схему и не выключайте источник до окончания лабораторной работы. Следует иметь в виду, что на последующих рисунках цепи питания ОУ не будут показаны.

1.2. Проверка и настройка измерительных приборов

Соберите схему, приведенную на рис. 8.2, соединив точки А и В перемычкой. Точки А и В удобно выбрать в нижней части соответственно левой и правой половины коммутационного пульта, в дальнейшем точка А будет подключаться ко входу исследуемой схемы, а точка В – к ее выходу.

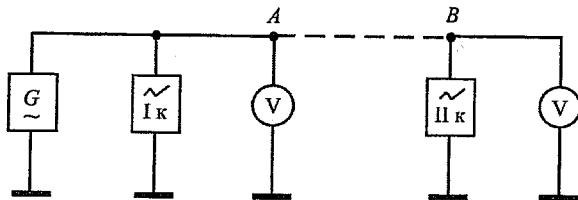


Рис. 8.2

Включите генератор переменного сигнала и установите частоту $f_r = 1$ кГц, убедитесь в том, что оба вольтметра показывают одинаковые значения и установите с их помощью действующее (эффективное) значение напряжения на выходе генератора $U_r = 1$ В.

Включите осциллограф, настройте его и получите устойчивые осциллограммы переменного сигнала по обоим каналам.

Удалите перемычку между точками А и В. В дальнейшем до окончания измерений на переменном токе не разбирайте собранную схему и не выключайте источник входного сигнала.

2. ИССЛЕДОВАНИЕ АМПЛИТУДНО-ЧАСТОТНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ (АЧХ) ОУ

Соберите схему, приведенную на рис. 8.3, подключив входы и выход ОУ к соответствующим точкам схемы. Соедините перемычками точку А со входом схемы, а точку В – с ее выходом и переключите левый вольтметр в точку С.

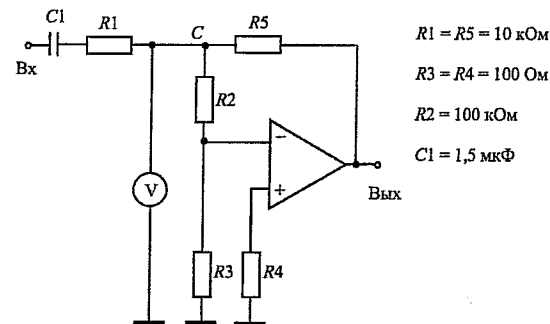


Рис. 8.3

Получите на экране осциллографа устойчивую осциллограмму выходного сигнала, установите его амплитуду примерно равной амплитуде входного сигнала и убедитесь в отсутствии нелинейных искажений (ограничения) сигналов. При появлении искажений сигналов уменьшите напряжение генератора U_r .

Измерьте с помощью вольтметров напряжения в точке С U_c и на выходе ОУ $U_{\text{Вых}}$ и рассчитайте предельную величину коэффициента усиления ОУ по напряжению $K_U = (U_{\text{Вых}} / U_c) \times (R_2 / R_3)$.

Повторите измерения и рассчитайте K_U на частотах $f_r = 250, 100$ и 40 Гц. При частоте $f_r = 100$ Гц на графике 8.1 нарисуйте осциллограммы входного и выходного сигналов.

По результатам измерений на графике 8.2 постройте зависимость коэффициента усиления от частоты входного сигнала (АЧХ ОУ). Сравните полученные значения K_U с паспортным значением.

3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТИ НАРАСТАНИЯ ВЫХОДНОГО НАПРЯЖЕНИЯ ОУ

Соберите схему, приведенную на рис. 8.4, установите частоту и напряжение на выходе генератора $f_r = 1$ кГц и $U_r = 1$ В и убедитесь в отсутствии нелинейных искажений (ограничения) сигналов. При появлении искажений сигналов уменьшите напряжение генератора U_r .

Увеличивая частоту входного сигнала, проследите за изменением формы выходного сигнала. Зафиксируйте частоту, при которой выходной

сигнал приобретает пилообразную форму, и на графике 8.3 нарисуйте осциллограмму выходного сигнала.

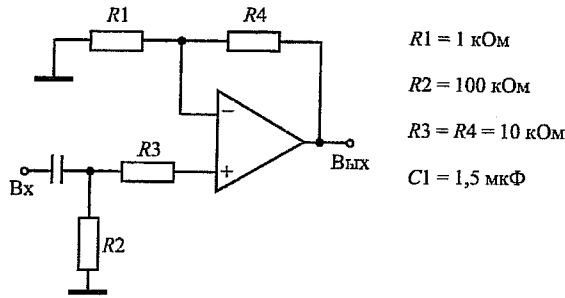


Рис. 8.4

Используя осциллограмму выходного сигнала, определите скорость нарастания выходного напряжения ОУ $V_{U_{\text{ВЫХ}}} = \Delta U_{\text{ВЫХ}} / \Delta t$ и сравните ее с паспортным значением.

Поскольку следующий пункт работы выполняется в статическом режиме и переменный сигнал далее использоваться не будет, выключите генератор и осциллограф и разберите схему исследования за исключением проводов, подключенных к выводам ОУ (рис. 8.1).

4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАПРЯЖЕНИЯ СМЕЩЕНИЯ И ВХОДНОГО ТОКА ОУ

Соберите схему, приведенную на рис. 8.5, установив $R_2 = 10 \text{ кОм}$, и определите напряжение на выходе ОУ $U_{\text{ВЫХ1}}$. Закоротите резистор R_2 и определите новое значение напряжения $U_{\text{ВЫХ2}}$.

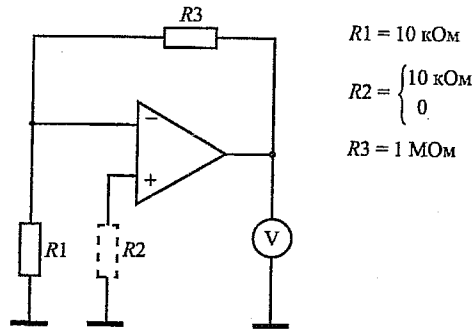


Рис. 8.5

Рассчитайте значения напряжения смещения $U_{\text{см}} = |U_{\text{ВЫХ2}} - U_{\text{ВЫХ1}}| \times (R_1 / R_3)$ и входного тока ОУ $I_{\text{ВХ}} = U_{\text{см}} / R_1$ и сравните их с паспортными значениями.

Лабораторная работа 9

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ ОПЕРАЦИОННОГО УСИЛИТЕЛЯ

Цель работы

1. Освоить методику экспериментального исследования интегральных схем.
2. Исследовать схемы различных устройств на основе операционного усилителя.

Подготовка к выполнению работы

1. Изучите раздел курса, посвященный операционному усилителю, ознакомьтесь с его основными применениями [3, п. 6.4.2].
2. Изучите порядок выполнения работы и подготовьте протокол для ее выполнения.

Порядок выполнения работы

1. ПОДГОТОВКА К ПРОВЕДЕНИЮ ИЗМЕРЕНИЙ

Для подготовки к выполнению измерений используйте описание к лабораторной работе 8. Подключите операционный усилитель в соответствии с методическими указаниями, приведенными в п. 1.1, и настройте измерительные приборы в соответствии с указаниями п. 1.2.

2. ИССЛЕДОВАНИЕ ИНВЕРТИРУЮЩЕГО УСИЛИТЕЛЯ

Соберите схему, приведенную на рис. 9.1, установив резистор $R_2 = 1 \text{ кОм}$ и подключив входы и выход ОУ к соответствующим точкам схемы. Соедините переключками точку А со входом схемы, а точку В – с ее выходом и переключите левый вольтметр и первый канал осциллографа в точку С.

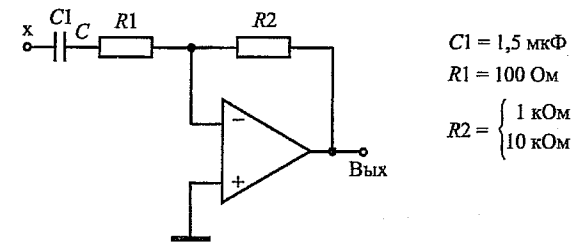


Рис. 9.1

Получите на экране осциллографа устойчивую осциллограмму выходного сигнала, установите его амплитуду примерно равной амплитуде входного сигнала и убедитесь в отсутствии нелинейных искажений (ограничения) сигналов. При появлении искажений сигналов уменьшите напря-

жение генератора U_{Γ} . На графике 9.1 нарисуйте осциллограммы входного и выходного сигналов.

Измерьте с помощью вольтметров напряжения на входе усилителя $U_{\text{вх}}$ и на его выходе $U_{\text{вых}}$ и рассчитайте величину коэффициента усиления $K_U = U_{\text{вых}} / U_{\text{вх}}$.

Установите резистор $R_2 = 10 \text{ кОм}$, убедитесь в отсутствии нелинейных искажений выходного сигнала и определите соответствующее значение K_U .

Полагая ОУ идеальным, рассчитайте для обоих резисторов R_2 значения коэффициента усиления по формуле $K_U = R_2 / R_1$ и сопоставьте их с экспериментальными значениями.

3. ИССЛЕДОВАНИЕ НЕИНВЕРТИРУЮЩЕГО УСИЛИТЕЛЯ

Соберите схему, приведенную на рис. 9.2, установив резистор $R_2 = 1 \text{ кОм}$ и подключив входы и выход ОУ к соответствующим точкам схемы. Соедините перемычками точку А со входом схемы, а точку В – с ее выходом.

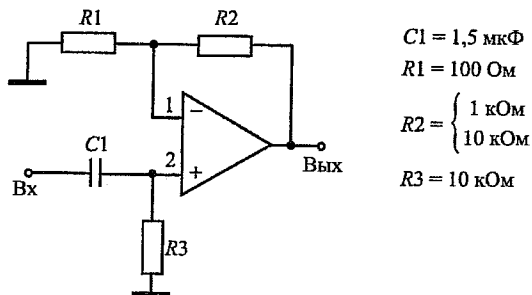


Рис. 9.2

$C1 = 1,5 \text{ мкФ}$
 $R1 = 100 \text{ Ом}$
 $R2 = \begin{cases} 1 \text{ кОм} \\ 10 \text{ кОм} \end{cases}$
 $R3 = 10 \text{ кОм}$

Получите на экране осциллографа устойчивую осциллограмму выходного сигнала, установите его амплитуду примерно равной амплитуде входного сигнала и убедитесь в отсутствии нелинейных искажений (ограничения) выходного сигнала. При появлении искажений уменьшите напряжение генератора U_{Γ} . На графике 9.2 нарисуйте осциллограммы входного и выходного сигналов.

Измерьте с помощью вольтметров напряжения на входе усилителя $U_{\text{вх}}$ и на его выходе $U_{\text{вых}}$ и рассчитайте величину коэффициента усиления $K_U = U_{\text{вых}} / U_{\text{вх}}$.

Установите резистор $R_2 = 10 \text{ кОм}$, убедитесь в отсутствии нелинейных искажений выходного сигнала и определите соответствующее значение K_U .

Полагая ОУ идеальным, рассчитайте для обоих резисторов R_2 значения коэффициента усиления по формуле $K_U = 1 + (R_2 / R_1)$ и сопоставьте их с экспериментальными значениями.

4. ИССЛЕДОВАНИЕ ИНВЕРТИРУЮЩЕГО ДИФФЕРЕНЦИАТОРА

Переключите генератор низкой частоты в импульсный режим и выключите вольтметры (в импульсном режиме они не могут использоваться, поэтому для измерения напряжения необходимо использовать осциллограф). Соберите схему, приведенную на рис. 9.3, подключив входы и выход ОУ к соответствующим точкам схемы. Соедините перемычками точку А со входом схемы, а точку В – с ее выходом.

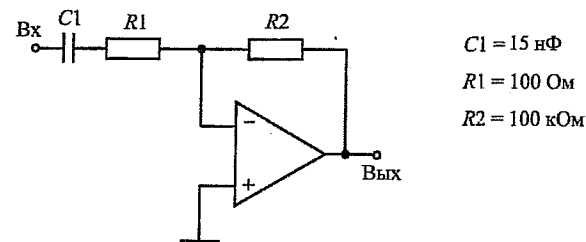


Рис. 9.3

$C1 = 15 \text{ нФ}$
 $R1 = 100 \text{ Ом}$
 $R2 = 100 \text{ кОм}$

Получите на экране устойчивые осциллограммы входного и выходного сигналов. С помощью осциллографа установите размах импульсов входного сигнала $U_{\text{вх}} = U_{\Gamma} = 100 \text{ мВ}$ и убедитесь в отсутствии ограничения импульсов выходного сигнала. Переключите генератор на частоту $f_{\Gamma} = 250 \text{ Гц}$ и на графике 9.3 нарисуйте осциллограммы входного и выходного сигналов.

Используя полученные осциллограммы, напишите формулу, связывающую $U_{\text{вых}}$ с $U_{\text{вх}}$.

5. ИССЛЕДОВАНИЕ ИНВЕРТИРУЮЩЕГО ИНТЕГРАТОРА

Соберите схему, приведенную на рис. 9.4, подключив входы и выход ОУ к соответствующим точкам схемы. Соедините перемычками точку А со входом схемы, а точку В – с ее выходом.

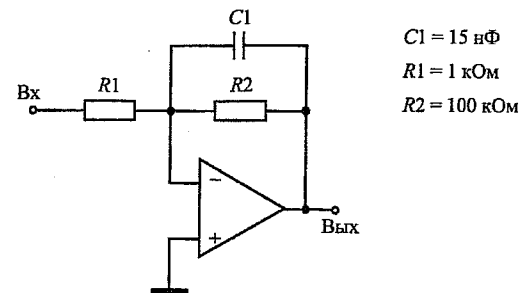


Рис. 9.4

$C1 = 15 \text{ нФ}$
 $R1 = 1 \text{ кОм}$
 $R2 = 100 \text{ кОм}$

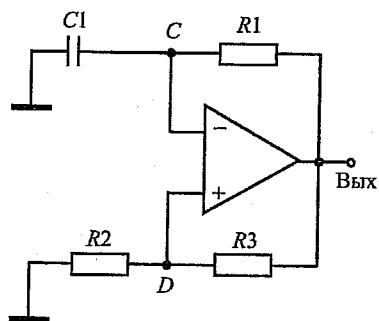
Получите на экране осциллографа устойчивые осциллограммы входного и выходного сигналов. С помощью осциллографа установите размах им-

пульсов входного сигнала $U_{вх} = U_{г} = 1 \text{ В}$ и убедитесь в отсутствии ограничения выходного сигнала. Переключите генератор на частоту $f_{г} = 25 \text{ кГц}$ и на графике 9.4 нарисуйте осциллограммы входного и выходного сигналов.

Используя полученные осциллограммы, напишите формулу, связывающую $U_{вых}$ с $U_{вх}$.

6. ИССЛЕДОВАНИЕ ГЕНЕРАТОРА РЕЛАКСАЦИОННЫХ КОЛЕБАНИЙ

Поскольку исследуемое устройство является автогенератором, отключите от точки А и выключите генератор низкой частоты. Соберите схему, приведенную на рис. 9.5, установив конденсатор $C_1 = 15 \text{ нФ}$ и резистор $R_1 = 1 \text{ кОм}$ и подключив входы и выход ОУ к соответствующим точкам схемы. Соедините перемычками точку А с точкой С, а точку В – с выходом схемы.



$$C_1 = \begin{cases} 15 \text{ нФ} \\ 47 \text{ нФ} \end{cases}$$

$$R_1 = \begin{cases} 1 \text{ кОм} \\ 3,3 \text{ кОм} \end{cases}$$

$$R_2 = R_3 = 10 \text{ кОм}$$

Рис. 9.5

Получите на экране осциллографа устойчивые осциллограммы сигналов и нарисуйте их на графике 9.5. Соедините точку В с точкой D и, соблюдая фазировку сигналов, на том же рисунке нарисуйте осциллограмму сигнала в точке D.

С помощью осциллографа определите период генерируемого сигнала T и рассчитайте его частоту f .

Установите резистор $R_1 = 3,3 \text{ кОм}$ и определите соответствующее значение частоты f .

Установите обратно резистор $R_1 = 1 \text{ кОм}$ и установите конденсатор $C_1 = 47 \text{ нФ}$ и определите новое значение частоты f .

Оцените влияние значений резистора R_1 и конденсатора C_1 на частоту генерируемого колебания.

Лабораторная работа 10

ИССЛЕДОВАНИЕ БАЗОВОГО ЛОГИЧЕСКОГО ЭЛЕМЕНТА ТРАНЗИСТОРНО-ТРАНЗИСТОРНОЙ ЛОГИКИ

Цель работы

1. Освоить методику экспериментального исследования цифровых интегральных схем.
2. Исследовать основные характеристики и параметры базового логического элемента транзисторно-транзисторной логики.

Подготовка к выполнению работы

1. Изучите раздел курса, посвященный базовому логическому элементу транзисторно-транзисторной логики, ознакомьтесь с его основными характеристиками и параметрами [3, п. 7.3.3].
2. Изучите порядок выполнения работы и подготовьте протокол для ее выполнения.

Порядок выполнения работы

1. ИССЛЕДОВАНИЕ ЛОГИЧЕСКОГО ЭЛЕМЕНТА В СТАТИЧЕСКОМ РЕЖИМЕ

Ознакомьтесь с приведенной на рис. 10.1 нумерацией выводов исследуемой в работе логической интегральной схемы. В корпусе интегральной схемы собраны четыре базовых логических элемента (ЛЭ) транзисторно-транзисторной логики (ТТЛ). Каждый ЛЭ имеет два входа и один выход и выполняет логическую функцию 2И-НЕ. Питание микросхемы осуществляется напряжением $U_{п} = +5 \text{ В}$, которое подается на 14-й вывод (7-й вывод заземляется). При этом питание подается на все четыре ЛЭ.

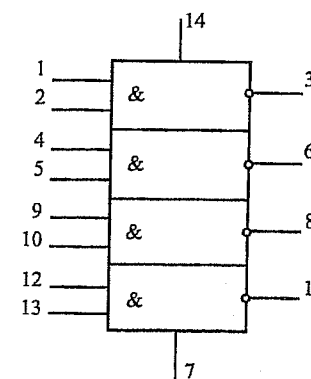


Рис. 10.1

Выберите для исследования один из ЛЭ и соберите приведенную на рис. 10.2 схему при холостом ходе на выходе ($R_H = \infty$). Включите источник питания $E4$ и убедитесь в отсутствии его перегрузки.

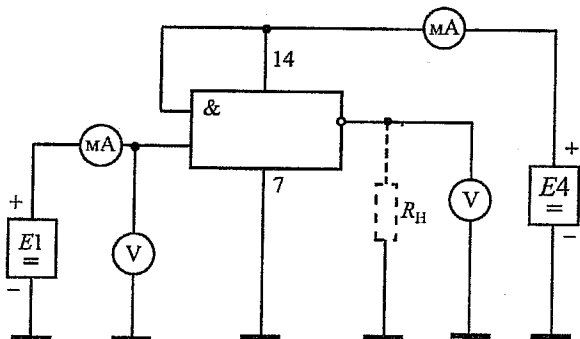


Рис. 10.2

1.1. Исследование передаточной и входной характеристик ЛЭ

Увеличивая с помощью источника питания $E1$ входное напряжение $U_{вх}$ в диапазоне от 0 до 5 В, снимите зависимости выходного напряжения $U_{вых}$ от $U_{вх}$ (передаточную характеристику) и входного тока $I_{вх}$ от $U_{вх}$ (входную характеристику ЛЭ). Значения измеряемых величин записывайте в табл. 10.1 и одновременно наносите точки на график 10.1. При этом особое внимание обратите на крутые участки характеристик.

Таблица 10.1

$U_{вх}$	В				
$I_{вх}$	мА				
$U_{вых}$	В				

1.2. Определение средней мощности, потребляемой ЛЭ

С помощью источника питания $E1$ установите последовательно входное напряжение равным паспортным значениям логических нуля и единицы $U^0 = 0,4$ В; $U^1 = 2,4$ В и определите значения тока, потребляемого ЛЭ, соответственно при логических единице $I_{п}^1$ и нуле $I_{п}^0$ на выходе.

Рассчитайте среднюю мощность, потребляемую ЛЭ, от источника питания $P_{п ср} = 0,5 (P_{п}^1 + P_{п}^0)$, где $P_{п}^1$ и $P_{п}^0$ – соответственно мощность, потребляемая ЛЭ, при логической единице и логическом нуле на выходе.

Сравните полученную величину $P_{п ср}$ с паспортным значением.

1.3. Оценка нагрузочной способности ЛЭ

Установите входное напряжение равным паспортному значению логического нуля $U_{вх} = U^0 = 0,4$ В и, устанавливая последовательно резисторы $R_H = 10$ кОм; 3,3 кОм; 1 кОм; 560 Ом и 100 Ом, определяйте и записывайте в табл. 10.2 значения выходного напряжения $U_{вых}$, соответствующие логической единице.

Таблица 10.2

R_H		100 Ом	560 Ом	1 кОм	3,3 кОм	10 кОм
$U_{вых}$	В					

По данным табл. 10.2 на графике 10.2 постройте зависимость $U_{вых}$ от R_H . С помощью графика определите минимальное значение сопротивления нагрузки $R_{H мин}$, при котором выходное напряжение уменьшается до паспортного значения логической единицы $U_{вых} = U^1 = 2,4$ В.

2. ИССЛЕДОВАНИЕ БЫСТРОДЕЙСТВИЯ ЛЭ

Для проверки и настройки оборудования на переменном токе соберите схему, приведенную на рис. 10.3, соединив перемычкой точки А и В.

Включите генератор импульсов и установите максимальный размах его выходных импульсов. Включите осциллограф, настройте его и получите устойчивые осциллограммы импульсов по обоим каналам. Удалите перемычку между точками А и В.

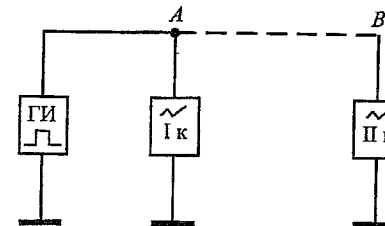


Рис. 10.3

Следует иметь в виду, что время задержки базового ЛЭ ТТЛ достаточно мало, поэтому его сложно точно измерить с помощью имеющегося в лабораторной установке осциллографа. Для уменьшения погрешности измерения целесообразно включить последовательно все четыре ЛЭ, собранные в микросхеме, и измерить суммарную задержку на четыре ЛЭ.

Соберите схему, приведенную на рис. 10.4. Соедините перемычками точку А со входом схемы, а точку В – с ее выходом. Получите на экране осциллографа устойчивые осциллограммы входного и выходного импульсов и

измерьте времена задержки выходного импульса относительно входного при переключении выходного напряжения соответственно из логической единицы в ноль $t_{зд}^{1,0}$ и из нуля в единицу $t_{зд}^{0,1}$. Поскольку указанные времена задержки измеряются на уровне половины логического перепада $U^1 = U^1 - U^0$, оба импульса следует совместить таким образом, чтобы центральная горизонтальная ось делила бы их пополам, и измерять времена задержки именно на уровне центральной горизонтальной оси.

На графике 10.3 нарисуйте осциллограммы входного и выходного импульсов и укажите на них интервалы времени, соответствующие $t_{зд}^{1,0}$ и $t_{зд}^{0,1}$.

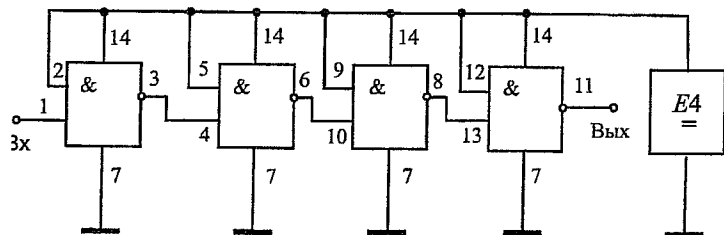


Рис. 10.4

Рассчитайте среднее время задержки распространения сигнала в интегральной схеме $t_{зд\text{ ср}} = 0,5(t_{зд}^{1,0} + t_{зд}^{0,1})$. Разделив эту величину на четыре, получите время задержки в одном ЛЭ и сравните его с паспортным значением.

Лабораторная работа 11

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК И ПАРАМЕТРОВ ОПТРОНА

Цель работы

1. Освоить методику экспериментального исследования оптронов.
2. Исследовать статические характеристики оптрона.
3. Измерить параметры, характеризующие инерционность работы оптрона.

Подготовка к выполнению работы

1. Изучите разделы курса, посвященные оптронам, их устройству, основным характеристикам и параметрам [4, п. 14.5].
2. Изучите порядок выполнения работы и подготовьте протокол для ее выполнения.

Порядок выполнения работы

1. ИССЛЕДОВАНИЕ СТАТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ОПТРОНА

1.1. Исследование входной характеристики

Соберите схему, приведенную на рис. 11.1. В работе исследуется оптрон (оптопара) «светодиод – фототранзистор», обозначение выводов которого показано на рис. 11.2. В данном оптроне фототранзистор не имеет внешнего вывода базы, однако существуют другие виды оптронов, у которых база фототранзистора имеет отдельный вывод.



Рис. 11.1

Красная точка

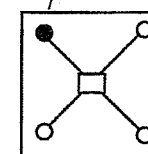


Рис. 11.2

С помощью источника питания $E2$ установите напряжение на выходе оптрона $U_{\text{ВЫХ}} = 10 \text{ В}$. Увеличивая с помощью источника питания $E1$ напряжение на входе оптрона $U_{\text{ВХ}}$, снимите зависимость входного тока $I_{\text{ВХ}}$ от напряжения $U_{\text{ВХ}}$ (при этом проследите, чтобы выходной ток $I_{\text{ВЫХ}}$ не превышал максимально допустимого значения $I_{\text{ВЫХ макс}} = 20 \text{ мА}$); значения измеряемых величин записывайте в табл. 11.1 и одновременно отмечайте точки на графике 11.1.

Таблица 11.1

$U_{\text{ВХ}}$	В				
$I_{\text{ВХ}}$	мА				

1.2. Исследование семейства выходных характеристик

С помощью источника питания $E1$ установите ток $I_{\text{ВХ}} = 8 \text{ мА}$.

Уменьшая выходное напряжение $U_{\text{ВЫХ}}$ от 10 В до нуля, снимите зависимость выходного тока $I_{\text{ВЫХ}}$ от напряжения $U_{\text{ВЫХ}}$; значения измеряемых величин записывайте в табл. 11.2 и одновременно отмечайте точки на графике 11.2.

Аналогичным образом снимите выходные характеристики для входных токов $I_{\text{ВХ}} = 6 \text{ мА}$ и $I_{\text{ВХ}} = 4 \text{ мА}$. Значения измеряемых величин записывайте в табл. 11.3 и 11.4, характеристики постройте на графике 11.2.

Таблица 11.2 (11.3 и 11.4)

$U_{\text{ВЫХ}}$	В				
$I_{\text{ВЫХ}}$	мА				

1.3. Исследование передаточной характеристики

С помощью вольтметра установите напряжение источника питания $E2 = 5 \text{ В}$ и не изменяйте его до окончания работы.

Соберите схему, приведенную на рис. 11.3.

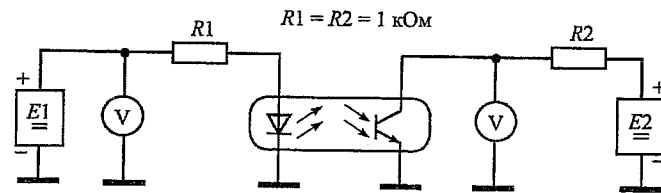


Рис. 11.3

Увеличивая напряжение на входе оптрона $U_{\text{ВХ}}$ от 0 до 5 В , снимите зависимость выходного напряжения $U_{\text{ВЫХ}}$ от $U_{\text{ВХ}}$; значения измеряемых величин записывайте в табл. 11.5 и одновременно отмечайте точки на графике 11.3.

Таблица 11.5

$U_{\text{ВХ}}$	В				
$U_{\text{ВЫХ}}$	В				

2. ИССЛЕДОВАНИЕ ОПТРОНА В ИМПУЛЬСНОМ РЕЖИМЕ

Соберите схему, приведенную на рис. 11.4, установите частоту следования импульсов $f_{\text{Г}} = 1 \text{ кГц}$.

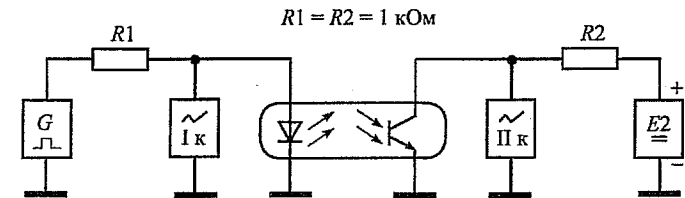


Рис. 11.4

Установив переключатели входов каждого из каналов осциллографа в нижнее положение (DC – открытый вход) и увеличивая сигнал генератора, получите на экране осциллограммы входного и выходного импульсов. Оцените фазовые соотношения между импульсами. Для удобства проведения измерений инвертируйте фазу выходного импульса.

Увеличивая частоту следования импульсов $f_{\text{Г}}$ до $10\text{--}40 \text{ кГц}$, проследите за изменением формы импульсов. Зафиксируйте частоту, при которой наглядно наблюдаются задержки фронтов выходного импульса относительно входного.

Изменяя напряжение входного сигнала, получите на экране форму выходного импульса, при которой можно наглядно увидеть интервалы времени, соответствующие временам задержки фронта t_3 , нарастания фронта $t_{\text{ф}}$, рассасывания $t_{\text{р}}$ и спада (среза) импульса $t_с$.

Установите размах импульсов, равный пяти клеткам, и совместите импульсы на экране. На графике 11.4 нарисуйте осциллограммы входного и выходного импульсов и отметьте на них интервалы, соответствующие указанным временам.

С помощью осциллографа определите значения времен t_3 , $t_{\text{ф}}$, $t_{\text{р}}$ и $t_с$. По уровню половины логического перепада определите среднее время за-

держки распространения сигнала в оптроне $t_{зд\text{ ср}}$. Подробные рекомендации приведены в п 2 предыдущей работы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Электронные твердотельные приборы и микроэлектроника: конспект курса. Ч. 1 / Е.И. Бочаров, Г.Б. Гогоберидзе, Ю.М. Першин, К.С. Петров, А.П. Штагер. – СПб. : Линк, 2008.
2. Электронные твердотельные приборы и микроэлектроника: конспект курса. Ч. 2 / Е.И. Бочаров, Г.Б. Гогоберидзе, Ю.М. Першин, К.С. Петров. – СПб. : Линк, 2009.
3. Электронные твердотельные приборы и микроэлектроника: конспект курса. Ч. 3 / Е.И. Бочаров, Г.Б. Гогоберидзе, Ю.М. Першин, К.С. Петров. – СПб. : Линк, 2009.
4. Электронные, квантовые приборы и микроэлектроника: учеб. пособие для вузов / Под ред. Н.Д. Федорова. – М. : Радио и связь, 2002.
5. *Петров, К.С.* Радиоматериалы, радиокомпоненты и электроника: учеб. пособие / К.С. Петров. – СПб. : Питер, 2003.

СОДЕРЖАНИЕ

Инструкция по технике безопасности	3
Требования к отчету по лабораторной работе.....	3
Лабораторная работа 1	
Исследование простейших схем на пассивных элементах.....	5
Лабораторная работа 2	
Исследование характеристик и параметров полупроводниковых диодов ...	9
Лабораторная работа 3	
Исследование применения полупроводниковых диодов.....	12
Лабораторная работа 4	
Исследование статических характеристик и параметров биполярного транзистора.....	17
Лабораторная работа 5	
Исследование статических характеристик и параметров полевого транзистора с управляющим <i>p-n</i> -переходом.....	20
Лабораторная работа 6	
Исследование усилительного каскада на биполярном транзисторе.....	23
Лабораторная работа 7	
Исследование биполярного транзистора в импульсном режиме.....	28
Лабораторная работа 8	
Исследование основных характеристик и параметров операционного усилителя	31
Лабораторная работа 9	
Исследование применения операционного усилителя	35
Лабораторная работа 10	
Исследование базового логического элемента транзисторно-транзисторной логики.....	39
Лабораторная работа 11	
Исследование характеристик и параметров оптрона.....	43
Литература.....	46

*Бочаров Евгений Иванович
Бессонов Александр Петрович
Кратиров Игорь Алексеевич
Павлов Виктор Матвеевич
Першин Юрий Михайлович
Фирсов Кирилл Андреевич*

ЭЛЕКТРОНИКА

Методические указания к лабораторным работам

Ответственный редактор *Е.И. Бочаров*

Редактор *Е.Ю. Пономарева*
Компьютерная верстка *М.Ю. Кусовой*

План 2010 г., п. 41

Подписано к печати 28.12.2010
Объем 3 печ. л. Тир. 240 экз. Зак. 115

Издательство «Теледом» ГОУВПО СПбГУТ
191186 СПб., наб. р. Мойки, 61
Отпечатано в СПбГУТ