

ГОСУДАРСТВЕННОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра «Физические методы контроля»

ЭЛЕКТРОНИКА И МИКРОПРОЦЕССОРНАЯ ТЕХНИКА

*Методические рекомендации к лабораторным работам
для студентов направления подготовки
12.03.04 «Биотехнические системы и технологии»
дневной формы обучения*

Часть 1



Могилев 2018



УДК 621.38+004.4
ББК 32.85+32.973.26-04
Э 45

Рекомендовано к изданию
учебно-методическим отделом
Белорусско-Российского университета

Одобрено кафедрой «Физические методы контроля» «29» марта 2018 г.,
протокол № 9

Составители: канд. техн. наук, доц. А. А. Афанасьев;
ст. преподаватель Е. Н. Прокопенко

Рецензент канд. техн. наук, доц. С. В. Болотов

В методических рекомендациях кратко изложены изучаемые теоретические сведения, приведен порядок выполнения экспериментальных исследований, указана структура отчета о выполненной работе и дан список контрольных вопросов для самопроверки по каждой теме. Составлены в соответствии с рабочей программой по дисциплине «Электроника и микропроцессорная техника» для студентов направления подготовки 12.03.04 «Биотехнические системы и технологии» дневной формы обучения.

Учебно-методическое издание

ЭЛЕКТРОНИКА И МИКРОПРОЦЕССОРНАЯ ТЕХНИКА

Часть 1

Ответственный за выпуск	С. С. Сергеев
Технический редактор	А. А. Подошевка
Компьютерная верстка	Н. П. Полевничая

Подписано в печать . Формат 60×84/16. Бумага офсетная. Гарнитура Таймс.
Печать трафаретная. Усл. печ. л. . Уч.-изд. л. . Тираж 21 экз. Заказ №

Издатель и полиграфическое исполнение:
Государственное учреждение высшего профессионального образования
«Белорусско-Российский университет».
Свидетельство о государственной регистрации издателя,
изготовителя, распространителя печатных изданий
№ 1/156 от 24.01.2014.
Пр. Мира, 43, 212000, Могилев.

© ГУ ВПО «Белорусско-Российский
университет», 2018



Содержание

1 Лабораторная работа № 1. Инструктаж по технике безопасности при работе с электрическими приборами. Изучение инструкций по эксплуатации приборов и оборудования в лаборатории	4
2 Лабораторная работа № 2. Исследование режимов работы учебного стенда	5
3 Лабораторная работа № 3. Исследование параметров постоянных и переменных аналоговых сигналов.....	6
4 Лабораторная работа № 4. Исследование работы выпрямительного диода	9
5 Лабораторная работа № 5. Исследование работы стабилизатора	12
6 Лабораторная работа № 6. Исследование работы светодиода.....	15
7 Лабораторная работа № 7. Исследование работы оптопары	18
8 Лабораторная работа № 8. Исследование работы биполярного транзистора	20
9 Лабораторная работа № 9. Исследование коэффициента усиления и полосы пропускания усилителя.....	23
Список литературы	26



1 Лабораторная работа № 1. Инструктаж по технике безопасности при работе с электрическими приборами. Изучение инструкций по эксплуатации приборов и оборудования в лаборатории

Цель работы: изучение органов управления и характеристик учебного стенда К32 и вспомогательного оборудования.

1.1 Основные теоретические сведения

Комплект лабораторного оборудования по электронной технике К32 предназначен для использования в качестве учебного оборудования при проведении лабораторных занятий по основным элементам электронной техники.

1.2 Порядок выполнения работы

Изучить инструкции по эксплуатации учебного стенда К32, устройств, которыми он укомплектован, и вспомогательных приборов (генератора сигналов, осциллографа, мультиметра), приобрести навыки их практического использования.

Содержание отчета

Отчет о проделанной работе должен содержать название лабораторной работы, цель работы, краткое описание приборов и вспомогательного оборудования учебного стенда К32.

Контрольные вопросы

- 1 Каково назначение блока управления К32?
- 2 Что входит в состав комплекта лабораторного оборудования по электронной технике К32?
- 3 Назовите функциональные возможности генератора Л31.
- 4 Какой диапазон частот обеспечивает генератор Л31?
- 5 Какие физические величины и в каком диапазоне можно измерять мультиметром?
- 6 Назовите основные органы управления осциллографом.



2 Лабораторная работа № 2. Исследование режимов работы учебного стенда

Цель работы: приобретение навыков использования лабораторных измерительных приборов при исследовании электронных устройств в разных режимах работы учебного стенда.

2.1 Порядок выполнения работы

2.1.1 Включить блок управления (БУ) К32, генератор Л31, мультиметр и осциллограф.

2.1.2 В разъем, расположенный на передней панели блока управления, вставить сменное устройство УС4.

2.1.3 Соединить кабелем гнезда «ВЫХОД~» БУ и вход мультиметра.

2.1.4 Измерить напряжение постоянно тока в гнездах XS3, XS4, XS5, XS6, XS7, поочередно подключая их с помощью проводника к гнезду «ВХОД 1» коммутатора БУ, предварительно нажав кнопки «+5, +15-15, -30» в группе кнопок «ПИТАНИЕ V», кнопку «ВХ 1» в группе кнопок «КОНТРОЛЬ V~» и кнопку « $\overline{ВСВ} \overline{ВНК}$ », относящуюся к гнездам «ВХОД 1» в блоке «КОММУТАТОР». Полученные результаты занести в таблицу 2.1.

Таблица 2.1 – Напряжения, измеренные в гнездах устройства сменного УС4

Гнездо	XS3	XS4	XS5	XS6	XS7	XS2	XS1
$U, В$							

2.1.5 Подключить мультиметр с помощью кабеля к гнездам «ВЫХОД V=» БУ. Нажать кнопку «ГН1» в группе кнопок «КОНТРОЛЬV=» и, установив левую ручку в блоке «ГН1» сначала в левое крайнее положение, а затем в правое крайнее положение, плавно вращая правую ручку в блоке «ГН1», измерить, в каком диапазоне изменяется напряжение на гнездах «ВЫХОД V=». Результаты измерений записать.

2.1.6 Нажав кнопку «ГН2» в группе кнопок «КОНТРОЛЬ V=», проделать то же самое с блоком «ГН2». Результаты измерений записать.

2.1.7 Выставить на выходе генератора ГН1 напряжение « $U = \quad В$ », на выходе ГН2 – напряжение « $U = \quad В$ » (по заданию преподавателя).

2.1.8 С помощью мультиметра измерить напряжение на сменном устройстве УС4 в гнездах XS1 и XS2. Результаты записать в таблицу 2.1.

2.1.9 Кабелем соединить генератор Л31 с гнездом «ВХОД ГС1». Вторым кабелем гнездо «ВЫХОД V» БУ соединить с входом А осциллографа. Нажать кнопку на передней панели генератора Л31 «~» в группе кнопок «МНОЖИТЕЛЬ». На экране осциллографа получить устойчивое изображение синусоиды. Измерить период и амплитуду сигнала на выходе генератора с помощью осциллографа. Зная период, рассчитать частоту.

Содержание отчета

Отчет о проделанной работе должен содержать название лабораторной работы, цель работы, таблицы с результатами измерений, осциллограммы сигналов, выводы.

Контрольные вопросы

- 1 Сигналы каких форм можно наблюдать с помощью осциллографа?
- 2 К каким гнездам подключается к блоку управления генератор, мультиметр?
- 3 Для чего предназначены кнопки под надписью «КОНТРОЛЬ V~»?
- 4 Какие величины можно измерять мультиметром?

3 Лабораторная работа № 3. Исследование параметров постоянных и переменных аналоговых сигналов

Цель работы: приобретение навыков использования виртуальных измерительных приборов при исследовании работы электронных устройств.

3.1 Основные теоретические сведения

В работе приобретаются практические навыки использования виртуального оборудования для измерения параметров постоянных и переменных электрических сигналов.

Виртуальными приборами для исследования электронных устройств укомплектована программа Multisim. Она предназначена для ввода схем устройств, моделирования их работы. Интерфейс Multisim показан на рисунке 3.1.

Меню. Здесь находятся команды для всех функций.

Стандартная инструментальная панель содержит кнопки для наиболее употребительных функций (создание, открытие, сохранение файла, копирования, печати схемы и т. д.).

Панель симуляции имеет кнопки для старта, остановки и других функций симуляции.

Панель инструментов имеет кнопки для каждого инструмента.

Окно схемы (или рабочего пространства) – место, где ведётся разработка схемы.



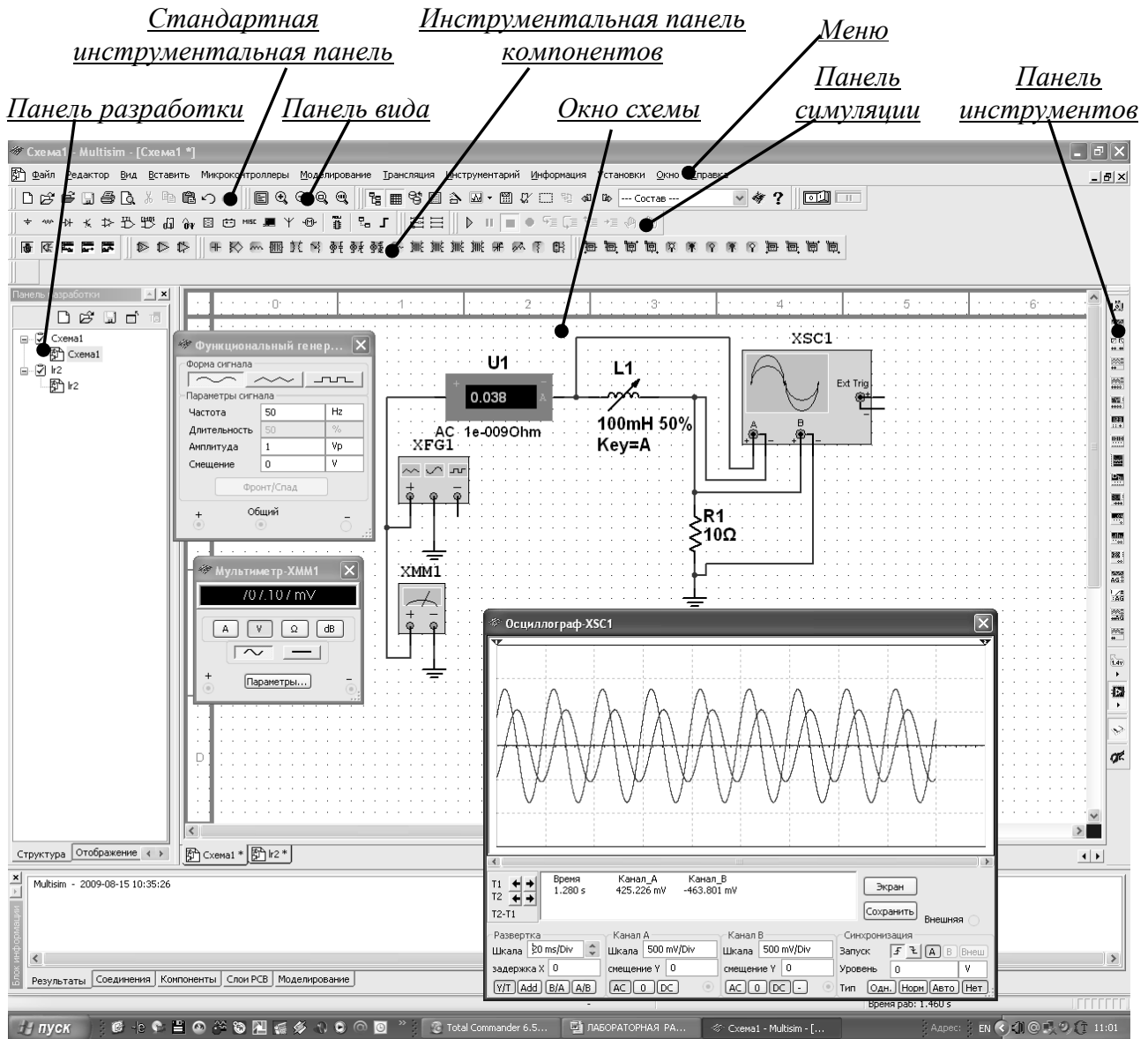


Рисунок 3.1 – Интерфейс Multisim

Инструментальная панель компонентов имеет кнопки, которые позволяют выбрать компоненты из базы данных Multisim для размещения в схеме.

Панель разработки позволяет перемещаться по разным типам файлов проекта (схема, разводка платы, сообщения), видеть иерархию схемы и показывать или скрывать разные слои.

Вид ячеек позволяет быстро обзирать и редактировать такие детали, как параметры, включая цоколевку, ссылки, атрибуты и прочее.

Компоненты – это основа любой схемы, это все элементы, из которых она состоит. Multisim оперирует с двумя категориями компонентов: реальными (real) и виртуальными (virtual). У реальных компонентов, в отличие от виртуальных, есть определенное, неизменяемое значение и свое соответствие на печатной плате. Виртуальные компоненты нужны только для эмуляции, пользователь может назначить им произвольные параметры. Например, сопро-

тивление виртуального резистора может быть произвольным, даже 3,86654 Ом.

В Multisim есть и другая классификация компонентов: аналоговые, цифровые, смешанные, анимированные, интерактивные, цифровые с мультивыбором, электромеханические и радиочастотные.

Изменение этих элементов сразу отражается на результатах эмулирования. Компоненты управляются с помощью клавиш, указанных под каждым элементом.

Для задания сигналов и просмотра результатов моделирования используются виртуальные приборы – модельные компоненты Multisim, которые соответствуют реальным приборам: осциллографам, генераторам сигналов, сетевым анализаторам и др.

3.2 Порядок выполнения работы

3.2.1 Изучить инструментальные панели среды Multisim, возможности эмуляции. Ознакомиться с набором компонентов и виртуальных приборов.

3.2.2 Собрать схему в Multisim в соответствии с рисунком 3.2.

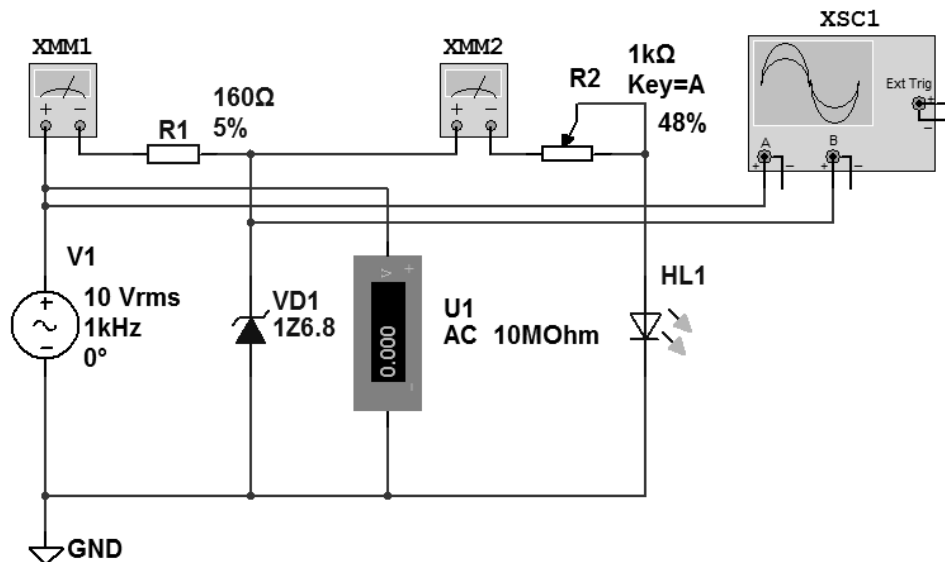


Рисунок 3.2 – Измерение электрических сигналов виртуальными приборами в Multisim

Для этого:

- выбрать необходимые элементы из «инструментальной панели компонентов»;
- задать параметры элементов схемы;
- из «панели инструментов» выбрать виртуальные приборы;
- задать параметры виртуальных приборов (частоту и амплитуду генерируемого сигнала, диапазон и род измеряемых величин и т. д.);
- соединить между собой компоненты, получив электрическую схему.

3.2.3 Запустить моделирование работы схемы. Зафиксировать показания измерительных приборов, осциллограммы напряжений в контрольных точках.

3.2.4 Исследовать по заданию преподавателя влияние параметров элементов схемы на параметры выходных сигналов.

Содержание отчета

Отчет о проделанной работе должен содержать название лабораторной работы, цель работы, таблицы с результатами измерений, осциллограммы сигналов, выводы.

Контрольные вопросы

- 1 Сигналы каких форм можно наблюдать с помощью осциллографа?
- 2 Какие величины можно измерять мультиметром?
- 3 Каково назначение органов управления виртуального осциллографа?

4 Лабораторная работа № 4. Исследование работы выпрямительного диода

Цель работы: исследование работы выпрямительного диода и устройств на его основе.

4.1 Основные теоретические сведения

Выпрямительные диоды предназначены для преобразования переменного тока в постоянный. Они являются одним из наиболее распространённых типов полупроводниковых диодов. Основное свойство выпрямительных диодов – односторонняя проводимость, наличие которой определяет эффект выпрямления.

Обычно выпрямительный полупроводниковый диод нормально работает при напряжениях, лежащих в диапазоне до 1000 В.

Возможности полупроводникового диода как выпрямителя характеризуют следующие основные электрические параметры:

– U_{np} – постоянное прямое напряжение на диоде при заданном значении прямого тока, обычно не превышающее 1 В для германиевых и 2 В для кремниевых диодов. Эта величина связана с величиной контактной разности потенциалов, которая у кремния выше, чем у германия;

– I_{np} – постоянный выпрямленный ток через диод при заданном прямом напряжении. По величине выпрямленного тока диоды делятся на диоды малой ($I_{np} < 0,3$ А), средней ($0,3 < I_{np} < 10$ А) и большой ($I_{np} > 10$ А) мощности;

– $I_{обр}$ – обратный ток, протекающий через диод при заданном обратном напряжении, обычно указывается для вполне определённой температуры, т. к. сильно зависит от неё. У германиевого и кремниевого диодов $I_{обр}$ различаются очень сильно, что объясняется различной шириной запрещённой зоны германия и кремния;

– $I_{np.max}$ – максимальный допустимый прямой ток, значение которого ограничивается разогревом $p-n$ -перехода;

– $U_{обр.max}$ – максимально допустимое обратное напряжение, которое может выдержать диод в течение длительного времени без нарушения его работо-



способности (до наступления пробоя $p-n$ -перехода). Кремниевые диоды позволяют получать более высокие значения $U_{обр.max}$, т. к. удельное сопротивление собственного кремния ($\rho_i \approx 105 \text{ Ом}\cdot\text{см}$) много больше сопротивления собственного германия ($\rho_i \approx 50 \text{ Ом}\cdot\text{см}$);

– P_{max} – максимально допустимая мощность, рассеиваемая диодом, зависит от габаритов, массы диода и его конструкции. У наиболее мощных диодов площадь перехода доходит до 1 см^2 , а масса – до $15\dots 20 \text{ г}$, у мало-мощных площадь переходов в 100 раз, а масса в 10 раз меньше;

– f_{max} – предельная частота, на которой может работать диод, сохраняя свою работоспособность.

4.2 Порядок выполнения работы

4.2.1 На основании заданного преподавателем типа диода и ЭДС E источника питания заполнить таблицу 4.1, взяв параметры диода из справочника.

Таблица 4.1 – Параметры диода и ограничивающего резистора

Тип диода	Параметры источника ЭДС	Параметры диода (справочные)						Параметры резистора	
	$E, \text{ В}$	$I_{np.max}, \text{ мА}$	$U_{np.max}, \text{ В}$	$U_{обр.max}, \text{ В}$	$I_{обр.max}, \text{ мкА}$	$T, \text{ }^\circ\text{C}$	$f_{max}, \text{ кГц}$	$R1, \text{ Ом}$	$P_{R1}, \text{ Вт}$

4.2.2 Рассчитать параметры и выбрать из ряда E24 сопротивление ограничивающего резистора $R1$ для исследования параметров выпрямительного диода в Multisim (рисунок 4.1):

$$R_1 = \frac{E}{I_{np \max} / 2}; \quad P_{R1} = \frac{(E - U_{np})^2}{R1}.$$

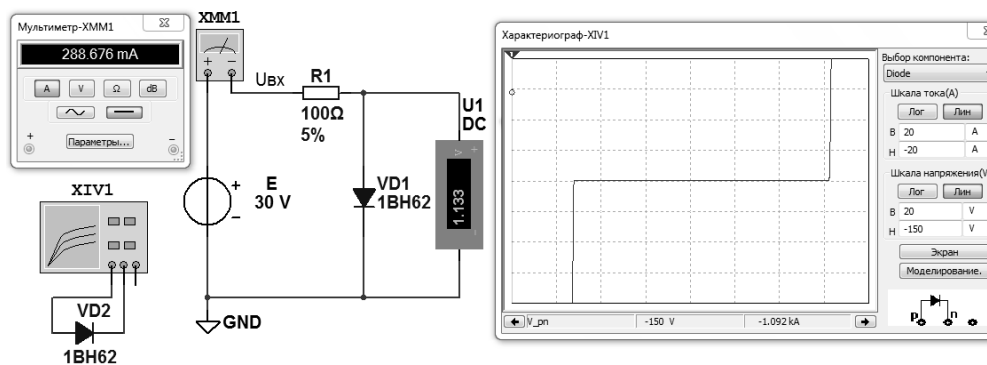


Рисунок 4.1 – Схема для исследования выпрямительного диода в Multisim

Полученные значения параметров $R1$ записать таблицу 4.1.

4.2.3 Для построения вольт-амперной характеристики (ВАХ) диода в среде Multisim собрать схему, показанную на рисунке 4.1, выполнить моделирование её работы, изменяя ЭДС источника питания. Результаты моделирования записать в отчет в виде таблицы 4.2.

Таблица 4.2 – Параметры диода по результатам моделирования в Multisim

Тип диода	ЭДС источника	Параметры диода		Параметры резистора	
	$E, В$	$I_{np}, мА$	$U_{np}, В$	$R1, Ом$	$P_{R1}, Вт$

Для снятия обратной ветви ВАХ необходимо в схеме, показанной на рисунке 4.1, изменить полярность источника питания, ограничивающее сопротивление $R1$ взять около 1 кОм.

4.2.4 Исследовать ВАХ диода заданного типа с помощью характеристикографа XIV1. Результаты моделирования записать в отчет в виде таблицы 4.3.

Таблица 4.3 – Параметры диода по результатам моделирования в Multisim его ВАХ

Тип диода	$I_{np \text{ min}}, мА$	$U_{np \text{ min}}, В$	$I_{np \text{ max}}, мА$	$U_{np \text{ max}}, В$	$U_{обр \text{ max}}, В$	$I_{обр \text{ max}}, мкА$

4.2.5 Собрать схему в Multisim в соответствии с рисунком 4.2 для исследования работы однополупериодного выпрямителя, запустить моделирование. Измерить ток прибором ХММ1 и напряжение на нагрузке U_n прибором U1 при $R2$, равном 0 и 1 кОм. Осциллограммы входного напряжения U_{ex} и напряжения на нагрузке U_n нарисовать в отчете.

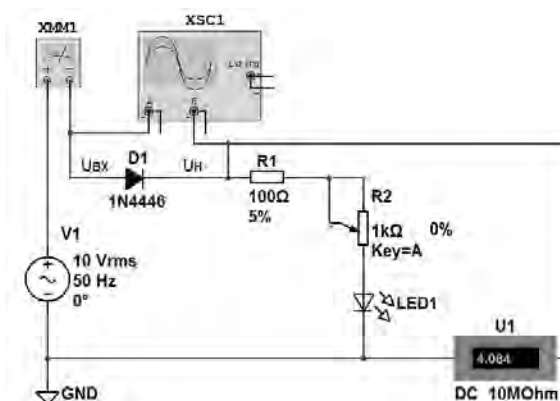


Рисунок 4.2 – Схема для исследования работы однополупериодного выпрямителя в Multisim

4.2.6 Собрать схему в Multisim в соответствии с рисунком 4.3 для исследования работы двухполупериодного выпрямителя, запустить моделирование.

Измерить напряжение на нагрузке U_H прибором U1 при R_2 , равном 0 и 1 кОм. Осциллограммы входного напряжения $U_{вх}$ и напряжения на нагрузке U_H нарисовать в отчете.

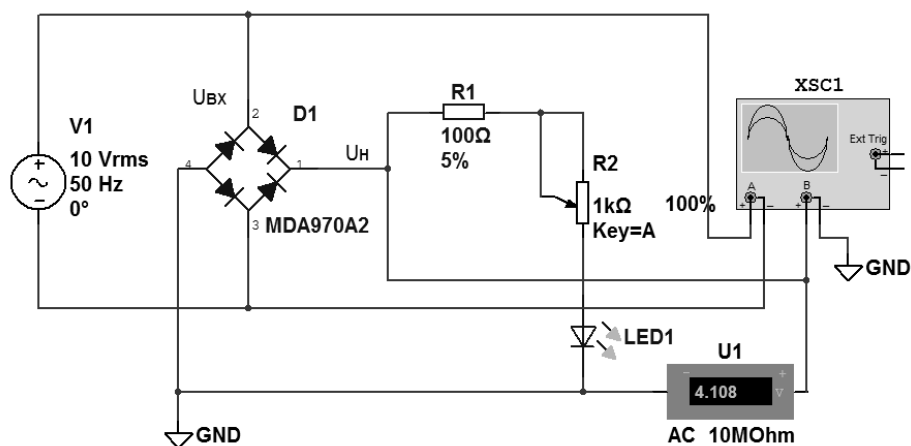


Рисунок 4.3 – Схема для исследования работы двухполупериодного выпрямителя в Multisim

Содержание отчёта

Отчёт по работе должен содержать цель работы, схемы и результаты моделирования работы выпрямительного диода и выпрямительных устройств в среде Multisim, ВАХ диода и таблицы с результатами, выводы по работе.

Контрольные вопросы

- 1 Назовите основные параметры полупроводниковых диодов.
- 2 Какие полупроводники применяются для изготовления полупроводниковых диодов?
- 3 В чем недостатки однополупериодного выпрямителя?
- 4 Какие схемы выпрямителей на полупроводниковых диодах Вы знаете?

5 Лабораторная работа № 5. Исследование работы стабилитрона

Цель работы: исследование характеристик и параметров стабилитрона.

5.1 Основные теоретические сведения

Стабилитронами называют полупроводниковые диоды, на вольт-амперной характеристике (ВАХ) которых имеется участок со слабой зависимостью напряжения от протекающего тока. Напряжение на таком диоде U_{cm} остаётся почти постоянным при изменении тока в широких пределах от $I_{cm \min}$ до $I_{cm \max}$. Рабочий

участок ВАХ стабилитрона выбирают в режиме электрического пробоя p - n -перехода, т. е. пробой является нормальным режимом работы стабилитрона.

В настоящее время стабилитроны изготавливаются из кремния n -типа, обеспечивающего значительную крутизну характеристики в рабочей области, небольшой ток в предпробойной области, а также высокую допустимую температуру p - n -перехода.

Возможности стабилитрона характеризуют следующие его электрические параметры:

– $U_{cm \text{ ном}}$ – напряжение стабилизации, являющееся напряжением пробоя, обычно определяется для некоторого среднего значения тока в диапазоне от $I_{cm \text{ min}}$ до $I_{cm \text{ max}}$ и может несколько меняться в этих пределах. Напряжение пробоя стабилитрона, а значит, и напряжение стабилизации зависит от ширины p - n -перехода или от концентрации примесей в базе диода. Поэтому различные стабилитроны имеют напряжение стабилизации от 3 до 400 В;

– $I_{cm \text{ min}}$ – минимальный ток стабилизации, определяет точку на ВАХ, где пробой приобретает устойчивый характер (обычно доли – единицы миллиампер);

– $I_{cm \text{ max}}$ – максимальный ток стабилизации, определяется допустимой для данного прибора мощностью рассеяния, зависит от толщины p - n -перехода и от конструкции прибора (несколько миллиампер – несколько ампер).

– $R_{\text{диф}}$ – дифференциальное сопротивление стабилитрона, характеризует качество стабилитрона, т. е. его способность стабилизировать напряжение при изменении проходящего тока. Дифференциальное сопротивление определяется отношением приращения напряжения к вызвавшему его приращению тока на рабочем участке:

$$R_{\text{диф}} = \frac{\Delta U_{cm}}{\Delta I_{cm}} = \frac{\Delta U_{cm}}{I_{cm \text{ max}} - I_{cm \text{ min}}}.$$

Так как для лучшей стабилизации максимальным изменениям тока должны соответствовать минимальные изменения напряжения, то качество стабилитрона тем выше, чем меньше его дифференциальное сопротивление.

Для различных стабилитронов $R_{\text{диф}}$ лежит в пределах от десятых долей ома (низковольтные) до 100...200 Ом (высоковольтные);

– T_{KH} – температурный коэффициент напряжения стабилизации. T_{KH} характеризует температурные изменения напряжения стабилизации и численно равен относительному изменению напряжения стабилизации при изменении температуры на 1 °С:

$$T_{KH} = \frac{\Delta U_{cm}}{U_{cm} \Delta T}.$$

Значения этого параметра у разных стабилитронов различны. T_{KH} имеет положительные значения для относительно высоковольтных стабилитронов и отрицательные для низковольтных.



5.2 Порядок выполнения работы

5.2.1 На основании заданного преподавателем типа стабилитрона, параметров источника входного напряжения (E_{\min} и E_{\max}) необходимо рассчитать сопротивление и мощность ограничивающего резистора R_1 , P_{R1} (рисунок 5.1):

$$R_1 = \frac{E_{\max} - U_{\text{ст.ном}}}{I_{\text{ст.ном}}};$$

$$P_{R1} = \frac{(E_{\max} - U_{\text{ст.ном}})^2}{R_1}.$$

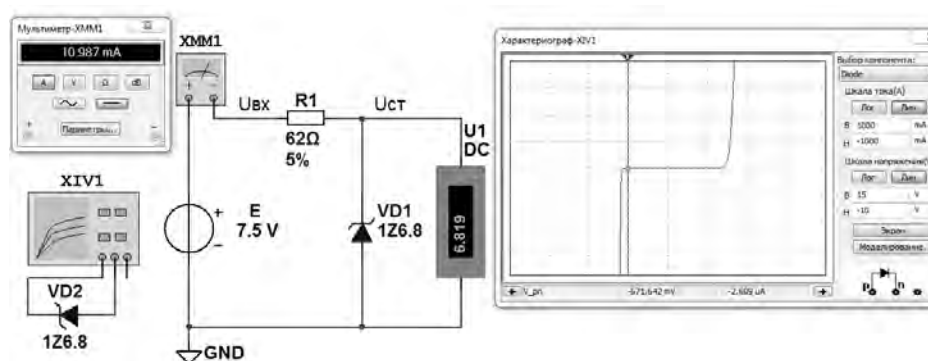


Рисунок 5.1 – Схема для исследования ВАХ стабилитрона в среде Multisim

Выбрать стандартное значение сопротивления R_1 из ряда E24. Результаты записать в отчет в виде таблицы 5.1.

Таблица 5.1 – Исходные данные для исследования стабилитрона

Тип стабилитрона	Параметры источника ЭДС		Параметры стабилитрона (справочные)						
	E_{\min} , В	E_{\max} , В	$I_{\text{ст.ном}}$, мА	$U_{\text{ст.ном}}$, В	$I(U)_{\text{ст. min}}$, мА(В)	$I(U)_{\text{ст. max}}$, мА(В)	TKH	$R_{\text{диф}}$, Ом	$P_{\text{рас}}$, Вт

5.2.2 Для построения вольт-амперной характеристики стабилитрона в программе Multisim собрать схему, показанную на рисунке 5.1. Осуществить моделирование её работы, изменяя ЭДС источника питания. Результаты моделирования записать в отчет в виде таблицы 5.2.

Таблица 5.2 – Параметры стабилитрона по результатам моделирования в Multisim

Тип стабилитрона	ЭДС источника	Параметры стабилитрона		Параметры резистора	
	E , В	$I_{\text{ст}}$, мА	$U_{\text{ст}}$, В	R_1 , Ом	P_{R1} , Вт

5.2.3 Исследовать ВАХ стабилизатора заданного типа с помощью характеристики XIV1. Результаты моделирования записать в отчет в виде таблицы 5.3.

Таблица 5.3 – Параметры стабилизатора по результатам моделирования в Multisim его ВАХ

Тип стабилизатора	$U_{ст\ min}$, В	$U_{ст\ max}$, В	$I_{ст\ min}$, мА	$I_{ст\ max}$, мА	$U_{ст\ ном}$, В	$I_{ст\ ном}$, мА	$P_{рас}$, Вт	$R_{диф}$, Ом

5.2.4 По полученным данным стабилизатора определить мощность, рассеиваемую на стабилизаторе $P_{рас}$, дифференциальное сопротивление стабилизатора на участке стабилизации $R_{диф}$ и записать полученные результаты в таблицу 5.3.

Содержание отчёта

Отчёт по работе должен содержать цель работы, задание к работе с расчётом и выбором элементов, схему для исследования ВАХ стабилизатора в среде Multisim, его ВАХ и результаты исследований в виде таблиц, выводы по работе.

Контрольные вопросы

- 1 Назовите основные параметры стабилизатора.
- 2 Какие полупроводники применяются для изготовления стабилизаторов?
- 3 Какие схемы включения стабилизаторов Вы знаете?

6 Лабораторная работа № 6. Исследование работы светодиода

Цель работы: исследование характеристик и параметров светодиода, моделирование работы светодиода в среде Multisim.

6.1 Основные теоретические сведения

Излучающий диод, работающий в видимом диапазоне волн, называют светодиодом.

Излучение возникает при протекании прямого тока через светодиод в результате рекомбинации электронов и дырок в области $p-n$ -перехода и в областях, примыкающих к указанной области. При рекомбинации излучаются фотоны.

В справочной литературе для светоизлучающих диодов приводятся электрические и световые параметры и характеристики. Электрические параметры отражают работу светодиода как элемента электрической схемы (постоянное прямое напряжение $U_{пр}$, максимально допустимый прямой ток $I_{пр,max}$, макси-



мально допустимое обратное напряжение $U_{обр \max}$), и физический смысл их тот же, что и для обычных выпрямительных диодов.

Световые параметры и характеристики светодиодов характеризуют их излучательные свойства.

Сила света I_v – излучаемый диодом световой поток, приходящийся на единицу телесного угла в направлении, перпендикулярном плоскости излучающего кристалла. Указывается при заданном значении прямого тока и измеряется в канделлах.

Яркость излучения L – величина, равная отношению силы света к площади светящейся поверхности. Измеряется в канделлах на квадратный метр при заданном значении прямого тока через диод.

Характеристикой диода как источника света является зависимость яркости от прямого тока $L = f(I_{np})$ – *яркостная характеристика* или зависимость силы света от прямого тока $I_v = f(I_{np})$ – *световая характеристика*.

Для серийных типов светодиодов часто приводится зависимость силы света от прямого тока в относительных единицах, которая показывает, насколько снижается или увеличивается сила света от значения, указанного в параметрах для данного прибора, при изменении тока через диод.

Спектральная характеристика светодиода – зависимость интенсивности излучения от длины волны излучаемого света или от энергии излучаемых квантов. В первом приближении спектральный состав излучения можно характеризовать цветом свечения.

Длина волны светового излучения, соответствующая максимуму спектральной характеристики светодиода, является световым параметром и указывается как максимум спектрального разделения λ_{\max} .

Излучение диода также характеризуется диаграммой направленности, которая определяется конструкцией диода, наличием линзы, оптическими свойствами защищающего кристалл материала. Диаграммы, приводимые для прибора в справочных данных, показывают снижение силы света в зависимости от угла, под которым ведётся наблюдение излучения.

Светоизлучающие диоды характеризуются высоким быстродействием. Излучение нарастает за время менее 10^{-8} с после подачи импульса прямого тока.

6.2 Порядок выполнения работы

6.2.1 На основании заданного преподавателем типа светодиода рассчитать сопротивление и мощность ограничивающего резистора R_1 (рисунок 6.1):

$$R_1 = \frac{E}{I_{np \max} / 2}; \quad (6.1)$$

$$P_{R1} = \frac{(E - U_{np})^2}{R_1}. \quad (6.2)$$



Параметры светодиода взять из электронного справочника, выбрать стандартное значение сопротивления из ряда E24, заполнить таблицу 6.1.

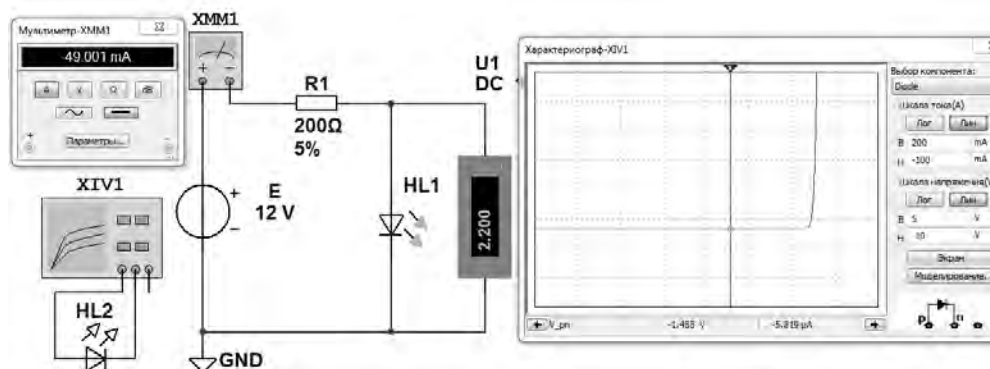


Рисунок 6.1 – Схема для исследования ВАХ светодиода в среде Multisim

Таблица 6.1 – Исходные данные для исследования светодиода

Тип светодиода	ЭДС источника	Параметры светодиода (справочные)				Параметры резистора	
	$E, В$	$\lambda_{max}, мкм$	$I_{np\ max}, mA$	$U_{np}, В$	$U_{обр\ max}, В$	$R1, Ом$	$P_{R1}, Вт$

6.2.2 Для построения вольт-амперной характеристики светодиода в программе Multisim собрать схему, показанную на рисунке 6.2. Осуществить моделирование её работы, изменяя ЭДС источника питания. Результаты моделирования записать в отчет в виде таблицы 6.2.

Таблица 6.2 – Параметры светодиода по результатам моделирования в Multisim

Тип светодиода	ЭДС источника	Параметры светодиода		Параметры резистора	
	$E, В$	I_{np}, mA	$U_{np}, В$	$R1, Ом$	$P_{R1}, Вт$

6.2.3 Исследовать ВАХ светодиода заданного типа с помощью характеристикографа XIV1. Результаты моделирования записать в отчет в виде таблицы 6.3.

Таблица 6.3 – Параметры светодиода по результатам моделирования в Multisim его ВАХ

Тип светодиода	ЭДС источника	Параметры светодиода			
	$E, В$	$I_{np\ min}, mA$	$I_{np\ max}, mA$	$U_{np\ min}, В$	$U_{np\ max}, В$

Содержание отчёта

Отчёт по работе должен содержать цель работы, задание к работе с расчётом и выбором элементов, схему для исследования ВАХ светодиода в среде Multisim, его ВАХ и параметры по результатам исследований в виде таблиц, выводы по работе.

Контрольные вопросы

- 1 Назовите основные электрические параметры светодиода.
- 2 Назовите основные световые параметры светодиода.
- 3 Что такое спектральная характеристика светодиода?
- 4 Что такое диаграмма направленности светодиода?
- 5 Какова схема включения светодиода?

7 Лабораторная работа № 7. Исследование работы оптопары

Цель работы: изучение и исследование параметров, характеристик и схем включения оптопар и оптоэлектронных ключей, их работы.

7.1 Основные теоретические сведения

Оптопарой называют устройство, содержащее излучатель и фотоприемник, оптически и конструктивно связанные друг с другом. Принцип действия оптопары основан на двойном преобразовании энергии. В излучателе энергия электрического сигнала преобразуется в оптическое излучение, а в фотоприемнике оптический сигнал преобразуется в электрический ток или напряжение. В работе исследуется оптоэлектронный переключатель-инвертор на основе диодной оптопары К293ЛПА (рисунок 7.1).

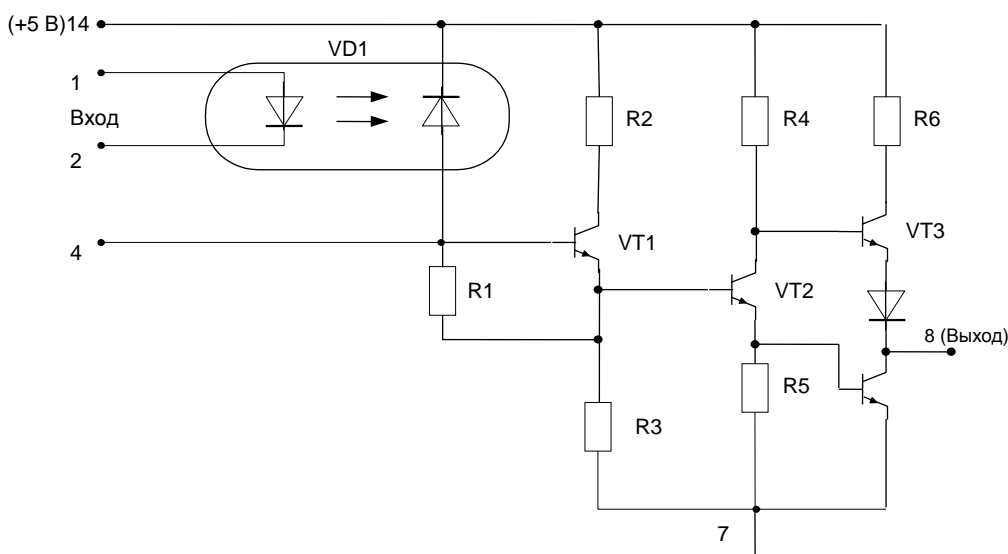


Рисунок 7.1 – Схема электрическая оптопары К293ЛПА

Основным параметром, характеризующим частотные свойства переключателя-инвертора, является время задержки распространения сигнала при включении и выключении: $t_3 = 0,5$ мкс.

7.2 Порядок выполнения работы

7.2.1 Включить генератор ЛЗІ, мультиметр БМК 32, БУ, нажав кнопки «СЕТЬ».

7.2.2 В разъем вставить сменное устройство УС 11.

7.2.3 В отчете нарисовать схему включения оптронного ключа DD3 с подключенными к нему источником питания, генератором и мультиметром.

7.2.4 Нажать кнопку «+5 В» в группе кнопок «ПИТАНИЕ V».

Подключить осциллограф к выводу 4 DD3, соединив кабелем гнездо Y/300 V_{\max} (вход осциллографа) с гнездами «ВЫХОД V~» БУ. Проводником соединить гнездо XS1 и гнездо «ВХОД 2» блока «КОММУТАТОР». Нажать кнопку $BC_{\text{в}}|B_{\text{н}}K$ в этом блоке и кнопку «ВХ2» в блоке «КОНТРОЛЬ V~». Получить на экране осциллографа устойчивое изображение последовательности импульсов. С помощью мультиметра измерить их амплитуду, период, рассчитать частоту.

7.2.5 Подключить вход 1 DD3 к осциллографу, используя программатор СИ, нажав кнопку «ВХ1|ВХ2» и « $BC_{\text{в}}|B_{\text{н}}K$ » в блоке КВУ и установив номер канала прохождения импульсов (КПИ) с помощью кнопок « 2^0-2^3 », «УСТАН.0» и «ПУСК». Получить устойчивое изображение сигнала на экране осциллографа. С помощью мультиметра измерить период и рассчитать частоту следования импульсов, период и частоту импульсов в пачке. Полученные осциллограммы зарисовать в отчете.

7.2.6 Подключить выход 8 DD3 к осциллографу, установив КПИ=2. Получить на экране осциллографа изображение выходного сигнала, с помощью мультиметра измерить его амплитуду, период и рассчитать частоту. Сравнить полученные данные с данными п. 7.2.5. Осциллограмму зарисовать.

7.2.7 Установив КПИ=3, получить на экране осциллографа проинвертированный сигнал на выходе оптрона. Осциллограмму зарисовать.

Осциллограммы всех сигналов зарисовать в едином масштабе по оси времени.

7.2.8 Сравнить параметры входного и выходного сигналов оптрона и сделать выводы по полученным результатам.

Содержание отчета

Отчет о проделанной работе должен содержать название работы, цель работы, схему электрическую оптрона, временные диаграммы входных и выходных сигналов, их параметры, выводы по работе.



Контрольные вопросы

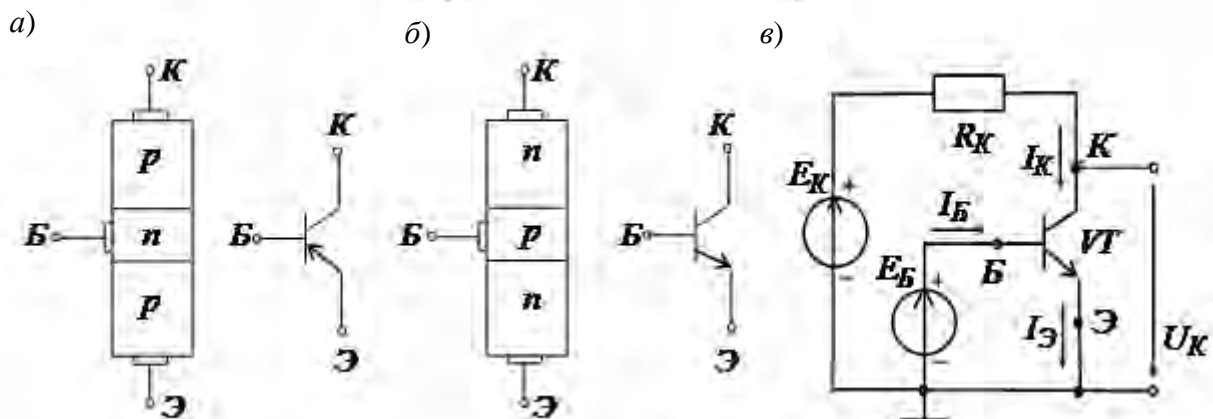
- 1 Как классифицируются оптопары по приемникам излучения, по конструктивному исполнению?
- 2 За счет чего при использовании оптопар получается гальваническая развязка?
- 3 Опишите принцип действия оптопар.

8 Лабораторная работа № 8. Исследование работы биполярного транзистора

Цель работы: исследование характеристик биполярного транзистора, моделирование его работы в Multisim.

8.1 Основные теоретические сведения

Биполярный транзистор представляет собой кристалл полупроводника, состоящий из трех слоев с чередующейся проводимостью и снабженный тремя выводами для подключения к внешней цепи (рисунок 8.1, а, б).



Э – эмиттер, К – коллектор, Б – база

Рисунок 8.1 – Структура, обозначение биполярных транзисторов разных типов, схема включения с общим эмиттером

Как видно из рисунка, в каждой из этих структур существуют два $p-n$ -перехода – эмиттерный и коллекторный.

Схема включения транзистора с ОЭ (рисунок 8.1, в) является наиболее распространенной вследствие малого тока базы во входной цепи и усиления входного сигнала как по напряжению, так и по току.

Полярность внешних источников E_B и E_K выбирается так, чтобы на эмиттерном переходе было прямое напряжение, а на коллекторном – обратное. Напряжения между коллектором и базой, коллектором и эмиттером, базой и эмиттером обозначаются U_{KB} , $U_{KЭ}$, $U_{БЭ}$ соответственно.

Биполярный транзистор в процессе работы может находиться в одном из трех состояний: **отсечки**, **активном** и **насыщения**. В состоянии отсечки биполярный транзистор закрыт, он имеет большое внутреннее сопротивление, прямые токи через него не протекают. В состоянии насыщения биполярный транзистор полностью открыт, имеет минимальное внутреннее сопротивление и максимальный ток, протекающий через него, ограничиваемый внешними резисторами (резистором). Состояние насыщения наступает тогда, когда входной сигнал (ток, протекающий через базу транзистора) перестает влиять на ток коллектора. Активное состояние транзистора характеризуется тем, что он открыт и ток, протекающий через него, зависит и изменяется под воздействием входного сигнала (тока базы):

$$I_k = h_{21Э} \cdot I_б,$$

где I_k – ток коллектора;

$I_б$ – ток базы;

$h_{21Э}$ – коэффициент передачи тока базы.

Коэффициент усиления усилителя

$$K_{yc} = U_{вых} / U_{вх}.$$

8.2 Порядок выполнения работы

8.2.1 Собрать схему, изображенную на рисунке 8.2, в Multisim, выбрав из библиотеки Multisim биполярный транзистор $n-p-n$ -типа по заданию преподавателя. В справочнике найти его основные параметры и записать в отчет в виде таблицы 8.1.

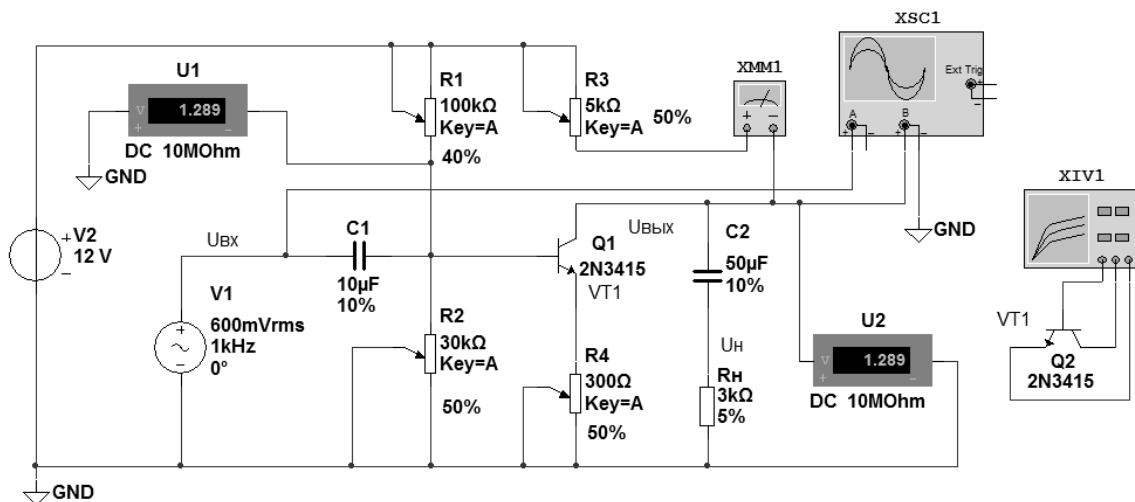


Рисунок 8.2 – Схема для исследования биполярного транзистора в Multisim



Таблица 8.1 – Параметры исследуемого транзистора

Тип транзистора	$I_k \text{ max,}$ мА	$U_{кэ} \text{ max,}$ В	$U_{кб} \text{ max,}$ В	$U_{бэ} \text{ max,}$ В	$P_k \text{ max,}$ Вт	$h_{21Э}$

8.2.2 Подключив исследуемый транзистор к характериографу XIV1, получить и зарисовать в отчете семейство его выходных ВАХ.

8.2.3 Выставив значения сопротивлений $R3$ и $R4$, как показано на рисунке 8.2, исследовать влияние резисторов $R1$ и $R2$ на потенциал базы транзистора VT1, и как следствие, на форму и амплитуду выходного сигнала $U_{вых}$. Входной сигнал $U_{вх}$ и выходной сигнал $U_{вых}$ наблюдать с помощью осциллографа XSC1. За постоянной составляющей напряжения на базе и на коллекторе транзистора наблюдать с помощью вольтметров U1 и U2. Ток коллектора регистрируется амперметром XMM1. Результаты исследований записать в отчет в виде таблицы 8.2.

Таблица 8.2 – Параметры исследуемого усилителя

$R1,$ кОм	$R2,$ кОм	$R3,$ кОм	$R4,$ Ом	$U_b,$ В	$U_k,$ В	$I_k,$ мА	$U_{вх},$ В	$U_{вых},$ В	$K_{ус}$

Записать значения сопротивлений $R1$ и $R2$, при которых форма выходного сигнала претерпевает наибольшие изменения.

8.2.4 Выставив значения сопротивлений $R1$ и $R2$, при которых сигнал $U_{вых}$ имеет минимальные искажения и максимальное усиление, исследовать влияние резисторов $R3$ и $R4$ на форму и амплитуду выходного сигнала $U_{вых}$.

8.2.5 Рассчитать коэффициент усиления $K_{ус}$ входного сигнала.

8.2.6 Повторить эксперимент, описанный в п. 8.2.4, выставив $U_{вх}$ 300 мВ, затем 3 В. Объяснить появление среза вершины сигнала $U_{вых}$.

Содержание отчёта

Отчёт по работе должен содержать цель работы, схему для моделирования характеристик биполярного транзистора в среде Multisim, результаты исследований, выводы по работе.

Контрольные вопросы

- 1 В каких состояниях может находиться транзистор?
- 2 Какой режим работы транзистора называется режимом покоя?
- 3 Как определяется коэффициент усиления усилителя на биполярном транзисторе?



4 Когда появляются искажения формы усиливаемого переменного сигнала синусоидальной формы?

5 Какими формулами описываются соотношения базового, коллекторного и эмиттерного токов в биполярном транзисторе?

9 Лабораторная работа № 9. Исследование коэффициента усиления и полосы пропускания усилителя

Цель работы: исследование параметров и характеристик электронного усилителя на основе операционного усилителя.

9.1 Основные теоретические сведения

Операционные усилители (ОУ), как и обычные усилители, используются для усиления напряжения или мощности входного сигнала. В схему его включают одним из трех способов: с инвертирующим, неинвертирующим или дифференциальными входами.

Схема включения ОУ с инвертирующим входом изображена на рисунке 9.1.

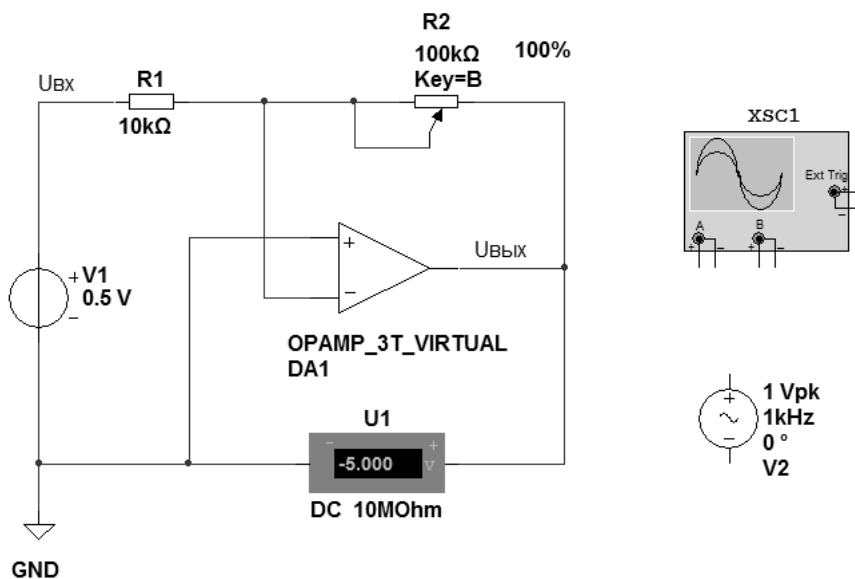


Рисунок 9.1 – Усилитель с инвертирующим входом на ОУ

Коэффициент усиления по напряжению усилителя с инвертирующим входом

$$K_{УИ} = -U_{ВЫХ}/U_{ВХ} = -R_2/R_1. \quad (9.1)$$

Знак «минус» показывает, что знак $U_{ВЫХ}$ по отношению к $U_{ВХ}$ меняется на противоположный.

Схема включения ОУ с неинвертирующим входом изображена на рисунке 9.2. Коэффициент усиления по напряжению усилителя с неинвертирующим входом

$$K_{VI} = U_{BVI} / U_{BX} = (R_1 + R_2) / R_1. \quad (9.2)$$

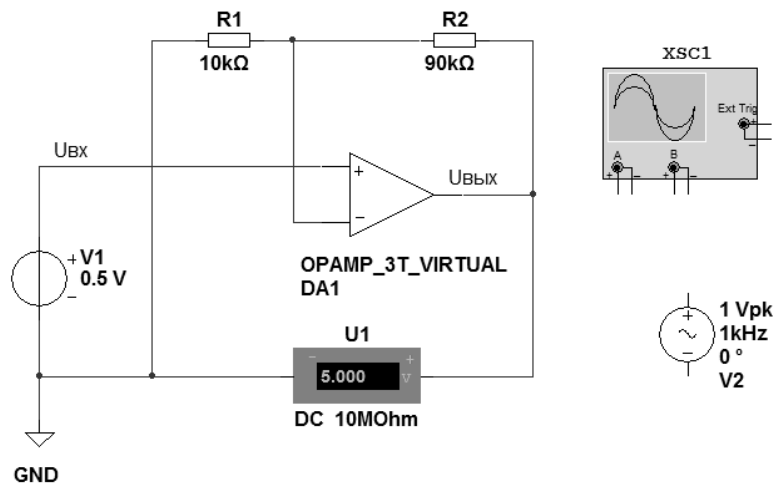


Рисунок 9.2 – Усилитель с неинвертирующим входом на ОУ

Полоса пропускания усилителя определяется его амплитудно-частотной характеристикой (АЧХ) (рисунок 9.3).

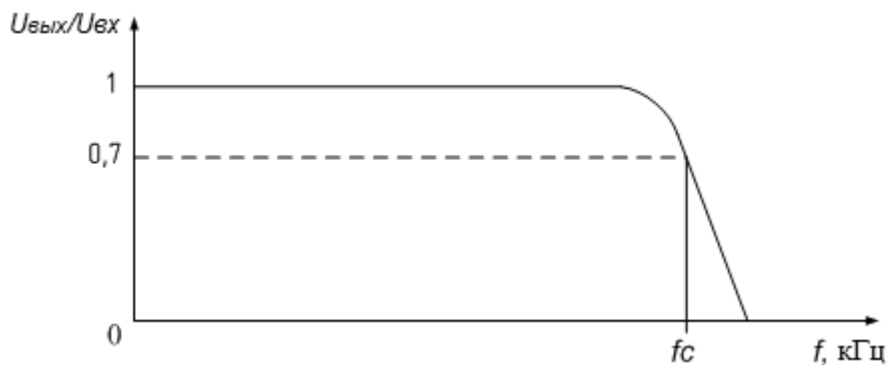


Рисунок 9.3 – Амплитудно-частотная характеристика усилителя

В паспорте каждого ОУ указывается частота, при которой его K_U становится равным единице.

9.2 Порядок выполнения работы

9.2.1 Составить схему в среде Multisim инвертирующего усилителя в соответствии с рисунком 9.1. Выходное напряжение усилителя U_{BVI} регистрируется вольтметром U1. По его показаниям и известному значению U_{BX} определить K_{VI} по формуле (9.1) при R_2 , равном 100, 50 и 20 кОм. Рассчитать K_{VI} по формуле (9.1) через сопротивления R_1 и R_2 . Результаты исследований записать в отчет в виде таблицы 9.1.

Заменить источник V1 (см. рисунок 9.1) на V2. Канал А осциллографа XSC1 подключить к выходу V2, канал В – к выходу ОУ DA1.

По временным диаграммам напряжений U_{BX} и U_{BVI} , полученным с помощью осциллографа, для R_2 , равного 80 и 40 кОм, определить K_{VI} . Рассчитать

$K_{УИ}$ через сопротивления $R1$ и $R2$. Сопоставить полученные результаты. Почему синусоиды на экране осциллографа формируются в противофазе?

Таблица 9.1 – Результаты исследований инвертирующего усилителя на ОУ

$R1$, кОм	$R2$, кОм	$U_{ВХ}$, В	$U_{ВЫХ}$, В	$K_{УИ} (R2 / R1)$	$K_{УИ} (U_{ВЫХ}/U_{ВХ})$

9.2.2 Составить схему в среде Multisim неинвертирующего усилителя в соответствии с рисунком 9.2. Выходное напряжение усилителя $U_{ВЫХ}$ регистрируется вольтметром $U1$. По его показаниям и известному значению $U_{ВХ}$ определить $K_{УИ}$ по формуле (9.2) при $R2$, равном 90, 40 и 10 кОм. Рассчитать $K_{УИ}$ по формуле (9.2) через сопротивления $R1$ и $R2$. Результаты исследований записать в отчет в виде таблицы 9.2.

Таблица 9.2 – Результаты исследований неинвертирующего усилителя на ОУ

$R1$, кОм	$R2$, кОм	$U_{ВХ}$, В	$U_{ВЫХ}$, В	$K_{УИ} (1 + R2/R1)$	$K_{УИ} (U_{ВЫХ}/U_{ВХ})$

Заменить источник $V1$ (см. рисунок 9.2) на $V2$. Канал А осциллографа XSC1 подключить к выходу $V2$, канал В – к выходу ОУ DA1. По временным диаграммам напряжений $U_{ВХ}$ и $U_{ВЫХ}$, полученным с помощью осциллографа, для $R2$ равного 70 и 20 кОм, определить $K_{УИ}$. Рассчитать $K_{УИ}$ через сопротивления $R1$ и $R2$. Сопоставить полученные результаты. Почему синусоиды на экране осциллографа формируются синфазно?

9.2.3 Исследовать АЧХ усилителя на микросхеме ОУ HA2-2529-5 (рисунок 9.4), взяв его из базы данных Multisim.

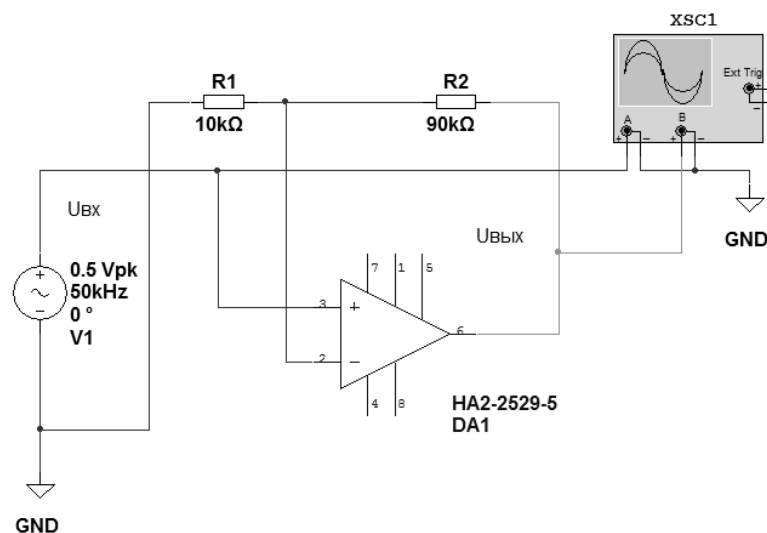


Рисунок 9.4 – Усилитель на ОУ HA2-2529-5

Для этого ОУ по паспортным данным на частоте 20 МГц K_U становится равным единице независимо от параметров внешних элементов.

По временным диаграммам напряжений U_{BX} и $U_{ВЫХ}$, полученным с помощью осциллографа XSC1 для частот 5, 50, 500 кГц, 1, 10, 20, 50 МГц (по заданию преподавателя) источника V1, рассчитать $K_{УН}$. Определить для этого ОУ частоту среза f_c , при которой $U_{ВЫХ}/U_{BX} = 0,7$. Результаты исследований записать в отчет в виде таблицы 9.3.

Таблица 9.3 – Результаты исследований полосы пропускания усилителя на ОУ

$U_{ВЫХ}$, В,	$f = 5$ кГц	$f = 50$ кГц	$f = 500$ кГц	$f = 1$ МГц	$f = 10$ МГц	$f = 20$ МГц	$f = 50$ МГц
$K_{УН}$							

Содержание отчета

Отчёт по работе должен содержать цель работы, схемы для моделирования усилителей в среде Multisim, результаты исследований, выводы по работе.

Контрольные вопросы

- 1 Параметры каких элементов влияют на коэффициент усиления усилителя на ОУ?
- 2 Каким способом можно изменять коэффициент усиления усилителя на ОУ?
- 3 Какая зависимость называется амплитудно-частотной характеристикой (АЧХ)?
- 4 В чем разница между инвертирующим и неинвертирующим усилителями на ОУ?

Список литературы

- 1 **Иванов, В. Н.** Электроника и микропроцессорная техника : учебник / В. Н. Иванов, И. О. Мартынова. – Москва : Академия, 2016. – 288 с.
- 2 **Титов, В. С.** Проектирование аналоговых и цифровых устройств : учебное пособие / В. С. Титов, В. И. Иванов, М. В. Бобырь. – Москва : ИНФРА-М, 2016. – 143 с.
- 3 **Миленина, С. А.** Электротехника, электроника и схемотехника : учебник и практикум для академ. бакалавриата / С. А. Миленина ; под ред. Н. К. Миленина. – Москва : Юрайт, 2015. – 399 с.
- 4 **Бладыко, Ю. В.** Электроника. Практикум : учебное пособие / Ю. В. Бладыко. – Минск : ИВЦ Минфина, 2016. – 190 с. : ил.
- 5 **Horowitz, P.** The art of electronics. Third Edition / P. Horowitz, W. Hill. – New York (Cambridge) : University Press, 2015. – 1192 с.

