

МЕЖГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра «Физические методы контроля»

ЭЛЕКТРОНИКА

*Методические рекомендации к лабораторным работам
для студентов специальности
6-05-0713-04 «Автоматизация технологических процессов
и производств»
очной и заочной форм обучения*



Могилев 2025

УДК 621.3
ББК 31.2:32.85
Э45

Рекомендовано к изданию
учебно-методическим отделом
Белорусско-Российского университета

Одобрено кафедрой «Физические методы контроля» «1» сентября 2025 г.,
протокол № 1

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

Рецензент канд. техн. наук, Н. В. Герасименко

Методические рекомендации предназначены для использования студентами специальности 6-05-0713-04 «Автоматизация технологических процессов и производств» дневной и заочной форм обучения при выполнении лабораторных работ.

Учебное издание

ЭЛЕКТРОНИКА

Ответственный за выпуск	А. В. Хомченко
Корректор	А. А. Подошевка
Компьютерная верстка	Е. В. Ковалевская

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

Издатель и полиграфическое исполнение:
Межгосударственное образовательное учреждение высшего образования
«Белорусско-Российский университет».
Свидетельство о государственной регистрации издателя,
изготовителя, распространителя печатных изданий
№ 1/156 от 07.03.2019.
Пр-т Мира, 43, 212022, г. Могилев.

© Белорусско-Российский
университет, 2025

Содержание

1 Лабораторная работа № 1. Изучение лабораторного оборудования и программного обеспечения для моделирования работы электронных устройств, сбора и обработки данных	4
2 Лабораторная работа № 2. Исследование работы выпрямительного диода и стабилитрона.....	6
3 Лабораторная работа № 3. Исследование характеристик биполярных и полевых транзисторов	11
4 Лабораторная работа № 4. Исследование схем усилителей на основе биполярных и полевых транзисторов	17
5 Лабораторная работа № 5. Исследование работы однофазных неуправляемых и управляемых выпрямителей	22
6 Лабораторная работа № 6. Исследование схем на основе операционных усилителей	30
7 Лабораторная работа № 7. Исследование схем генератора гармонических колебаний и мультивибратора	33
8 Лабораторная работа № 8. Исследование работы логических элементов и триггеров	37
9 Лабораторная работа № 9. Исследование работы регистров, счетчиков, дешифраторов и полупроводниковых индикаторов	43
Список литературы.....	46
Приложение А. Числовой ряд сопротивлений резисторов и конденсаторов.....	47
Приложение Б.	47
Приложение В.	47
Приложение Г.	47
Приложение Д.	48

1 Лабораторная работа № 1. Изучение лабораторного оборудования и программного обеспечения для моделирования работы электронных устройств, сбора и обработки данных

Цель работы: изучение комплекта лабораторного оборудования и режимов его работы; получение навыков создания электрических схем и моделирования их работы в среде Multisim; получение навыков создания виртуальных приборов для сбора и обработки данных в среде LabVIEW.

1.1 Общие сведения

Комплект лабораторного оборудования состоит из:

- функционального генератора сигналов Г6-46;
- осциллографа GDS-71022;
- макетной платы (МП);
- устройства сбора данных;
- источника постоянного стабилизированного напряжения НУ3002-D2;
- ЭВМ со специализированным программным обеспечением.

Multisim – это редактор схем и приложение для их симуляции, входящее в систему разработки электрических схем, систему средств EDA (*Electronics Design Automation*), которые помогают в выполнении основных шагов в последовательной разработке схемы.

LabVIEW (*Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench*) представляет собой среду графического программирования, предназначенную для создания прикладного программного обеспечения информационно-измерительных систем, а также различных компьютерных систем сбора и обработки экспериментальных данных. Созданную в среде LabVIEW прикладную программу принято называть *виртуальным прибором* (ВП).

1.2 Порядок выполнения работы

1.2.1 Изучить устройство, технические характеристики, органы управления и режимы работы генератора Г6-46, осциллографа GDS-71022, источника питания НУ3002-D2, устройства сбора данных NI USB-6009.

1.2.2 По заданию преподавателя сформировать с помощью источника НУ3002-D2 уровень постоянного напряжения U_1 . Измерить их значения мультиметром.

1.2.3 Сформировать с помощью генератора Г6-46 гармонический сигнал с максимальным напряжением U_m и частотой f . Наблюдать и измерить максимальное значение напряжения U_m , действующее U , частоту f , период T осциллографом. Заполнить таблицу 1.1 (осциллограф).

1.2.4 Изучить инструментальные панели среды Multisim, возможности эмуляции. Ознакомиться с набором компонентов и виртуальных приборов. По заданию преподавателя собрать схему в «окне разработок», подключить

требуемые виртуальные приборы. Запустить моделирование работы схемы, нажав соответствующую кнопку «панели симуляции». Зафиксировать показания измерительных приборов, осциллограммы напряжений в контрольных точках. Заполнить таблицу 1.1 (моделирование).

Таблица 1.1 – Результаты измерений

Тип сигнала	Прибор	U_1 , В	U_m , В	U , В	f , Гц	T , с
Постоянный	Мультиметр		–	–	–	–
	Моделирование		–	–	–	–
	Виртуальный прибор		–	–	–	–
Гармонический	Осциллограф	–				
	Моделирование	–				
	Виртуальный прибор	–				

1.2.5 Изучить панели, палитры меню среды LabVIEW. Разработать виртуальный прибор для исследования параметров сигналов в среде LabVIEW. Блок-диаграмма виртуального прибора содержит следующие блоки: DAQ Assistant – обеспечивает сбор данных с устройства NI USB-6009, Amplitude and Level Measurements – для определения действующего значения и постоянной составляющей напряжения, Tone Measurements – для определения амплитуды и частоты сигнала.

1.2.6 С помощью генератора Г6-46 сформировать сигналы, указанные в п. 1.2.2. Исследовать полученные сигналы с помощью виртуального прибора. Заполнить таблицу 1.1 (виртуальный прибор). Сравнить измеренные значения с показаниями мультиметра.

1.2.7 Сделать выводы по результатам работы.

1.3 Содержание отчета

Отчет по работе должен содержать: цель работы; состав комплекта лабораторного оборудования с кратким описанием основных его блоков, органов управления и режимов работы; распечатку «окна схемы» среды Multisim, осциллограммы напряжений в контрольных точках, распечатку лицевой панели и панели блок-диаграммы в среде LabVIEW, результаты измерений параметров сигналов; выводы по работе.

Контрольные вопросы

- 1 Назовите основные технические характеристики используемого в работе лабораторного оборудования.
- 2 Опишите компоненты собранной схемы в среде Multisim.
- 3 Опишите компоненты блок-диаграммы в среде LabVIEW.

2 Лабораторная работа № 2. Исследование работы выпрямительного диода и стабилитрона

Цель работы: изучение принципа функционирования, характеристик и параметров выпрямительных диодов и стабилитронов.

2.1 Основные теоретические сведения

Полупроводниковый диод – прибор с одним электрическим переходом и двумя выводами. На рисунке 2.1, *а* приведено условное графическое обозначение полупроводникового диода на электрических схемах, его структура – на рисунке 2.1, *б*. Электрод диода, подключенный к области *p*, называют анодом, а электрод, подключенный к области *n*, – катодом.

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

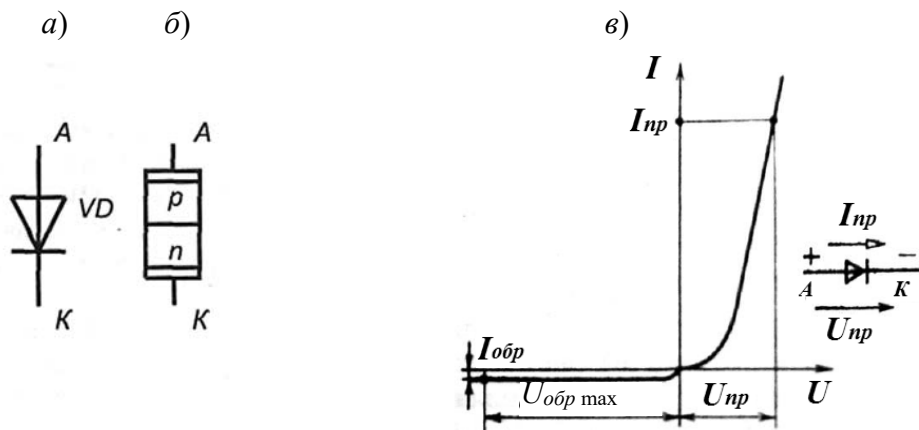


Рисунок 2.1 – Условное обозначение (*а*), структура (*б*) и статическая вольт-амперная характеристика (*в*) полупроводникового диода

Статические вольт-амперные характеристики (ВАХ) диода показаны на рисунке 2.1, *в*.

В качестве параметров, характеризующих нагрузочную способность полупроводникового диода, обычно указывают допустимый прямой ток I_{np} и соответствующее ему прямое напряжение U_{np} , максимально допустимое обратное напряжение $U_{обр\ max}$ и соответствующий ему обратный ток $I_{обр}$.

Стабилитрон – это сильно легированный плоскостной кремниевый диод, на котором напряжение сохраняется с определенной точностью при изменении протекающего через него тока в заданном диапазоне. Стабилитроны в основном используют в параметрических стабилизаторах напряжения (рисунок 2.2, *а*).

Рабочим участком ВАХ стабилитрона *VD* является участок обратной её ветви, соответствующий области обратного электрического пробоя *p-n*-перехода

(рисунок 2.2, б) и ограниченный минимальным $I_{cm.min}$ и максимальным $I_{cm.max}$ значениями тока.

При работе в этой области обратное напряжение на стабилитроне U_{cm} незначительно изменяется при относительно больших изменениях тока стабилитрона I_{cm} . Поэтому при изменении входного напряжения $U_{вх}$ изменяется в основном напряжение на балластном резисторе R_b , где входной ток $I = I_{cm} + I_n$ (см. рисунок 2.2, а).

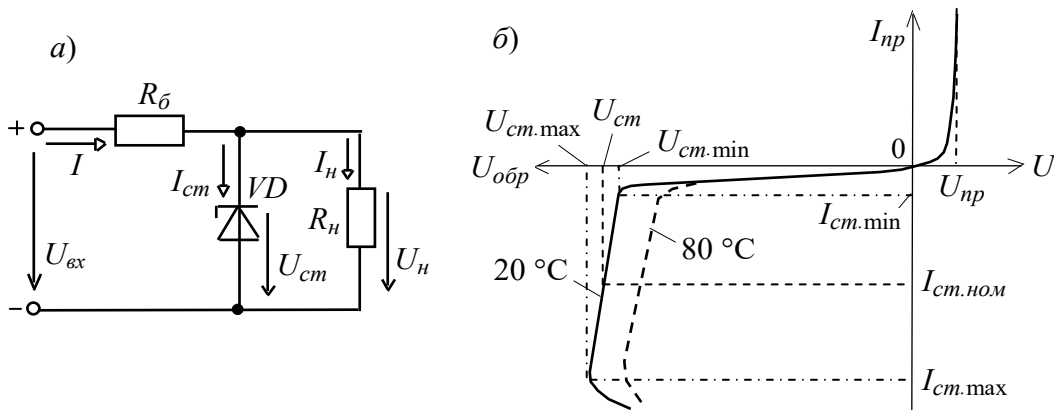


Рисунок 2.2 – Параметрический стабилизатор (а) и статическая вольт-амперная характеристика (б) стабилитрона

2.2 Порядок выполнения работы

2.2.1 Для заданных преподавателем диодов выписать из справочника их основные параметры.

2.2.2 Для построения вольт-амперной характеристики диода в программе Multisim собрать схему, указанную на рисунке 2.3. Осуществить моделирование её работы, изменяя ЭДС источников питания.

Диод выбирается из библиотеки элементов согласно заданию и подключается к источнику постоянного напряжения. Для снятия обратной ветви ВАХ с помощью ключа меняется полярность источника ЭДС.

ВАХ можно получить с помощью характериографа XIV1.

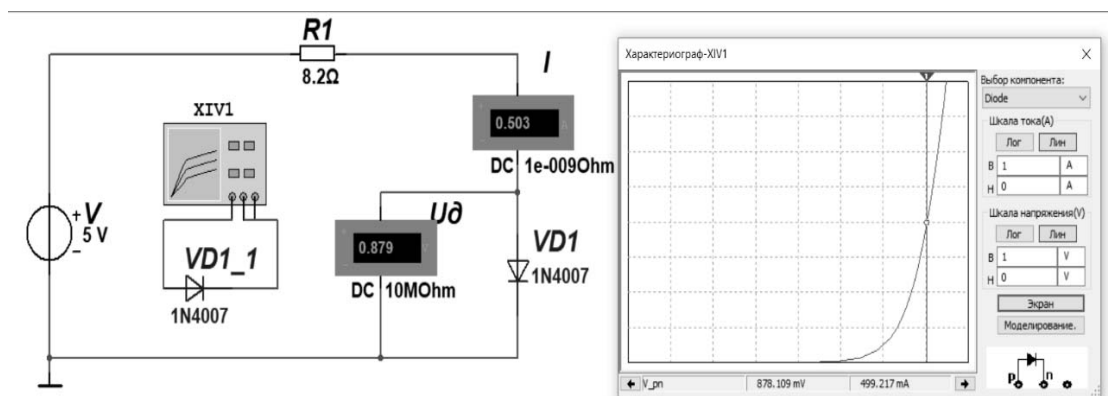


Рисунок 2.3 – Схема для снятия ВАХ в среде Multisim

2.2.3 Для экспериментального получения ВАХ диода на макетной плате из полученного набора элементов собрать схему, приведенную на рисунке 2.4.

Постоянное напряжение на вход схемы подаётся от источника НУ3002-D2. Прямое падение напряжения на диоде U_{np} поступает на дифференциальный канал $AI1$, а напряжение на ограничивающем резисторе $R1$ – на дифференциальный канал $AI2$ устройства сбора данных NI USB-6009. Для определения тока I_{np} используется закон Ома:

$$I_{np} = \frac{U_{R1}}{R_1} = \frac{U_{ГН1} - U_{np}}{R_1},$$

что реализовано на блок-диаграмме виртуального прибора (рисунок 2.5). Считывание напряжений осуществляется блоком DAQ Assistant. ВАХ формируется с помощью блоков Build XY Graph и XY Graph (см. рисунок 2.5) и отображается в виде, представленном на рисунке 2.4.

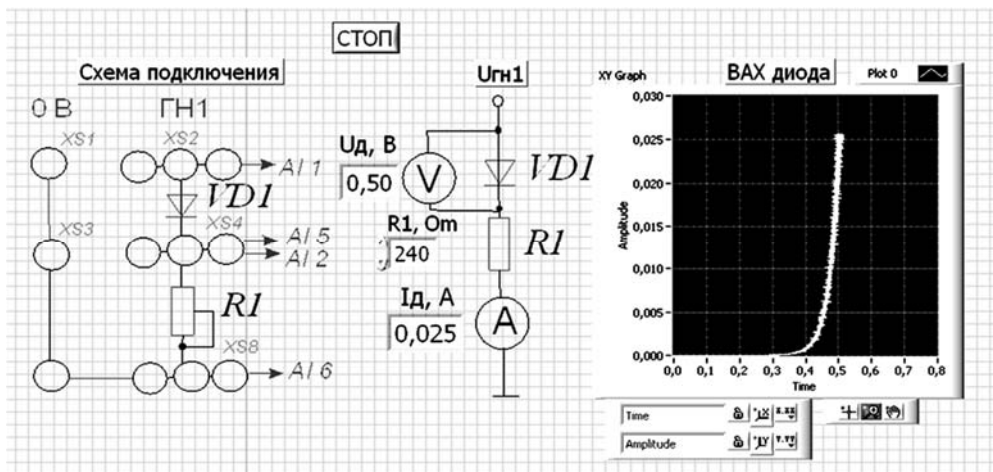


Рисунок 2.4 – Виртуальный прибор для экспериментального исследования выпрямительного диода в среде LabVIEW

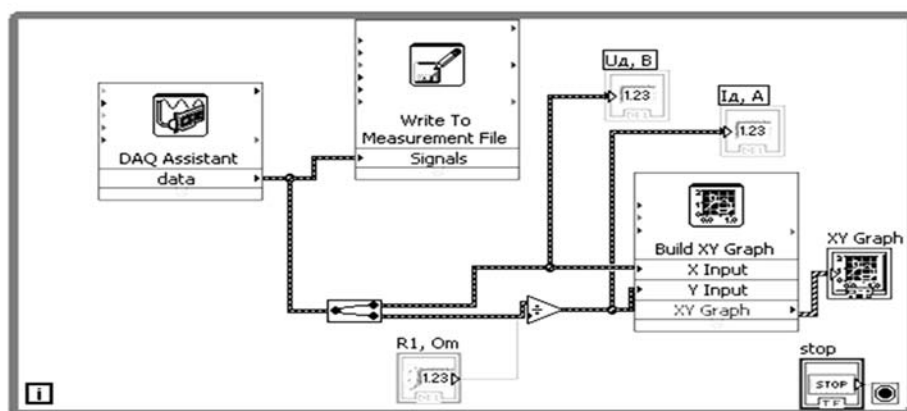


Рисунок 2.5 – Блок-диаграмма виртуального прибора в LabVIEW для экспериментального снятия характеристик

2.2.4 По полученным ВАХ диода определить:

– прямое статическое сопротивление диода при прямом токе, равном $0,5 I_{np \max}$,

$$R_{np} = \frac{U_{np}}{I_{np}};$$

– обратное статическое сопротивление диода при обратном напряжении, равном $0,5 U_{обр \max}$,

$$R_{обр} = \frac{U_{обр}}{I_{обр}};$$

– прямое дифференциальное сопротивление диода

$$R_{диф} = \frac{\Delta U_{np}}{\Delta I_{np}}.$$

Результаты занести в таблицу 2.1.

Таблица 2.1 – Результаты измерений и вычислений

Способ исследования	Результат измерения						Результат вычисления		
	U_{np} , В	I_{np} , мА	$U_{обр}$, В	$I_{обр}$, мА	ΔU_{np} , В	ΔI_{np} , мА	R_{np} , Ом	$R_{обр}$, Ом	$R_{диф}$, Ом
Моделирование									
Эксперимент									

Сравнить результаты моделирования, экспериментальные результаты со справочными данными.

2.2.5 На основании заданного преподавателем стабилизатора, параметров источника входного напряжения ($E_{\min}$, $E_{\max}$), параметров нагрузки (U_H , R_H) необходимо рассчитать сопротивление балластного резистора R_b (рисунок 2.2). Заполнить таблицы 2.2 и 2.3.

Сопротивление балластного резистора определяют по формуле

$$R_b = \frac{U_{вх.ср} - U_{ст}}{I_{ст.ср} + I_H},$$

где $U_{вх.ср}$ и $I_{ст.ср}$ – средние значения входного напряжения и тока стабилизации соответственно.

Таблица 2.2 – Параметры стабилизатора

Данные	$U_{ст \text{ ном}}$, В	$U_{ст \min}$, В	$U_{ст \max}$, В	$I_{ст \min}$, мА	$I_{ст \max}$, мА	$I_{ст \text{ ном}}$, мА	$R_{диф}$, Ом
Паспортные данные							
Моделирование							
Эксперимент							

Таблица 2.3 – Параметры параметрического стабилизатора

$E_{\min}, \text{В}$	$E_{\max}, \text{В}$	$E, \text{В}$	$R_{\delta}, \text{Ом}$	$R_H, \text{Ом}$	$I_H, \text{мА}$	$U_{\text{ст}}, \text{В}$	$I_{\text{ст}}, \text{мА}$

2.2.6 Получить вольт-амперную характеристику стабилитрона (ВАХ) в программе Multisim с помощью характериографа XIV1 (рисунок 2.6). Стабилитрон выбирается из библиотеки элементов согласно заданию.

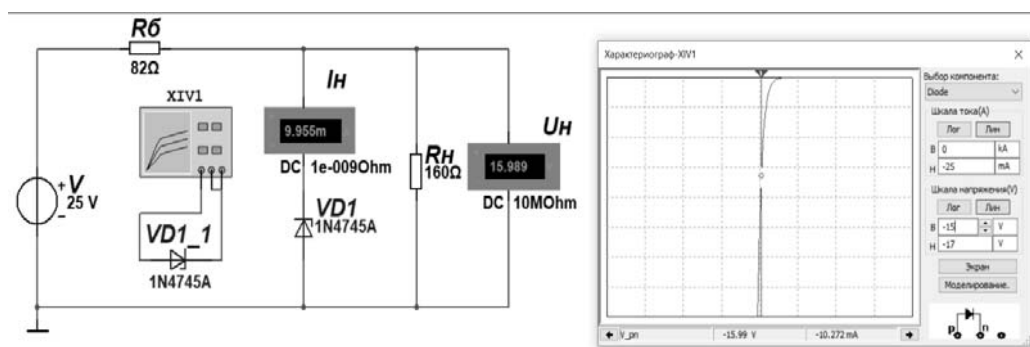


Рисунок 2.6 – Схема для снятия ВАХ стабилитрона и исследования параметрического стабилизатора напряжения в среде Multisim

2.2.7 Для экспериментального получения ВАХ стабилитрона на макетной плате из полученного набора элементов собрать схему, приведенную на рисунке 2.4 (вместо диода подключить стабилитрон, подавать на вход отрицательное напряжение $U_{\text{ст}1}$).

2.2.8 По полученным ВАХ стабилитрона определить $U_{\text{ст}}$, $I_{\text{ст}}$, дифференциальное сопротивление стабилитрона на участке стабилизации:

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

Сравнить результаты моделирования, экспериментальные результаты со справочными данными. Заполнить таблицы 2.2 и 2.3.

2.2.9 На основании выбранных элементов схемы параметрического стабилизатора напряжения осуществить моделирование его работы (см. рисунок 2.6). Входное напряжение формируется функциональным генератором XFG2, напряжения и токи в схеме отображаются с помощью виртуальных вольтметров, амперметров и осциллографа Tektronix-XSC1.

2.2.10 Сделать выводы по результатам работы.

2.3 Содержание отчета

Отчет по работе должен содержать: цель работы; схемы для моделирования работы выпрямительного диода и параметрического стабилизатора напряжения в среде Multisim; блок-диаграмму виртуального прибора для экспериментального исследования и диалоговое окно; вольт-амперные характеристики диодов и

стабилитрона, полученные в результате моделирования и экспериментально; основные параметры диода, стабилитрона, параметрического стабилизатора в виде таблиц; выводы по работе.

Контрольные вопросы

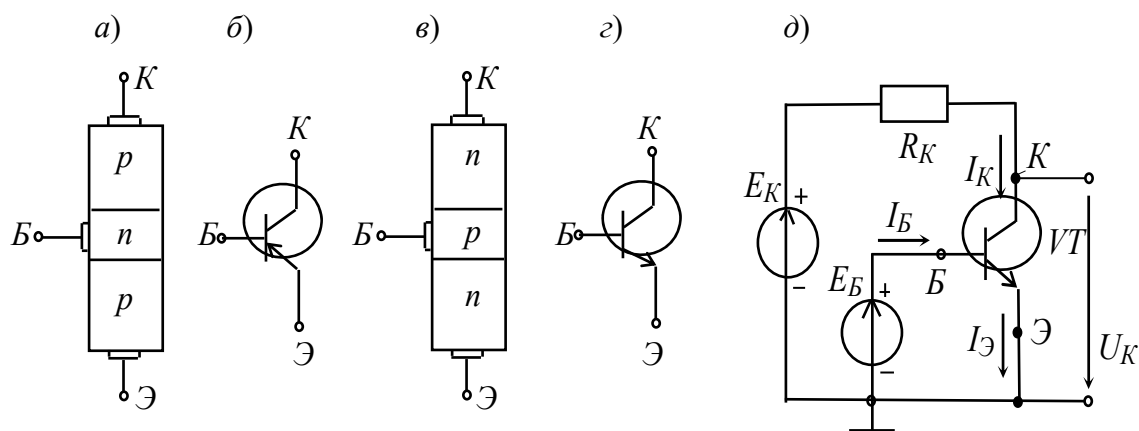
- 1 Перечислите основные параметры выпрямительного диода и стабилитрона.
- 2 Порядок построения ВАХ диода и стабилитрона.
- 3 Опишите работу параметрического стабилизатора напряжения.

3 Лабораторная работа № 3. Исследование характеристик биполярных и полевых транзисторов

Цель работы: получение входных, выходных характеристик и параметров биполярного транзистора; получение стокзатворных, выходных характеристик и параметров полевого транзистора с управляющим p – n -переходом и изолированным затвором.

3.1 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 3.1, а, в).

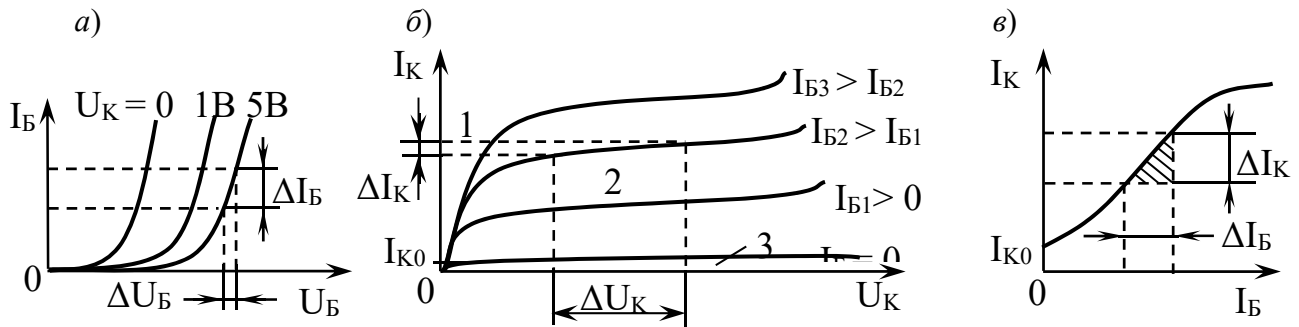


Э – эмиттер; К – коллектор; Б – база

Рисунок 3.1 – Структура (а, в), обозначение биполярных транзисторов разных типов (б, г), схема включения с общим эмиттером (д)

Важнейшими характеристиками биполярного транзистора являются его входные и выходные вольт-амперные характеристики. Входные характеристики транзистора с ОЭ (рисунок 3.2, б) отражают зависимость тока базы от напряжения, приложенного между базой и эмиттером, при $U_{КЭ} = \text{const}$. Они мало зависят от $U_{КЭ}$, поэтому обычно приводят одну характеристику $I_B(U_{БЭ})$, которая, как видно, подобна ВАХ диода. Выходные характеристики отражают

зависимость тока коллектора от напряжения между коллектором и эмиттером при $I_B = \text{const}$ (рисунок 3.2, в).



а – $R_{BX} = \Delta U_B / \Delta I_B$ при $U_K = \text{const}$; б – $R_{BIX} = \Delta U_K / \Delta I_K$ при $U_B = \text{const}$. Область насыщения – 1; активная область – 2; область отсечки – 3; в – $h_{21} = \Delta I_K / \Delta I_B$ при $U_K = \text{const}$

Рисунок 3.2 – Вольт-амперные характеристики биполярного транзистора при включении в режиме «с общим эмиттером»

В режиме усиления *малых сигналов* транзистор в схеме с ОЭ часто представляют в виде линейного четырехполюсника, входные и выходные параметры которого связаны следующими уравнениями:

$$\Delta U_B = h_{11Э} \Delta I_B + h_{12Э} \Delta U_K;$$

$$\Delta I_K = h_{21Э} \Delta I_B + h_{22Э} \Delta U_K,$$

где $h_{11Э}$ – входное динамическое сопротивление транзистора, $h_{11Э} = 100 \dots 1000$ Ом,

$$h_{11Э} = \left. \frac{\Delta U_B}{\Delta I_B} \right|_{U_K = \text{const}} \quad (\Delta U_K = 0);$$

$h_{12Э}$ – безразмерный коэффициент внутренней обратной связи по напряжению, значение которого лежит в пределах $0,002 \dots 0,0002$ (при расчетах им часто пренебрегают, т. е. полагают равным нулю),

$$h_{12Э} = \left. \frac{\Delta U_B}{\Delta U_K} \right|_{I_B = \text{const}} \quad (\Delta I_B = 0);$$

$h_{21Э}$ – коэффициент передачи (усиления) тока при постоянном напряжении на коллекторе; его также обозначают K_i или $\beta = 10 \dots 200$;

$$h_{21Э} = \left. \frac{\Delta I_K}{\Delta I_B} \right|_{U_K = \text{const}} \quad (\Delta U_K = 0);$$

$h_{22Э}$ – выходная проводимость транзистора при постоянном токе базы
 $h_{22Э} = 10^{-4} \dots 10^{-6} \text{ См},$

$$h_{22Э} = \left. \frac{\Delta I_K}{\Delta U_K} \right|_{I_B = \text{const}} \quad (\Delta I_B = 0).$$

Параметры схемы замещения транзистора с ОЭ в h -форме определяют по его входным и выходным характеристикам (см. рисунок 3.2).

Зная входную и выходные характеристики транзистора можно рассчитать параметры электронных устройств, собранных на его базе – усилителей, ключей и т. д.

Полевой транзистор – это полупроводниковый прибор, в котором ток стока (C) через полупроводниковый канал n - или p -типа управляется электрическим полем, возникающим при приложении напряжения между затвором ($З$) и истоком ($И$). Полевые транзисторы изготавливают:

– с *управляющим затвором типа p - n -перехода* для использования в высокочастотных (до 12...18 ГГц) преобразовательных устройствах. Условное их обозначение на схемах приведено на рисунке 3.3, а, б;

– с *изолированным затвором* для использования в устройствах, работающих с частотой до 1...2 ГГц. Их изготавливают или со *встроенным каналом* в виде МДП-структуры (см. их условное обозначение на рисунке 3.3, в, г), или с *индуцированным каналом* в виде МОП-структуры (их условное обозначение на схемах дано на рисунке 3.3, д, е).

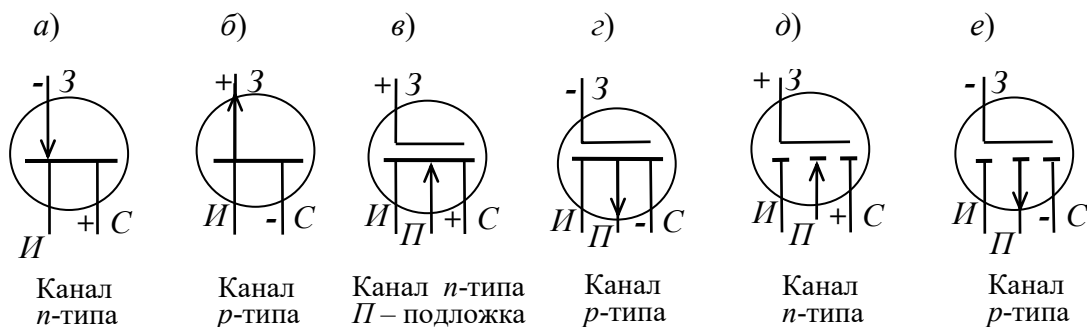


Рисунок 3.3 – Условное обозначение полевых транзисторов.

Важнейшей особенностью полевых транзисторов является высокое входное сопротивление (десятки–сотни мегаом) и малый входной ток. Одним из основных параметров полевых транзисторов является *крутизна* $S_i = \Delta I_C / \Delta U_z$ стокзатворной характеристики, выражаемая в миллиамперах на вольт. Крутизна характеристики в общем случае нелинейна во всем диапазоне изменения тока стока и уменьшается с увеличением напряжения между стоком и истоком.

Внутреннее сопротивление полевого транзистора определяется отношением напряжения стока к соответствующему изменению тока стока (напряжение на затворе при определении сопротивления должно оставаться постоянным):

$$R_i = \frac{\Delta U_{cu}}{\Delta I_c} \bigg|_{U_{zu} = \text{const.}}$$

Усилительные свойства транзистора по напряжению характеризуются коэффициентом усиления

$$\mu_i = \frac{\Delta U_{cu}}{\Delta U_{zu}} \bigg|_{I_c = \text{const.}}$$

Коэффициент усиления связан с крутизной вольт-амперной характеристики и внутренним сопротивлением следующим соотношением:

$$\mu_i = S_i R_i.$$

3.2 Порядок выполнения работы

3.2.1 Для заданного преподавателем биполярного транзистора построить вольт-амперные входную и выходную характеристики в программе Multisim с помощью характериографа XIV1 (рисунок 3.4). Установить на выходной характеристике заданные значения тока коллектора I_2 и напряжения коллектор-эмиттер U_{ke} .

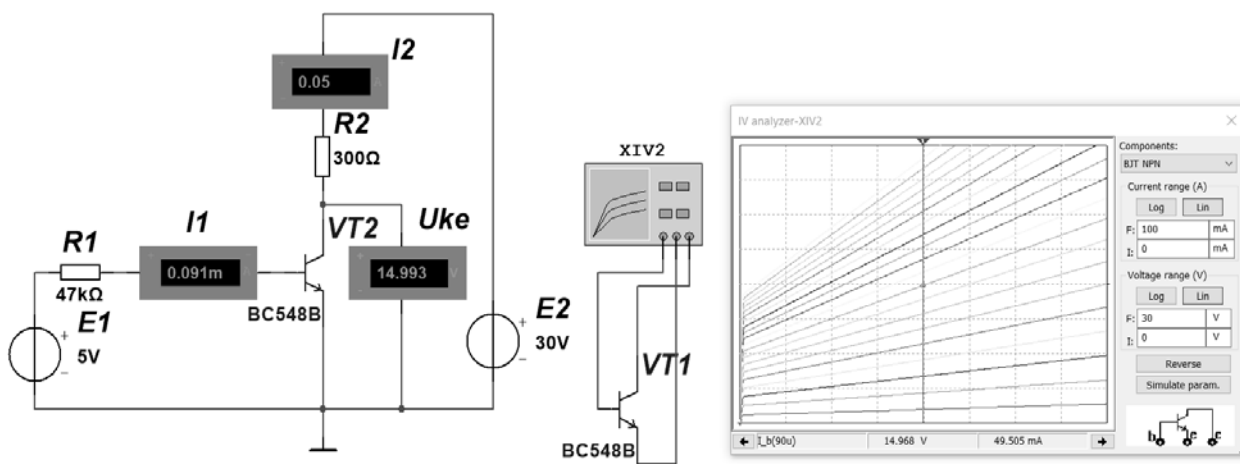


Рисунок 3.4 – Схема для снятия входных и выходных ВАХ биполярного транзистора в среде Multisim

3.2.2 Рассчитать сопротивление ограничивающих резисторов R_1 , R_2 (рисунок 3.4) с учетом обеспечения заданного тока коллектора I_2 и значений источников питания E_1 и E_2 . Ток базы I_2 определить из выходной характеристики

транзистора. Заполнить таблицу 3.1. Осуществить моделирование работы схемы. Проверить обеспечение токов I_1 , I_2 и напряжения U_{ke} .

Таблица 3.1 – Параметры схемы

Маркировка транзистора	E_1 , В	E_2 , В	$U_{кэ}$, В	I_2 , мА	I_1 , мА	R_1 , Ом	R_2 , Ом

3.2.3 Для экспериментального получения характеристик биполярного транзистора на макетной плате из данного набора элементов собрать схему, приведенную на рисунке 3.5.

Постоянное напряжение на вход схемы подаётся от источника НУ3002-D2 и снимается каналом $AI2$ устройства сбора данных NI USB-6009. Напряжение $U_{кэ}$ поступает на канал $AI1$. Для определения тока коллектора I_k применяется закон Ома:

$$I_k = \frac{U_{R_2}}{R_2}.$$

Ток на базу транзистора поступает с генератора $\Gamma H2$ или источника НУ3002-D2 через резистор R_3 . ВАХ отображается в виде, представленном на рисунке 3.5.

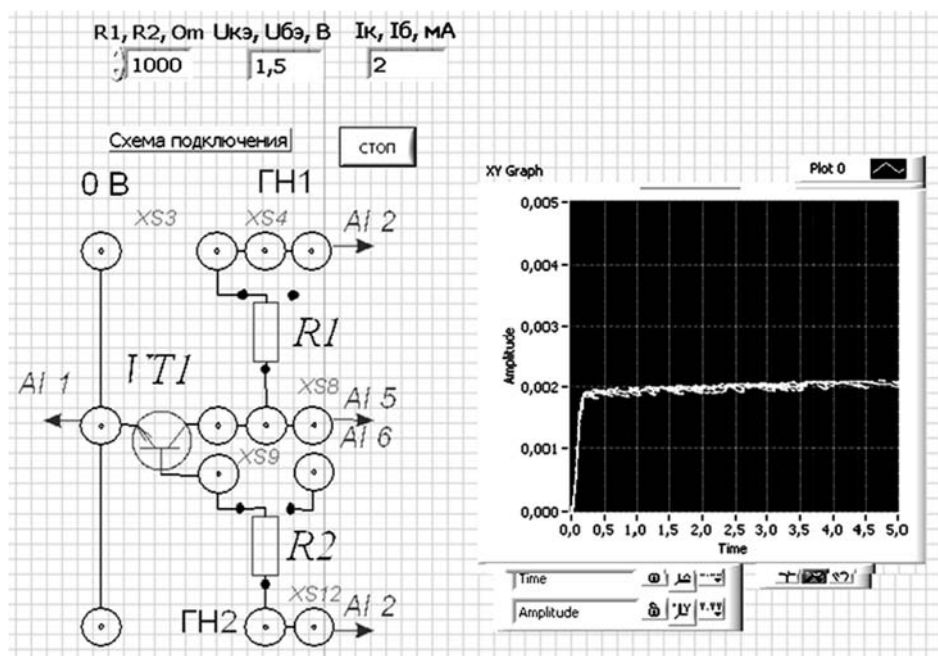


Рисунок 3.5 – Виртуальный прибор для экспериментального исследования параметров биполярного транзистора в среде LabVIEW

3.2.4 Снять ВАХ биполярного транзистора для нескольких значений тока базы I_b , сравнить их с полученными при моделировании.

Для того чтобы снять входные характеристики (зависимость I_b от $U_{бэ}$), необходимо в схеме сделать следующие изменения: каналом $AI2$ устройства сбора данных NI USB-6009 подключить к генератору $ГН2$ (гнездо XS12), канал $AI6$ – к гнезду XS8, изменить в формуле для закона Ома R_1 на R_2 (снимаем ток базы), канал $AI1$ подключить к гнезду XS3.

Снять входные ВАХ биполярного транзистора для нескольких значений напряжения $U_{кэ}$, сравнить их с полученными при моделировании.

3.2.5 Воспользовавшись графиками семейств входных и выходных ВАХ, определить h -параметры биполярного транзистора. Заполнить таблицу 3.2.

Таблица 3.2 – h -параметры биполярного транзистора

Способ исследования	Результат вычислений			
	$h_{11э}$, Ом	$h_{12э}$	$h_{21э}$	$h_{22э}$, См
Моделирование				
Эксперимент				

3.2.6 Построить вольт-амперные стокзатворную и выходную характеристики заданного преподавателем полевого транзистора в программе Multisim с помощью характеристикиографа XIV1.

3.2.7 Снять экспериментально вольт-амперные стокзатворную и выходную характеристики полевого транзистора. Сравнить их с полученными при моделировании.

3.2.8 Определить статические параметры полевого транзистора S_i , R_i , μ_i и проверить соотношение между ними. Заполнить таблицу 3.3.

Таблица 3.3 – Параметры полевого транзистора

Способ исследования	Результат вычислений		
	S_i , мА/В	R_i , кОм	μ_i
Моделирование			
Эксперимент			

3.2.9 Сделать выводы по результатам работы.

3.3 Содержание отчета

Отчет по работе должен содержать: цель работы; схемы для моделирования работы биполярных и полевых транзисторов в среде Multisim; блок-диаграмму виртуального прибора для экспериментального исследования и диалоговое окно; экспериментальные и полученные в результате моделирования характеристики и параметры транзисторов; выводы по работе.

Контрольные вопросы

- 1 Перечислите основные параметры биполярного и полевого транзисторов.
- 2 Порядок построения характеристик биполярного и полевого транзисторов.

4 Лабораторная работа № 4. Исследование схем усилителей на основе биполярных и полевых транзисторов

Цель работы: изучение принципа работы, методик расчёта, параметров и характеристик усилителей на основе биполярных и полевых транзисторов.

4.1 Общие теоретические сведения

Одним из наиболее часто используемых усилителей на биполярных транзисторах является усилитель с *общим эмиттером* (ОЭ). В этом усилителе эмиттер – общий электрод для входной и выходной цепей (рисунок 4.1). Входное напряжение $u_{вх}$ от источника сигнала E_c с внутренним сопротивлением R_c подаётся на усиливаемый каскад на биполярном транзисторе VT через разделяющий конденсатор C_{p1} , предотвращающий прохождение постоянной составляющей от источника сигнала. Усиленное выходное напряжение $u_{вых}$ подаётся на нагрузку R_n через разделительный конденсатор C_{p2} . Таким образом, рассматриваемый усилитель предназначен для усиления только переменного напряжения. Резистор $R_э$ представляет собой цепь отрицательной обратной связи для термостабилизации рабочей точки. Чтобы обратная связь действовала только по постоянному току, резистор $R_э$ шунтируют конденсатором $C_э$ большой ёмкости (десятки микрофард), что исключает ослабление усиленного переменного сигнала цепью обратной связи.

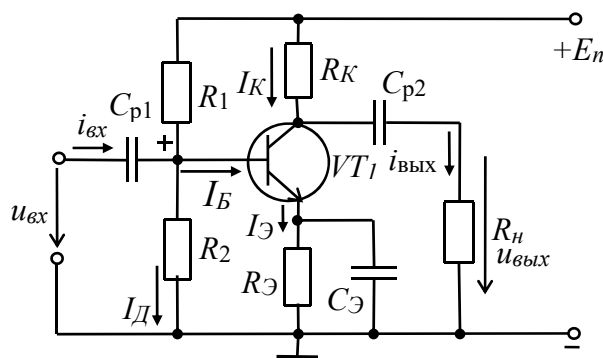


Рисунок 4.1 – Схема усилителя с общим эмиттером

Для питания усилителя используется источник постоянного напряжения с ЭДС E_n (обычно напряжение $U_n = 5...50$ В) с внутренним сопротивлением $R_{вн}$ (которым часто пренебрегают).

Рассматриваемый усилитель работает в классе А, т. е. обе полуволны входного напряжения усиливаются одним транзистором, для чего транзистор нужно сместить по напряжению или току. Смещение транзистора задается делителем R_1, R_2 так, чтобы рабочая точка А (или точка покоя) располагалась на середине линейного участка входной характеристики. Входной переменный сигнал накладывается на напряжение смещения.

Методика расчета усилительного каскада на биполярном транзисторе.

Требуется рассчитать и промоделировать работу усилительного каскада на биполярном транзисторе BC847B с максимальным током коллектора $I_{k\max} = 100$ мА, напряжением питания $E_n = 14$ В, рабочим диапазоном частот $\Delta f = 20 \dots 2000$ Гц, $h_{21э} = 200$.

Приближенно токи покоя коллектора и эмиттера в рабочей точке А рассчитывают по формуле

$$I_{K0} \approx 0,5 I_{K\max} = 0,5 \cdot 100 = 50 \text{ мА}.$$

Откуда найдем R_K :

$$R_K = E_n / I_{K\max} = 14 / 0,1 = 140 \text{ Ом}.$$

Выбираем ближайшее значение из ряда E24 (приложение А): $R_K = 150$ Ом.

Далее

$$I_{Э0} = I_{K0} + I_{Б0} \approx I_{Б0} (1 + h_{21э}).$$

Поскольку $I_{K0} \gg I_{Б0}$,

$$I_{Э0} \approx I_{K0} = 50 \text{ мА};$$

$$I_{Б0} \approx I_{K0} / h_{21э} = 0,25 \text{ мА}.$$

Сопротивления $R_э$ выбирают так, чтобы напряжение покоя эмиттера составляло 10 %...20 % от напряжения питания, т. е.

$$U_{Э0} \approx U_n / 2 - U_{КЭ0} \approx (0,1 \dots 0,2) E_n = 0,1 \cdot 14 = 1,4 \text{ В}.$$

Найдем отсюда $R_э$:

$$R_э = U_{Э0} / I_{Э0} = 0,1 \cdot 14 / 50 \cdot 10^{-3} \approx 28 \text{ Ом}.$$

Выбираем $R_э = 27$ Ом.

Ёмкость $C_э$ выбирают из условия $X_{C_э} \ll R_э$. Будем считать $X_{C_э} = 0,1 R_э$. Тогда $C_э = 10 / (2\pi f_n R_э)$, где f_n – минимальная частота входного напряжения $u_{вх}$. По условию $f_n = 20$ Гц, тогда $C_э = 3000$ мкФ.

Сопротивление резистора рассчитывают по формуле

$$R_2 \approx \frac{U_{Э0} + U_{БЭ0}}{I_D}.$$

Как следует из входной характеристики, $U_{БЭ0} \approx 0,65$ В – для кремниевых транзисторов; $U_{БЭ0} \approx 0,3$ В – для германиевых. I_D – ток делителя напряжения, $I_D = (3 \dots 10) I_{Б0}$. Полагая, что $I_D = 5 I_{Б0}$, получим $R_2 = 1,6$ кОм.

Сопротивление резистора R_1 определяют по формуле

$$R_1 \approx \frac{E_n - U_{Э0} - U_{БЭ0}}{I_D + I_{Б0}} = 8 \text{ кОм}.$$

Выбираем $R_1 = 8,2$ кОм.

В режиме работы усилителя по *переменному току* принимают

$$u_{\varepsilon} = (1/\omega_c C) i_{\varepsilon} \approx 0 \quad (X_c \leq 0,1 R_{\varepsilon}).$$

Пренебрегают также внутренним сопротивлением $R_{вн}$ и емкостью C_n источника питания.

При подаче на вход усилителя *переменного напряжения* $u_{вх}$ происходит изменение тока базы i_B , тока коллектора i_K и напряжения на коллекторе $u_K = U_n - R_K i_K$. Амплитуда переменного коллекторного тока I_{mK} примерно в h_{21} раз больше амплитуды тока базы I_{mB} , а амплитуда коллекторного напряжения U_{mK} во много раз больше амплитуды входного напряжения. Таким образом, в схеме усилителя с ОЭ усиливается ток и напряжение входного сигнала.

Входное сопротивление и коэффициенты усиления каскада:

$$R_{вх} = \frac{U_{mB}}{I_{mB}}; \quad K_i = \frac{I_{mK}}{I_{mB}}; \quad K_u = \frac{U_{mK}}{U_{mB}}; \quad K_p = K_i K_u.$$

При этом положительному полупериоду входного напряжения $u_{вх}$ соответствует отрицательный полупериод выходного напряжения $u_K \approx u_{вых}$. Иначе говоря, между входным и выходным напряжениями существует сдвиг фаз, равный 180° , т. е. схема усилителя с ОЭ является инвертирующим устройством, усиливающим и изменяющим фазу входного напряжения на 180° .

Разделительные конденсаторы рассчитывают по формуле

$$C_p \approx \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f_n \cdot R},$$

где R – входное и выходное сопротивления усилительного каскада для C_{p1} и C_{p2} соответственно.

Входное сопротивление усилительного каскада на биполярном транзисторе с ОЭ обычно имеет значение порядка нескольких сотен ом. Выходное сопротивление обычно в несколько раз меньше входного. Полагая $R_{вх} = 1000$ Ом, а $R_{вых} = 100$ Ом, получим $C_{p1} = 8,2$ мкФ, $C_{p2} = 82$ мкФ (с учетом ряда E24).

Реальный коэффициент усиления по напряжению K_u всегда меньше коэффициента усиления ненагруженного усилителя ($R_n \gg R_K$). Это различие тем заметнее, чем больше выходное сопротивление усилителя и меньше сопротивление нагрузки R_n . На практике реальный коэффициент усиления каскада K_u может достигать нескольких сотен, а коэффициент усиления по мощности $K_p = K_u K_i$ в схеме с ОЭ – нескольких тысяч.

Рассчитанные значения вносим в таблицу 4.1.

Таблица 4.1 – Результаты расчета усилителя на биполярном транзисторе

R_K , Ом	R_{ε} , Ом	R_1 , кОм	R_2 , кОм	C_{ε} , мкФ	C_{p1} , мкФ	C_{p2} , мкФ
150	27	8,2	1,6	3000	8,2	82

4.2 Порядок выполнения работы

4.2.1 Рассчитать усилитель на основе биполярного транзистора с исходными данными, заданными преподавателем: тип транзистора, E_n , f_n , f_v . Параметры транзисторов взять из таблицы Б.1. Заполнить таблицу 4.1.

4.2.2 Выполнить моделирование усилителя по постоянному току с рассчитанными параметрами согласно рисунку 4.2. По результатам моделирования заполнить таблицу 4.2.

Таблица 4.2 – Параметры усилителя по постоянному току

E_n , В	$U_{кп}$, В	$U_{БЭ}$, В	$I_{кп}$, мА	$I_{эн}$, мА	$I_{он}$, мА
14	5,228	0,743	50	50	0,144

4.2.3 Выполнить моделирование усилителя по переменному току с рассчитанными параметрами согласно рисунку 4.4. По результатам моделирования заполнить таблицу 4.3.

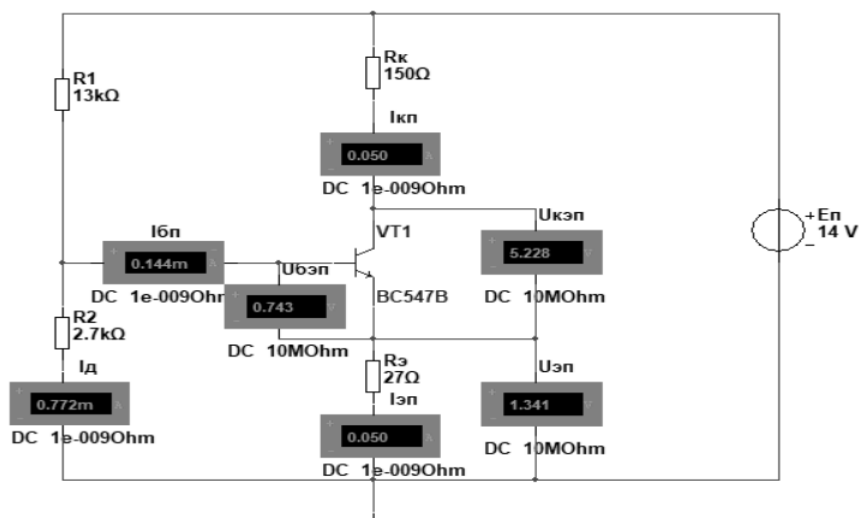


Рисунок 4.2 – Модель усилителя по постоянному току

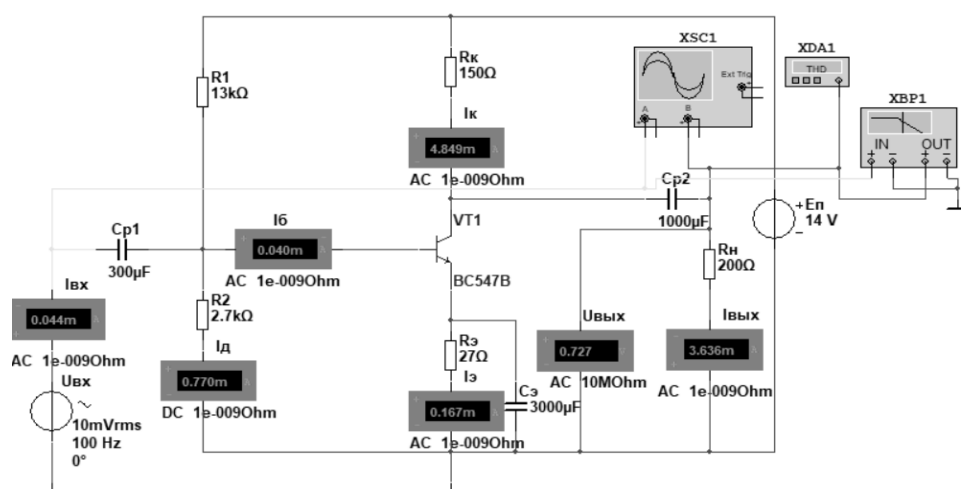


Рисунок 4.3 – Модель усилителя по переменному току

Таблица 4.3 – Параметры усилителя по переменному току

$U_{вх}$, мВ	$U_{вых}$, мВ	K_U	$I_{вх}$, мА	$I_{вых}$, мА	K_I	$R_{вх}$, Ом	THD	M_H
Моделирование								
5	549	110	0,02	3,7	185	250		
Эксперимент								

4.2.4 Вычислить коэффициент нелинейных искажений THD и коэффициенты частотных искажений, определяемых по показаниям плоттера. $M_H = K_U(f_n) / K_U(f_{cp})$, где $K_U(f_n)$ – коэффициент усиления на нижней граничной частоте; $K_U(f_{cp})$ – коэффициент усиления на средних частотах. Заполнить таблицу 4.3.

4.2.5 Собрать на макетной плате усилитель на выбранных в результате расчётов элементах (см. рисунок 4.3). Для питания усилителя подключить источник постоянного напряжения E_n , входной сигнал $U_{вх}$ подать от генератора гармонических колебаний. Измерить значения входных и выходных напряжений и токов. Данные занести в таблицу 4.3 с пометкой «эксперимент».

4.2.6 Выполнить расчет и выбор элементов схемы включения заданного полевого транзистора с управляющим $p-n$ -переходом с общим истоком (ОИ) по постоянному току при работе в режиме класса А при напряжении источника питания E_C и $I_C = 0,5 \cdot I_{Cmax}$. Исходные данные (тип транзистора, E_C) определяет преподаватель. Параметры транзистора приведены в таблице В.1. По аналитическим зависимостям определить сопротивление автоматического смещения R_H , сопротивление в цепи стока R_C и цепи затвора R_3 .

4.3 Содержание отчета

Отчет по работе должен содержать: цель работы; исходные данные; схему усилителя на биполярном и полевом транзисторах; расчеты; результаты моделирования работы схем в среде Multisim; осциллограммы входного и выходного сигналов; таблицы с результатами расчётов; моделирования и эксперимента; выводы по работе.

Контрольные вопросы

1 Приведите схему и опишите назначение элементов усилителя на биполярном транзисторе с общим эмиттером.

2 Опишите методику расчета усилительного каскада на биполярном транзисторе.

3 Приведите схему и опишите назначение элементов усилителя с общим истоком.

4 Опишите методику расчёта усилительного каскада на полевом транзисторе.

5 Лабораторная работа № 5. Исследование работы однофазных неуправляемых и управляемых выпрямителей

Цель работы: изучение принципа работы, методик расчета, характеристик неуправляемых и управляемых однофазных выпрямителей.

5.1 Общие теоретические сведения

Выпрямителем называется устройство преобразования переменного напряжения в постоянное. Выпрямительное устройство, помимо выпрямителя, в который входят один или несколько включенных по определенной схеме вентилях (диодов, тиристоров), содержит в себе силовой трансформатор, сглаживающий фильтр и стабилизатор.

Пример расчёта мостового неуправляемого выпрямителя.

Разработать схему мостового выпрямителя на полупроводниковых диодах с индуктивно-емкостным LC -фильтром для выпрямления однофазного синусоидального напряжения.

Исходные данные к заданию:

- напряжение сети $U_1 = 220$ В;
- номинальное напряжение нагрузки $U_d = 50$ В;
- номинальный ток нагрузки $I_d = 0,6$ А;
- частота питающего напряжения $f = 50$ Гц.

Необходимо выбрать тип вентилях, трансформатора, рассчитать параметры фильтра. Осуществить моделирование работы выпрямителя в среде Multisim.

Схема однофазного мостового выпрямителя с LC -фильтром приведена на рисунке 5.1.

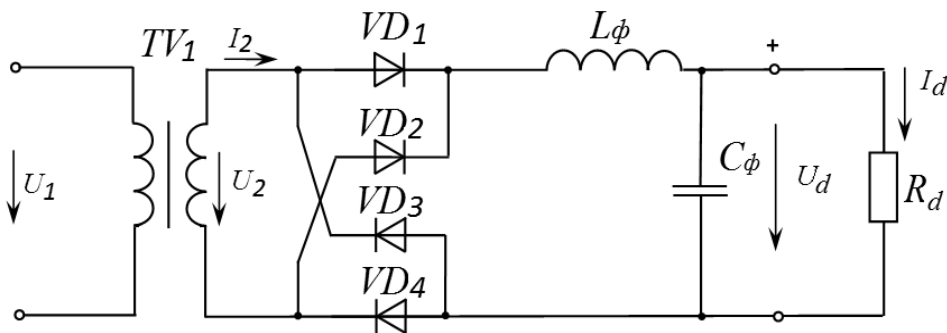


Рисунок 5.1 – Схема однофазного мостового выпрямителя с индуктивно-емкостным LC -фильтром

Переменное синусоидальное напряжение сети с действующим значением U_1 подается на первичную обмотку однофазного трансформатора $TV1$, где понижается вторичной обмоткой до уровня U_2 . Мостовой выпрямитель, собранный на диодах $VD1...VD4$, осуществляет преобразование переменного напряжения в постоянное пульсирующее. Положительную полуволну напряжения пропускают диоды $VD1$, $VD4$, а отрицательную – $VD2$, $VD3$.

Направление тока I_d остаётся постоянным. LC -фильтр, собранный на элементах L_ϕ и C_ϕ , осуществляет сглаживание пульсаций выпрямленного напряжения.

Для однофазного мостового выпрямителя среднее значение прямого тока через вентиль (выпрямительный диод) определяется как

$$I_a = \frac{I_d}{2} = \frac{0,6}{2} = 0,3 \text{ А.}$$

Обратное максимальное напряжение на вентиле

$$U_{a \text{ обр. max}} = 1,57 \cdot U_d = 1,57 \cdot 50 = 78,5 \text{ В.}$$

Выбираем вентили (выпрямительные диоды) 1N4934 (таблица Г.1) с параметрами:

- максимальный прямой ток $I_{np \text{ max}} = 1 \text{ А} > I_a = 0,3 \text{ А}$;
- максимально допустимое обратное напряжение

$$U_{обр \text{ max}} = 100 \text{ В} > U_{a \text{ обр. max}} = 78,5 \text{ В};$$

- максимальное напряжение в открытом состоянии $U_{np \text{ max}} = 1,1 \text{ В}$.

Для однофазного мостового выпрямителя действующее значение вторичного напряжения

$$U_2 = 1,11 \cdot U_d + 2 \cdot U_{np \text{ max}} = 1,11 \cdot 50 + 2 \cdot 1,1 = 57,5 \text{ В.}$$

Расчетная мощность трансформатора для мостового выпрямителя определяется как

$$S_{расч} = 1,23 \cdot P_d = 1,23 \cdot 30 = 36,9 \text{ В} \cdot \text{А},$$

где P_d – номинальная мощность нагрузки, $P_d = I_d \cdot U_d = 0,6 \cdot 50 = 30 \text{ Вт}$.

Выбираем трансформатор (таблица Д.1) ТПП 271-127/220-50:

$$S_{ном} = 57,0 \text{ В} \cdot \text{А} > S_{расч} = 36,9 \text{ В} \cdot \text{А}.$$

При последовательном соединении вторичных обмоток А, Б, В, Г получаем напряжение $U_2 = 9,95 + 10 + 20 + 20 = 59,95 \text{ В}$.

Тогда коэффициент трансформации

$$K = \frac{U_1}{U_2} = \frac{220}{59,95} = 3,67.$$

Коэффициент пульсации на выходе однофазного мостового выпрямителя $K_n = 0,67$. Требуемый коэффициент пульсации $K_n = 0,007$.

Тогда коэффициент сглаживания фильтра

$$S_{LC} = \frac{K_n}{K_n} = \frac{0,67}{0,007} = 95,71.$$

Для LC -фильтра

$$L_{\phi} C_{\phi} = \frac{S_{LC} + 1}{(2 \cdot \pi \cdot f \cdot m)^2} = \frac{96,71}{(2\pi \cdot 50 \cdot 2)^2} = 2,45 \cdot 10^{-4} \text{ Гн} \cdot \text{Ф},$$

где m – число пульс выпрямленного напряжения за период; $m = 2$ для однофазной двухполупериодной схемы выпрямления.

Зададимся $C_{\phi} = 200$ мкФ из стандартного ряда Е24 (см. приложение А).

Тогда

$$L_{\phi} = \frac{L_{\phi} C_{\phi}}{C_{\phi}} = \frac{2,45 \cdot 10^{-4}}{200 \cdot 10^{-6}} \approx 1,23 \text{ Гн}.$$

Параметры фильтра $C_{\phi} = 200$ мкФ, $L_{\phi} = 1,23$ Гн удовлетворяют условиям эффективной работы:

$$\frac{1}{2 \pi \cdot f \cdot m \cdot C_{\phi}} \ll R_d; \quad 2 \pi \cdot f \cdot m \cdot L_{\phi} \gg R_d.$$

$$7,96 \ll 83,3; \quad 770,02 \gg 83,3.$$

Пример расчета однофазного управляемого выпрямителя с нулевым выводом трансформатора.

Исходные данные: $U_1 = 220$ В; $U_{d \min} = 10$ В; $U_{d \max} = 40$ В; $R_d = 30$ Ом. Необходимо выбрать тип вентилей, трансформатора, построить регулировочную характеристику управляемого выпрямителя и по ней определить требуемые углы регулирования, осуществить моделирование её работы в среде Multisim, привести временные диаграммы для режима максимального тока нагрузки.

Схема управляемого выпрямителя приведена на рисунке 5.2.

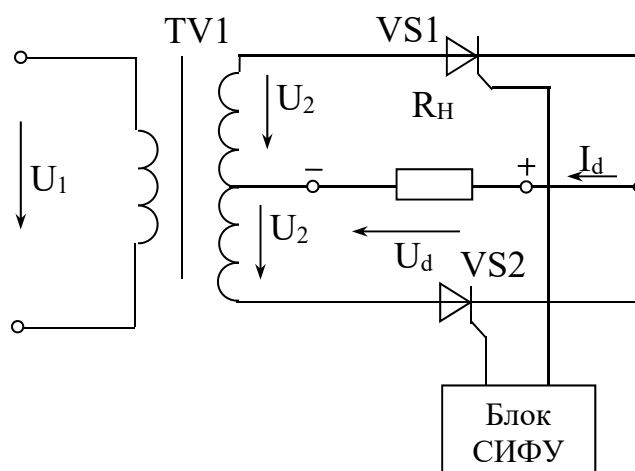


Рисунок 5.2 – Схема управляемого выпрямителя со средней точкой трансформатора (СИФУ – система импульсно-фазового управления)

Произведем выбор тиристоров.

Ток нагрузки максимальный:

$$I_{d \max} = \frac{U_{d \max}}{R_d} = \frac{40}{30} = 1,33 \text{ А.}$$

Для однофазного мостового выпрямителя среднее значение прямого тока через вентиль определяется как

$$I_a = \frac{I_d}{2} = \frac{1,33}{2} = 0,67 \text{ А.}$$

Обратное максимальное напряжение на вентиле

$$U_{обр \max} = 3,14 \cdot U_{d \max} = 1,57 \cdot 40 = 125,6 \text{ В.}$$

Выбираем вентили 2N5064, для которых

$$I_{откр \max} = 0,8 \text{ А} > I_a = 0,67 \text{ А};$$

$$U_{зкр \max} = 200 \text{ В} > U_{обр \max} = 125,6 \text{ В.}$$

$$U_{откр \max} = 1,7 \text{ В.}$$

Определим параметры трансформатора.

Для однофазного выпрямителя с нулевым выводом трансформатора действующее значение вторичного напряжения

$$U_2 = 1,11 \cdot U_{d \max} + U_{откр \max} = 1,11 \cdot 40 + 1,7 = 46,1 \text{ В.}$$

Расчетная мощность определяется как

$$S_{расч} = 1,48 \cdot P_{H \max} = 1,23 \cdot \frac{U_{d \max}^2}{R_d} = 1,48 \cdot \frac{40^2}{10} = 78,9 \text{ В} \cdot \text{А.}$$

Выбираем трансформатор (см. таблицу Д.1): ТПП 289-127/220-50:

$$S_{ном} = 90 \text{ В} \cdot \text{А} > S_{расч} = 78,9 \text{ В} \cdot \text{А.}$$

При последовательном соединении вторичных обмоток Б, В, Г получаем $U_2 = 10 + 20 + 20 = 50 \text{ В.}$

Тогда коэффициент трансформации

$$K = \frac{U_1}{U_2} = \frac{220}{50} = 4,4.$$

Регулировочную характеристику управляемого выпрямителя рассчитываем по формуле

$$U_d(\alpha) = U_{d_0} \frac{1 + \cos \alpha}{2},$$

где U_{d_0} – максимальное значение выпрямленного напряжения при угле регулирования $\alpha = 0$.

В нашем случае для выбранного трансформатора

$$U_{d_0} = \frac{U_2 - U_{откр \max}}{1,11} = \frac{50 - 1,7}{1,11} = 43,5 \text{ В.}$$

Тогда

$$U_d(\alpha) = 43,5 \cdot \frac{1 + \cos \alpha}{2}.$$

Регулировочная характеристика представлена на рисунке 5.3.

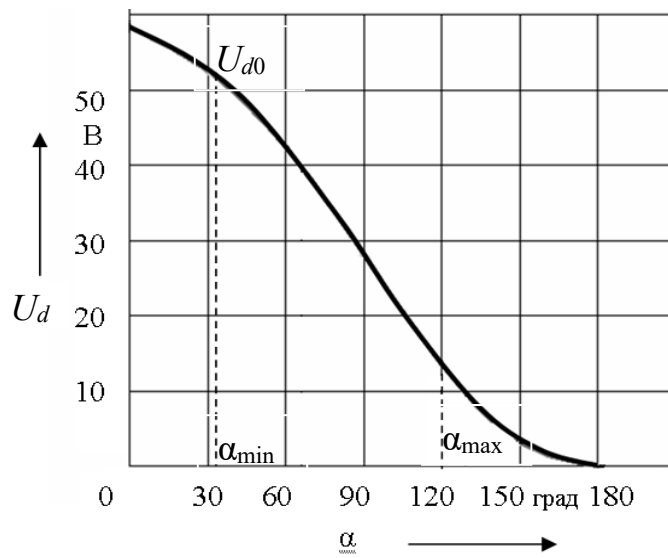


Рисунок 5.3 – Регулировочная характеристика выпрямителя

По характеристике находим, что для $U_{d \min} = 10 \text{ В}$ $\alpha_{\min} = 120^\circ$, а для $U_{d \max} = 40 \text{ В}$ $\alpha_{\min} = 33^\circ$.

5.2 Порядок выполнения работы

5.2.1 Произвести расчет мостового выпрямителя на полупроводниковых диодах с индуктивно-емкостным LC -фильтром для выпрямления однофазного синусоидального напряжения. Исходные данные (напряжение сети U_1 , номинальное напряжение нагрузки U_d , номинальная мощность нагрузки P_d , допустимый коэффициент пульсаций K_n) задаются преподавателем. Частота питающего напряжения $f = 50 \text{ Гц}$.

5.2.2 Выбрать тип выпрямительных диодов, трансформатора, рассчитать параметры фильтра.

5.2.3 Осуществить моделирование работы неуправляемого выпрямителя без фильтра в среде Multisim (рисунок 5.4). Сопротивление нагрузки определить по формуле

$$R_d = \frac{U_d}{I_d} = \frac{50}{0,6} = 83,3 \text{ Ом.}$$

5.2.4 Получить осциллограмму входного и выходного сигнала. Измерить действующее значение напряжения на вторичной обмотке трансформатора U_2 , средневывпрямленное значение тока I_d и напряжения U_d . Сравнить с заданными и рассчитанными значениями. Заполнить таблицу 5.1.

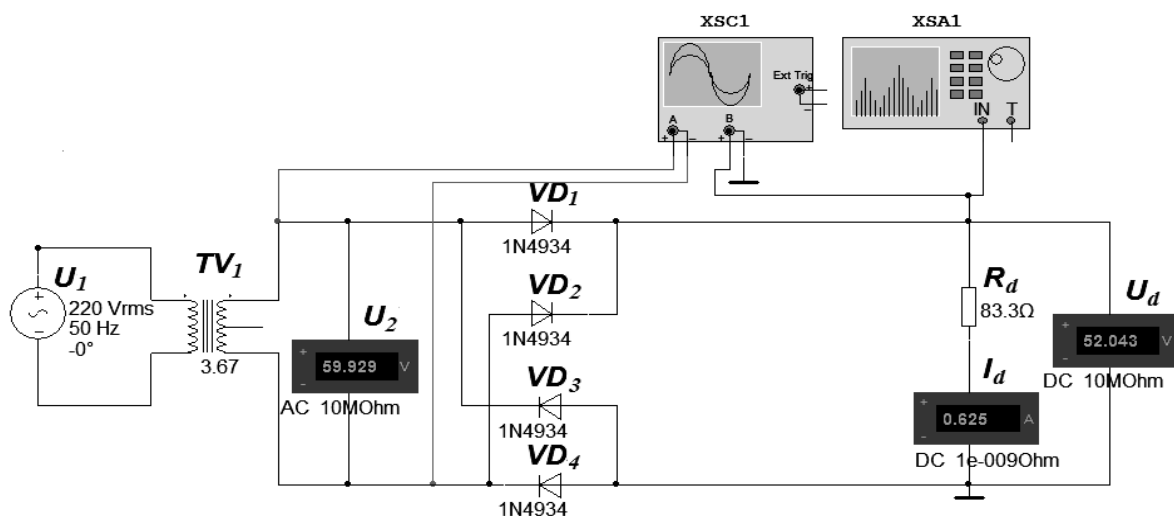


Рисунок 5.4 – Модель мостового выпрямителя без фильтра

Таблица 5.1 – Результаты исследования работы неуправляемого мостового однофазного выпрямителя

Тип данных	U_2 , В	U_d , В	I_d , А	K_n	K_H
Исходные данные (расчет)				0,67	
Моделирование (без фильтра)					—
Моделирование (с фильтром)				—	

5.2.5 Определить и занести в таблицу 5.1 коэффициент пульсаций на выходе выпрямителя:

$$K_n = \frac{U_{1m}}{U_d} = \frac{36,865}{52,043} = 0,71,$$

где U_{1m} – амплитуда первой гармоники выпрямленного напряжения. Находим по показаниям анализатора спектра XSA1 на частоте 100 Гц.

Сравнить полученный коэффициент пульсаций на выходе выпрямителя с теоретическим $K_n = 0,67$.

5.2.6 Осуществить моделирование однофазного неуправляемого мостового выпрямителя с фильтром (рисунок 5.5).

5.2.7 Получить осциллограмму входного и выходного сигнала. Измерить действующее значение напряжения на вторичной обмотке трансформатора U_2 , средневывпрямленное значение тока I_d и напряжения U_d . Сравнить с заданными и рассчитанными значениями. Заполнить таблицу 5.1.

5.2.8 Определить и занести в таблицу 5.1 коэффициент пульсаций на нагрузке

$$K_H = \frac{U_{1m}}{U_d} = \frac{0,373}{54,859} = 0,007,$$

где U_{1m} – амплитуда первой гармоники выпрямленного напряжения. Находим по показаниям анализатора спектра XSA1 на частоте 100 Гц.

Сравнить полученный коэффициент пульсаций на нагрузке с заданным.

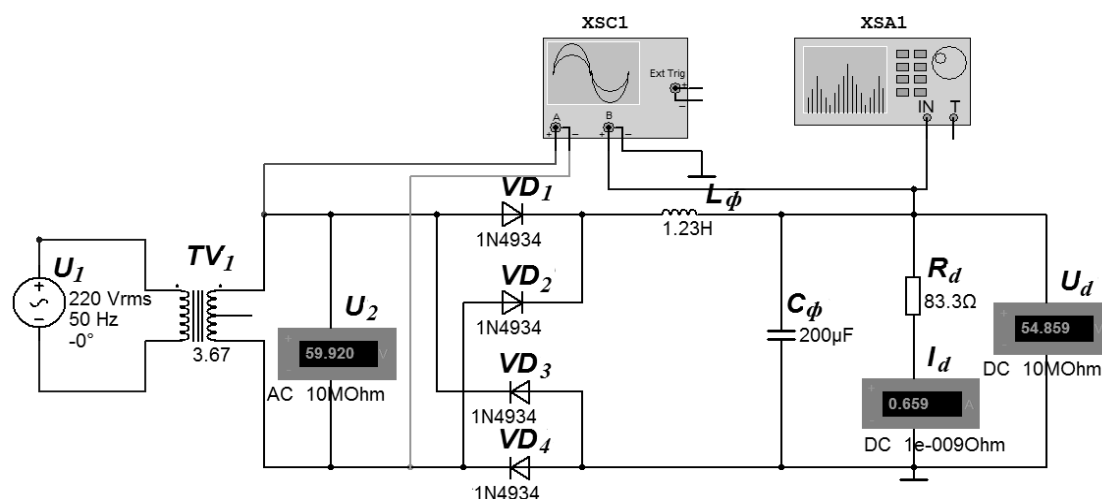


Рисунок 5.5 – Модель мостового выпрямителя с индуктивно-емкостным фильтром

5.2.9 Произвести расчет однофазного управляемого выпрямителя со средней точкой трансформатора при работе на активную нагрузку. Исходные данные (напряжение сети U_1 , минимальное напряжение нагрузки $U_{d \min}$, максимальное напряжение нагрузки $U_{d \max}$, сопротивление нагрузки R_d) задаются преподавателем.

5.2.10 Выбрать тип вентиля, трансформатора, построить регулировочную характеристику управляемого выпрямителя (см. рисунок 5.3) и по ней определить требуемые углы регулирования.

5.2.11 Произвести моделирование работы управляемого выпрямителя в среде Multisim (рисунок 5.6). Импульсы управления тиристорами формируются источником пульсирующего напряжения E_2 путем задания угла отпирания параметром «задержка»:

$$t_z = \frac{\alpha}{360^\circ \cdot f},$$

где f – частота питающего напряжения, $f = 50$ Гц.

5.2.12 Получить осциллограммы выходного напряжения для режима минимального и максимального выпрямленного напряжения на нагрузке. Определить средневывпрямленные значения напряжения и тока. Заполнить таблицу 5.2. Сравнить полученные значения с заданными (рассчитанными).

Таблица 5.2 – Результаты исследования работы управляемого выпрямителя

Тип данных	U_2 , В	$U_{d \min}$, В	$U_{d \max}$, В	$I_{d \min}$, А	$I_{d \max}$, А
Исходные данные (расчет)					
Моделирование					

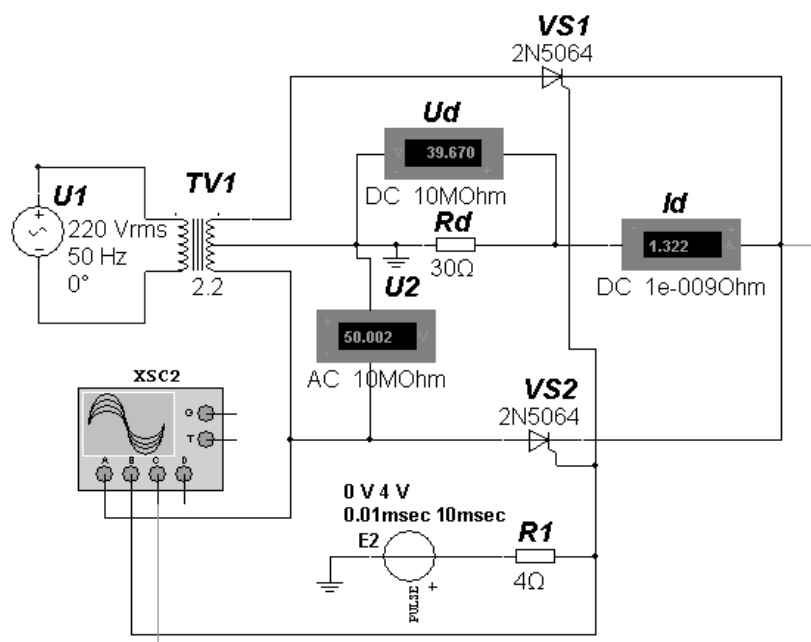


Рисунок 5.6 – Модель управляемого выпрямителя со средней точкой трансформатора

5.3 Содержание отчета

Отчет по работе должен содержать: цель работы; исходные данные; схемы выпрямителей; расчеты; результаты моделирования в среде Multisim; осциллограммы напряжений; таблицы с результатами исследований; выводы по работе.

Контрольные вопросы

- 1 Приведите схему и опишите работу двухполупериодного неуправляемого выпрямителя.
- 2 Опишите порядок расчета и моделирования двухполупериодного неуправляемого выпрямителя.
- 3 Приведите схему и опишите работу однофазного управляемого выпрямителя со средней точкой трансформатора.
- 4 Опишите порядок расчета и моделирования работы однофазного управляемого выпрямителя со средней точкой трансформатора.

6 Лабораторная работа № 6. Исследование схем на основе операционных усилителей

Цель работы: изучение принципа работы, методик расчёта, характеристик устройств на базе операционных усилителей.

6.1 Общие теоретические сведения

Операционным усилителем (ОУ) называют усилитель постоянного тока с дифференциальным входом, предназначенный для выполнения различных операций над аналоговыми и импульсными величинами.

Пример расчета схемы инвертирующего усилителя на основе операционного усилителя.

Исходные данные: операционный усилитель КР140УД11; коэффициент усиления $K_U = 20$; минимальное входное сопротивление $U_{\text{вх min}} = 10 \text{ мВ}$.

Необходимо осуществить расчёт и выбор из стандартного ряда сопротивлений усилителя. Определить максимальное входное напряжение синусоидального сигнала $U_{\text{вх max}}$, при котором не будет значительных искажений выходного сигнала.

Схема инвертирующего усилителя низкой частоты приведена на рисунке 6.1.

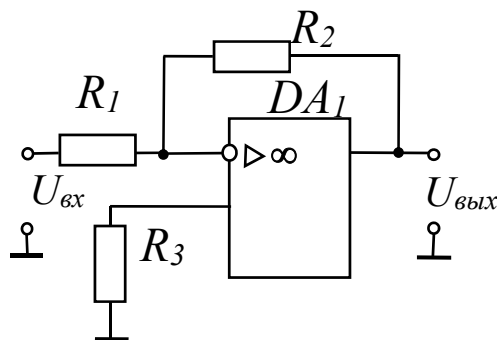


Рисунок 6.1 – Схема инвертирующего усилителя на операционном усилителе

Входной усиливаемый сигнал подается на инвертирующий вход операционного усилителя DA_1 через токоограничивающее сопротивление R_1 . Сопротивление R_2 образует отрицательную обратную связь усилителя, стабилизируя работу усилителя, одновременно снижая его коэффициент усиления

$$K_U = \frac{U_{\text{вых}}}{U_{\text{вх}}} = -\frac{R_2}{R_1}.$$

Сопротивление R_3 соединяет неинвертирующий вход операционного усилителя со средней точкой источника питания (землей) и служит для выравнивания входных токов.

Параметры операционного усилителя КР140УД11:

- номинальное напряжение питания $U_{\text{пит ном}} = \pm 15 \text{ В}$;
- коэффициент усиления $K_{u \text{ ОУ}} = 30000$;

- максимально допустимое выходное напряжение $U_{\text{вых max}} = 12 \text{ В}$;
 - разность входных токов $\Delta I_{\text{ex}} = 0,2 \text{ мкА}$;
 - входное сопротивление $R_{\text{ex}} = 0,4 \text{ МОм}$;
 - минимальное сопротивление нагрузки $R_{H \text{ min}} = 2 \text{ кОм}$.
- Сопротивление R_1 должно удовлетворять условию

$$R_1 \ll \frac{U_{\text{ex min}}}{\Delta I_{\text{ex}}} = \frac{10 \cdot 10^{-3}}{0,2 \cdot 10^{-6}} = 50 \text{ кОм}.$$

Принимаем из стандартного ряда E24 (см. приложение А) $R_1 = 5,1 \ll 50 \text{ кОм}$.
Сопротивление обратной связи

$$R_2 = K_U \cdot R_1 = 20 \cdot 5,1 \cdot 10^3 = 102 \text{ кОм}.$$

Принимаем $R_2 = 100 \text{ кОм}$.
Находим сопротивление R_3 :

$$R_3 = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} = \frac{5,1 \cdot 10^3 \cdot 100 \cdot 10^3}{5,1 \cdot 10^3 + 100 \cdot 10^3} = 4,85 \text{ кОм}.$$

Принимаем $R_3 = 4,7 \text{ кОм}$.

Амплитуда выходного сигнала не может быть больше максимального выходного напряжения (для данного типа ОУ $U_{\text{вых max}} = 12 \text{ В}$). Поэтому действующее значение максимального входного синусоидального сигнала составит:

$$U_{\text{ex max}} = \frac{U_{\text{вых max}}}{\sqrt{2} \cdot K_U} = \frac{12}{\sqrt{2} \cdot 20} = 0,42 \text{ В}.$$

6.2 Порядок выполнения работы

6.2.1 Произвести расчет и выбор элементов схемы инвертирующего усилителя на основе операционного усилителя КР140УД11. Исходные данные (коэффициент усиления K_U , минимальное входное сопротивление $U_{\text{ex min}}$) задаются преподавателем.

6.2.2 Определить максимальное входное напряжение синусоидального сигнала $U_{\text{ex max}}$, при котором не будет значительных искажений выходного сигнала.

6.2.3 Осуществить моделирование работы усилителя в среде Multisim (рисунок 6.2) при входном напряжении, не превышающем $U_{\text{ex max}}$, но больше $U_{\text{ex min}}$. Наблюдать осциллограммы входного и выходного напряжения усилителя, фазовый сдвиг 180° между $u_{\text{вых}}$ и u_{ex} , что соответствует схеме инвертирующего усилителя.

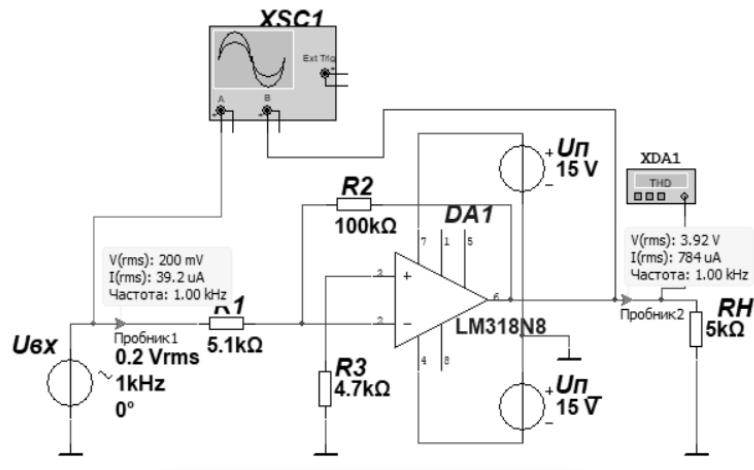


Рисунок 6.2 – Модель инвертирующего усилителя на ОУ

6.2.4 Определить значение коэффициента усиления по напряжению K_U , сравнить с заданным значением в таблице 6.1. Заполнить таблицу 6.1 (моделирование).

$$K_U = \frac{U_{\text{вых}}}{U_{\text{вх}}}.$$

Таблица 6.1 – Параметры усилителя

K_U заданный	$U_{\text{вх}}$, В	$U_{\text{вых}}$, мВ	K_U	$I_{\text{вх}}$, мА	$I_{\text{вых}}$, мА	K_I	$R_{\text{вх}}$, Ом	THD
Моделирование								
20	0,2	3,92	19,6	0,0392	0,784	20	5102	0,00
Эксперимент								

6.2.5 Осуществить моделирование работы усилителя в среде Multisim при входном напряжении, превышающем $U_{\text{вх max}}$. Наблюдать на экране осциллографа ограничение уровня выходного напряжения.

6.2.6 Собрать на макетной плате схему инвертирующего усилителя на выбранных в результате расчетов элементах (см. рисунок 6.2). Для питания усилителя подключить двухполярный источник постоянного напряжения $\pm U_n$, входной сигнал $U_{\text{вх}}$ подать от генератора гармонических колебаний. Получить на осциллографе осциллограммы и измерить значения входных и выходных напряжений. Определить коэффициент усиления по напряжению K_U , сравнить со значением, полученным в результате моделирования. Заполнить таблицу 6.1 (эксперимент).

6.2.7 По заданию преподавателя произвести расчёт и выбор элементов схемы неинвертирующего усилителя, операционного повторителя, интегратора, дифференциатора, сумматора. Осуществить моделирование работы схем в среде Multisim.

6.3 Содержание отчета

Отчет по работе должен содержать: цель работы; исходные данные; схему инвертирующего усилителя и других схем на основе операционного усилителя; расчеты; результаты моделирования и экспериментальных исследований работы схем в среде Multisim; осциллограммы входного и выходного сигналов; выводы по работе.

Контрольные вопросы

- 1 Приведите схему и опишите работу инвертирующего усилителя на операционном усилителе.
- 2 Порядок расчета и исследования работы инвертирующего усилителя на операционном усилителе.
- 3 Приведите схему и опишите работу неинвертирующего усилителя и операционного повторителя.
- 4 Приведите схему и опишите работу интегратора, дифференциатора и сумматора.

7 Лабораторная работа № 7. Исследование схем генератора гармонических колебаний и мультивибратора

Цель работы: изучение принципа работы, методик расчета, характеристик генератора гармонических колебаний и мультивибратора.

7.1 Общие теоретические сведения

Схема генератора гармонического сигнала на операционном усилителе с мостом Вина в цепи обратной связи приведена на рисунке 7.1.

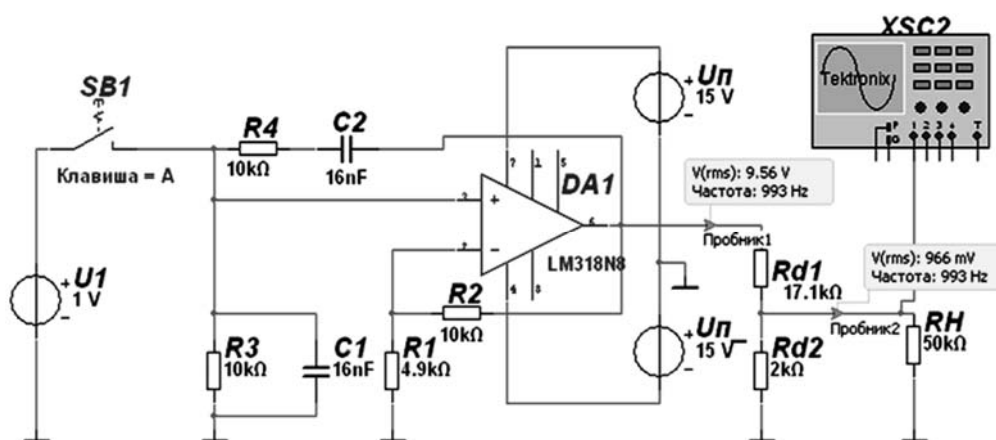


Рисунок 7.1 – Модель генератора гармонических колебаний на ОУ

Пример расчета схемы генератора гармонического сигнала на операционном усилителе с мостом Вина в цепи обратной связи.

Разработать схему генератора гармонических колебаний на операционном усилителе КР140УД11 (LM318N8), обеспечив действующее значение напряжения $U_2 = 1$ В и частоту $f_2 = 10$ кГц.

Принимаем $R_2 = R_3 = R_4 = R = 10$ кОм.

Тогда $R_1 = R_2 / (3 - 1) = 10 \cdot 10^3 / 2 = 5$ кОм.

$$C_1 = C_2 = C = 1 / (2 \cdot \pi \cdot f_2 \cdot R) = 1 / (2 \cdot 3,14 \cdot 10000 \cdot 10 \cdot 10^3) = 15,9 \text{ нФ}.$$

Принимаем из стандартного ряда (см. приложение А) $C = 16$ нФ.

Мультивибратором называется автогенератор, предназначенный для получения периодически повторяющихся импульсов прямоугольной формы.

На рисунке 7.2 приведена схема мультивибратора, вырабатывающего периодически повторяющиеся прямоугольные импульсы положительной и отрицательной полярности одинаковой длительности. Такой мультивибратор называется симметричным.

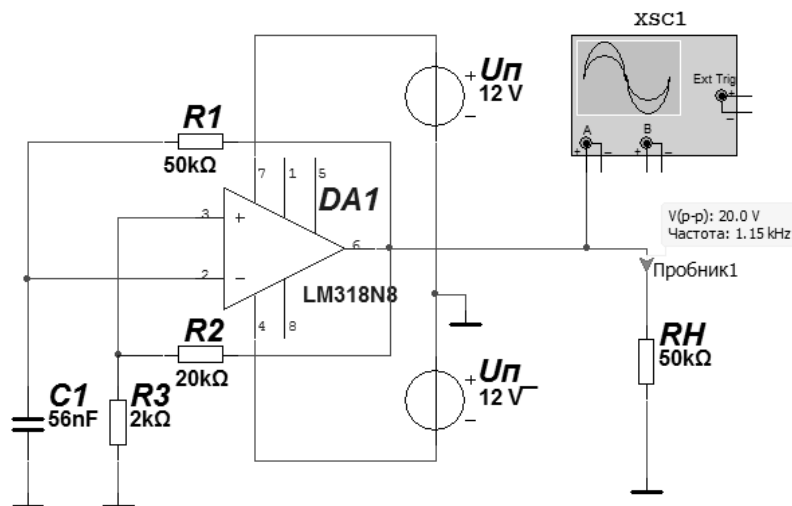


Рисунок 7.2 – Модель симметричного мультивибратора на ОУ

Пример расчета схемы мультивибратора на операционном усилителе.

Разработать схему симметричного мультивибратора на операционном усилителе К140УД11. *Исходные данные:* максимальное значение напряжения $U_m = 10$ В; длительность импульса $t_H = 500$ мкс; время фронта импульса $t_\phi = 2$ мкс.

Для обеспечения максимального значения напряжения импульса $U_m = 10$ В необходимо снизить напряжение питания до $U_H = \pm 12$ В, т. к. операционный усилитель обеспечивает $U_{\text{вых max}} = 12$ В при номинальном напряжении питания $U_{\text{пит ном}} = \pm 15$ В.

Скорость изменения выходного напряжения, которую обеспечивает такой усилитель, выше требуемой: $\frac{d \cdot U_{\text{вых}}}{d \cdot t} = 5 \text{ В/мкс.}$

Должны выполняться следующие условия:

- 1) $10 \cdot R_{H\min} < R_1 \leq R_{\text{ex}};$
- 2) $R_2 + R_3 > 10 \cdot R_{H\min};$
- 3) $R_2 = 10 \cdot R_3.$

Выбираем $R_1 = 50 \text{ кОм}$, $R_2 = 20 \text{ кОм}$, $R_3 = 2 \text{ кОм}$. Ёмкость конденсатора C_1 рассчитывается из соотношения

$$C_1 = \frac{t_H}{R_1 \cdot \ln \left[\frac{(R_2 + 2R_3)}{R_2} \right]} = \frac{500 \cdot 10^{-6}}{50 \cdot 10^3 \cdot \ln \left[\frac{(20 \cdot 10^3 + 2 \cdot 2 \cdot 10^3)}{20 \cdot 10^3} \right]} = 54,8 \text{ нФ.}$$

Принимаем из стандартного ряда (см. приложение А) $C_1 = 56 \text{ нФ}$.

7.2 Порядок выполнения работы

7.2.1 Произвести расчет схемы генератора гармонических колебаний на операционном усилителе КР140УД11 (LM318N8), обеспечив действующее значение напряжения U_e и частоту f_z , заданные преподавателем.

7.2.2 Осуществить моделирование работы генератора в среде Multisim (см. рисунок 7.1). Получить осциллограмму выходного сигнала. Измерить амплитуду и частоту выходного напряжения.

7.2.3 Для обеспечения требуемого напряжения на выходе можно установить делитель напряжения:

$$U_e = \frac{U_{\text{вых}} \cdot R_{d2}}{R_{d1} + R_{d2}}.$$

7.2.4 Результаты моделирования работы генератора занести в таблицу 7.1 (моделирование) и сравнить с исходными данными.

Таблица 7.1 – Результаты исследования работы генератора синусоидальных колебаний

Тип данных	U_e , В	f_z , кГц	THD , %
Исходные данные			—
Моделирование			
Эксперимент			

7.2.5 Собрать на макетной плате схему генератора гармонических колебаний на выбранных в результате расчетов элементах (см. рисунок 7.1). Для питания усилителя подключить двухполярный источник постоянного напряжения $\pm U_n$. Получить на осциллографе осциллограмму выходного

напряжения генератора и измерить параметры сигнала. Заполнить таблицу 7.1 (эксперимент).

7.2.6 Произвести расчет схемы симметричного мультивибратора на операционном усилителе КР140УД11 (LM318N8), обеспечив максимальное значение напряжения U_m , длительность импульса t_H , время фронта $t_\phi = 2$ мкс, заданные преподавателем.

7.2.7 Осуществить моделирование работы генератора в среде Multisim (см. рисунок 7.2).

7.2.8 Результаты моделирования работы генератора занести в таблицу 7.2 (моделирование) и сравнить с исходными данными.

Таблица 7.2 – Результаты исследования работы мультивибратора

Тип данных	U_m , В	t_H , мкс	t_ϕ , мкс
Исходные данные			
Моделирование			
Эксперимент			

7.2.9 Собрать на макетной плате схему мультивибратора на выбранных в результате расчетов элементах (см. рисунок 7.2). Для питания усилителя подключить двухполярный источник постоянного напряжения $\pm U_n$. Получить на осциллографе осциллограмму выходного напряжения генератора и измерить параметры сигнала. Заполнить таблицу 7.2 (эксперимент).

7.3 Содержание отчета

Отчет по работе должен содержать: цель работы; исходные данные; схему генератора гармонических колебаний и мультивибратора на основе операционного усилителя; расчеты; результаты моделирования работы генераторов в среде Multisim в виде таблиц; осциллограммы выходных напряжений; выводы по работе.

Контрольные вопросы

1 Приведите схему и опишите работу генератора гармонического сигнала на операционном усилителе с мостом Вина в цепи обратной связи.

2 Опишите порядок расчёта и исследования работы генератора гармонического сигнала на операционном усилителе с мостом Вина в цепи обратной связи.

3 Приведите схему и опишите работу мультивибратора на операционном усилителе.

4 Опишите порядок расчета и исследования работы мультивибратора на операционном усилителе.

8 Лабораторная работа № 8. Исследование работы логических элементов и триггеров

Цель работы: изучение принципа функционирования и характеристик логических элементов и триггеров.

8.1 Общие сведения

В ЭВМ, импульсных и других цифровых устройствах широко применяются *логические элементы*. Каждый логический элемент выполняет вполне определенную логическую операцию. Основными логическими операциями являются: логическое отрицание НЕ (инверсия), логическое сложение ИЛИ (дизъюнкция), логическое умножение И (конъюнкция). К базовым логическим элементам относятся элементы Пирса и Шеффера. На основе этих простых операций могут строиться и более сложные. Для описания логических операций используется алгебра логики. Алгебра логики широко применяется в теории цифровой техники, в которой используются устройства, имеющие два устойчивых состояния равновесия. При этом одно из состояний, соответствующие, например, высокому уровню напряжения, обозначается *единицей*, а соответствующее низкому уровню напряжения – *нулем*. Уровень выходного напряжения логического элемента зависит от уровня входного (или нескольких входных) напряжений. Эта связь отображается таблицей состояний (таблицей истинности).

Триггер – это устройство последовательностного типа с двумя устойчивыми состояниями равновесия, предназначенное для записи и хранения информации. Под действием входных сигналов триггер может переключаться из одного устойчивого состояния в другое. При этом напряжение на его выходе скачкообразно изменяется с низкого уровня на высокий или наоборот.

По способу записи информации триггеры делят на *асинхронные*, которые переключаются в момент подачи входного сигнала, и *синхронные* (тактируемые), которые переключаются только при подаче синхронизирующих импульсов, а момент переключения связан с определённым уровнем синхросигнала (*статические* триггеры) или с моментом перепада напряжения на тактируемом входе (*динамические* триггеры).

Как правило, триггер имеет два выхода: прямой Q и инверсный $\bar{Q}$. Число входов зависит от структуры и функций, выполняемых триггером. Например, асинхронные RS -триггеры имеют два входа: вход S установки в *единичное* состояние прямого выхода Q и вход R установки в *нулевое* состояние выхода Q . Синхронные триггеры для занесения в них информации, помимо информационных входов S (J) и R (K), имеют синхронизирующий C или счётный T вход, а триггеры задержки – информационный вход D .

Наибольшее распространение в цифровых устройствах получили триггеры RS , D , JK и T .

8.2 Порядок выполнения работы

8.2.1 В программе Multisim собрать схему для испытания основных и базовых логических элементов (рисунок 8.1) OR (ИЛИ), AND (И), NOT (НЕ), NAND (И-НЕ) и XOR (ИЛИ-НЕ), расположенных в библиотеке Misc Digital/TIL с уровнем высокого напряжения 5 В. В схему включены ключи SB1 и SB2, пробники X1, X2 и Y1...Y5 с пороговыми напряжениями 5 В. Если входной или выходной сигнал элемента равен логической единице, то включенный на выходе этого элемента пробник светится.

Результаты моделирования занести в таблицу 8.1.

8.2.2 По заданию преподавателя (таблица 8.2) исследовать работу трех логических элементов одной из серий интегральных микросхем (рисунок 8.2), предварительно выписав из справочника их параметры и условное обозначение. Составить таблицу истинности для данных элементов (см. таблицу 8.2).

Таблица 8.1 – Результаты моделирования работы базовых логических элементов

Дизъюнктор [ИЛИ (OR)]			Конъюнктор [И (AND)]			Инвертор [НЕ (NOT)]		Штрих Шеффера [И-НЕ (NAND)]			Стрелка Пирса [ИЛИ-НЕ (NOR)]		
x_1	x_2	y	x_1	x_2	y	x	y	x_1	x_2	y	x_1	x_2	y
0	0		0	0		0		0	0		0	0	
0	1		0	1				0	1		0	1	
1	0		1	0		1		1	0		1	0	
1	1		1	1				1	1		1	1	

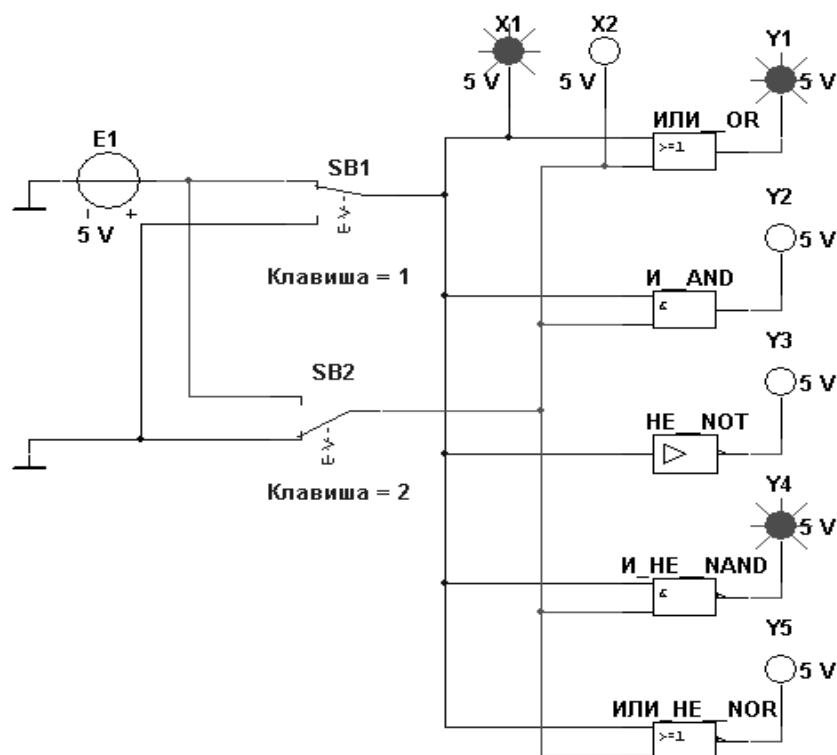


Рисунок 8.1 – Схема для исследования основных и базовых логических элементов

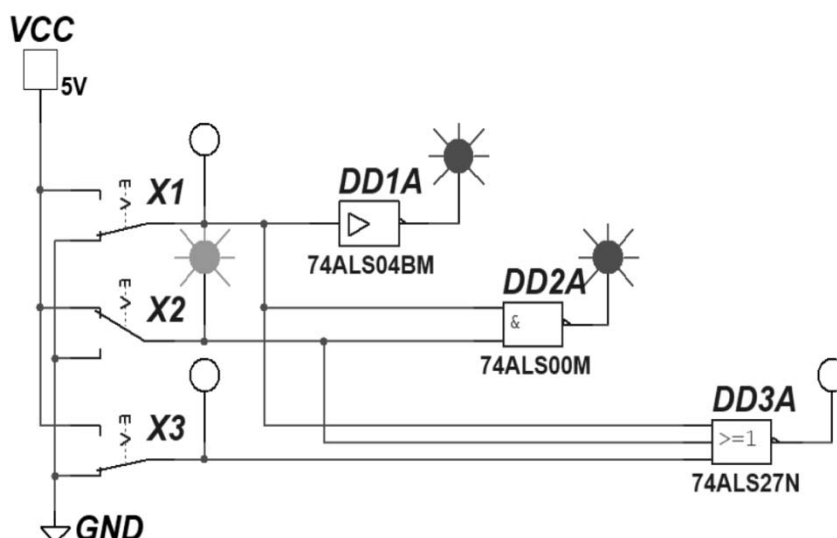


Рисунок 8.2 – Схема для исследования микросхем логических элементов

8.2.3 Для экспериментального исследования работы логического элемента, заданного преподавателем на макетной плате, собрать схему, например, приведенную на рисунке 8.3.

Питание микросхемы осуществляется от источника НУ3002-D2 или выхода +5 В устройства сбора данных NI USB-6009. Сигналы входных переменных X формируются цифровыми выходами P0.0...P0.2 устройства NI USB-6009, прием сигнала логической функции Y осуществляется цифровым входом P1.0, что реализовано блоками DAQ Assistant блок-диаграммы виртуального прибора (рисунок 8.4). Входы и выход логического элемента подключаются к каналам аналогового ввода $AI1...AI3$ устройства сбора данных NI USB-6009 для возможности отображения уровня сигналов.

Таблица 8.2 – Результаты исследования работы микросхем логических элементов

Микросхема № 1 _____ Тип элемента _____		Микросхема № 2 _____ Тип элемента _____				Микросхема № 3 _____ Тип элемента _____			
x	y	x_1	x_2	x_3	y	x_1	x_2	x_3	y
0		0	0	0		0	0	0	
		0	0	1		0	0	1	
		0	1	0		0	1	0	
		0	1	1		0	1	1	
1		1	0	0		1	0	0	
		1	0	1		1	0	1	
		1	1	0		1	1	0	
		1	1	1		1	1	1	

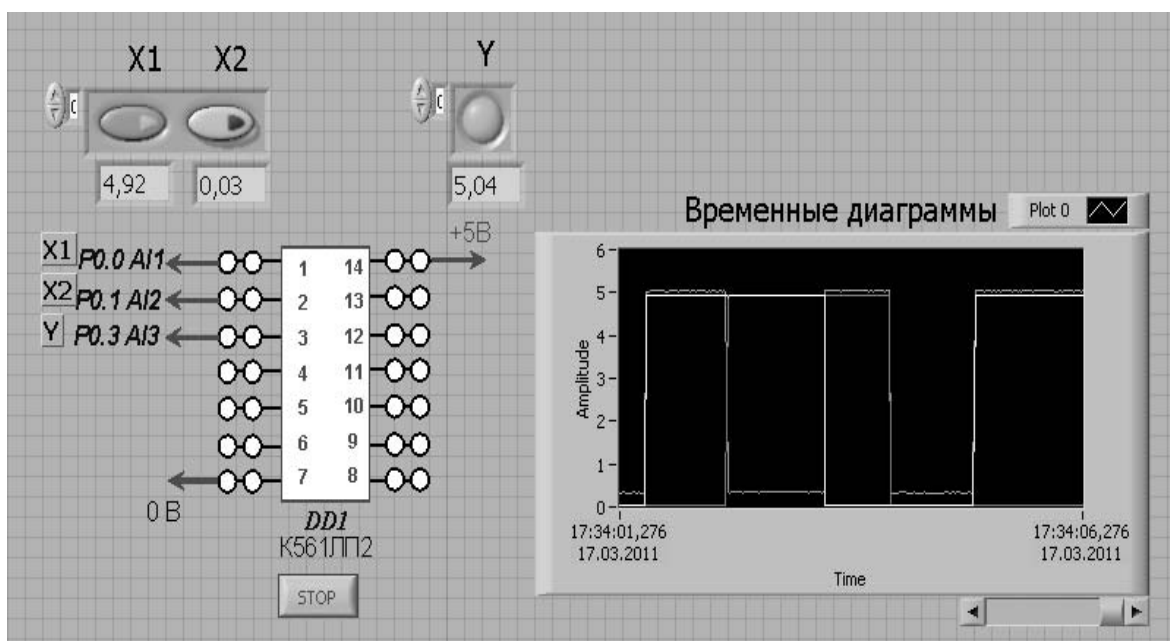


Рисунок 8.3 – Виртуальный прибор для экспериментального исследования логических элементов в среде LabVIEW

Заполнить таблицу истинности для исследуемого элемента, сравнив с результатами моделирования. Определить уровни входного и выходного напряжений, соответствующие логической единице и нулю, $U_{вх}^1$, $U_{вх}^0$, $U_{вых}^1$, $U_{вых}^0$.

8.2.4 В программе Multisim собрать схему исследования RS-триггера на логических элементах И-НЕ, заданной преподавателем серии (рисунок 8.5).

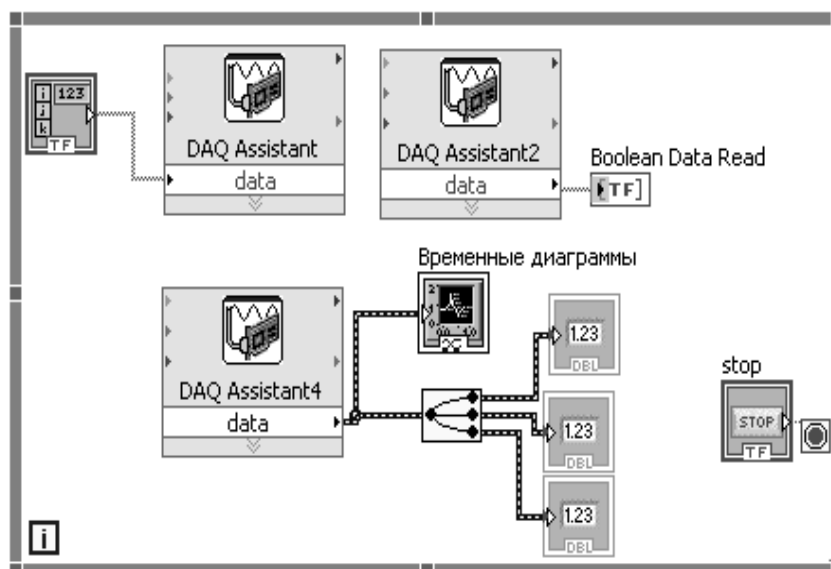


Рисунок 8.4 – Блок-диаграмма виртуального прибора в LabVIEW для исследования логических элементов

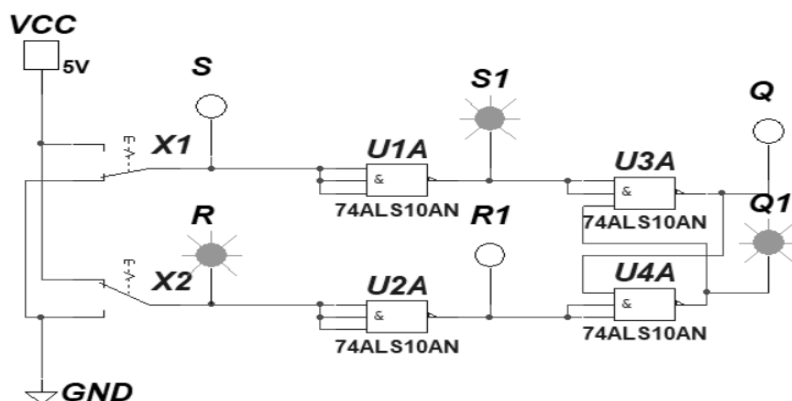


Рисунок 8.5 – Схема RS -триггера на логических элементах И-НЕ

Воспользовавшись порядком засвечивания пробников и задавая коды (00, 01, 10) состояния ключей $SB1$ и $SB2$ (входных сигналов), составить таблицу истинности RS -триггера.

8.2.5 В программе Multisim собрать схему испытания триггеров JK и D (рисунок 8.6) по заданию преподавателя. В схему включены: генератор XWG1 (частота $f_2 = 500$ кГц), логический анализатор XLA1.

На $\overline{1CLR}$ - и $\overline{1PR}$ -входы триггеров подается постоянное напряжение 5 В (имитирующее сигнал 1) источника VCC, а на $\overline{1CLK}$ -входы триггеров и на вход 1 анализатора XLA1 поступают тактовые импульсы с амплитудой 5 В и частотой 500 кГц, сформированные генератором E1.

С выходов 1 и 2 генератора XWG1 сигналы подаются на управляющие входы 1J и 1K JK -триггера, с выхода 3 – на вход 1D D -триггера.

В качестве примера введем в первые шесть ячеек памяти генератора трехразрядные кодовые комбинации (рисунок 8.7): 010, 100, 111, 001, 100, 010.

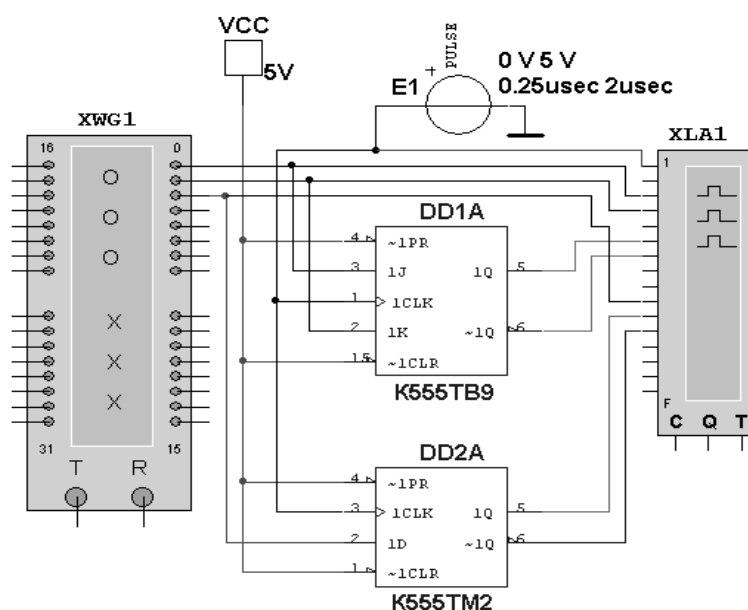


Рисунок 8.6 – Схема для исследования JK - и D -триггеров

Провести моделирование работы триггеров, по временным диаграммам составить и заполнить для них таблицы истинности.

По полученным временным диаграммам составить таблицу истинности триггера, сравнить с результатами моделирования.

8.3 Содержание отчета

Отчет по работе должен содержать: цель работы; схемы для моделирования работы логических элементов и триггеров в среде Multisim; блок-диаграммы виртуального прибора для экспериментального снятия характеристик и диалоговое окно; временные диаграммы и таблицы истинности работы логических элементов и триггеров; выводы по работе.

Контрольные вопросы

- 1 Логические элементы и их таблицы истинности.
- 2 Приведите структуру и опишите работу асинхронного и синхронного RS -триггера.
- 3 Приведите структуру и опишите работу D - и T - триггера.
- 4 Опишите порядок исследования работы логических элементов и триггеров.

9 Лабораторная работа № 9. Исследование работы регистров, счетчиков, дешифраторов и полупроводниковых индикаторов

Цель работы: изучение принципа функционирования, характеристик регистров, счетчиков, дешифраторов и полупроводниковых индикаторов.

9.1 Общие теоретические сведения

Регистр – это последовательное устройство, предназначенное для записи, хранения и (или) сдвига информации, которая поступает и хранится в регистре в виде n -разрядных двоичных чисел. В общем случае регистр может выдавать информацию в последовательной или параллельной форме, преобразовывать прямой код числа в обратный (когда единицы заменяются нулями, а нули – единицами), и наоборот, а также выполнять логическое сложение и логическое умножение двоичных чисел.

В зависимости от способа ввода и вывода разрядов числа различают регистры параллельные, последовательные и параллельно-последовательные. В *параллельном* регистре ввод и вывод всех разрядов кодового числа осуществляется одновременно, в *последовательном* – разряды числа вводятся и выводятся последовательно, а в *параллельно-последовательном* регистре ввод числа производится в параллельной форме, а вывод – в последовательной, и наоборот.

Дешифратор (DC) или *декодер* – комбинационная схема с n входами и $m = 2^n$ выходами ($m > n$), преобразующая двоичный входной n -код (кодовое слово) в унитарный. На одном из m выходов дешифратора появляется логическая 1, а именно на том, номер которого соответствует по данному на вход двоичному коду.

На остальных выходах дешифратора выходные сигналы будут равны нулю. Дешифратор используют в том случае, когда нужно обращаться к различным цифровым устройствам по адресу, который представлен в двоичном коде.

Счетчик предназначен для счета поступающих на его вход импульсов, в интервале между которыми он должен хранить информацию об их количестве. Поэтому счетчик состоит из запоминающих ячеек – триггеров обычно D - или JK -типа. Между собой ячейки счетчика соединяют таким образом, чтобы каждому числу импульсов соответствовали состояния 1 или 0 определенных ячеек. При этом совокупность единиц и нулей на выходах n ячеек, называемых *разрядами* счетчика, представляет собой n -разрядное двоичное число, которое однозначно определяет количество прошедших через входы импульсов.

Каждый разряд счетчика может находиться в двух состояниях. Число устойчивых состояний, которое может принимать данный счетчик, называют *коэффициентом пересчета* $K_{сч}$.

Если с каждым входным импульсом «записанное» в счетчике число увеличивается, то такой счетчик является *суммирующим*, если же оно

уменьшается, то – *вычитающим*. Счетчик, работающий как на сложение, так и на вычитание, называют *реверсивным*.

9.2 Порядок выполнения работы

9.2.1 В программе Multisim собрать схему для испытания заданного преподавателем универсального регистра сдвига (рисунок 9.1) и установить в диалоговых окнах компонентов их параметры или режимы работы.

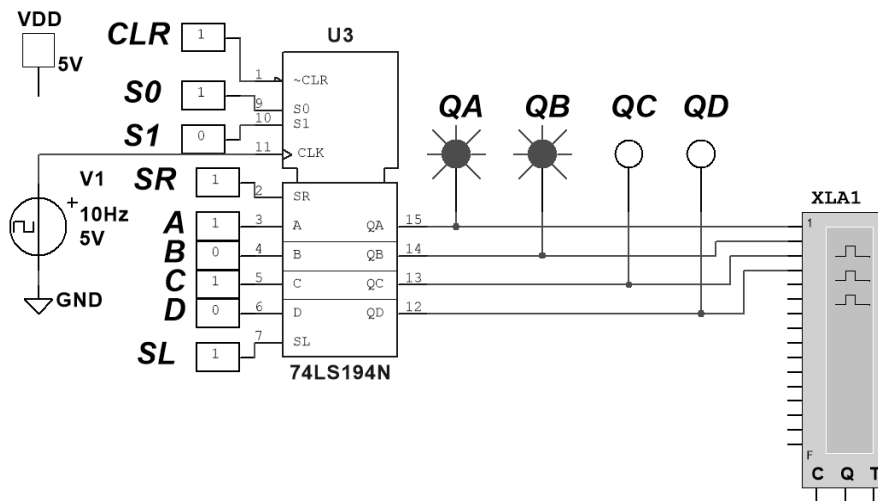


Рисунок 9.1 – Схема для моделирования работы универсального регистра сдвига

Универсальный 4-разрядный регистр сдвига 74LS194N (отечественные аналоги-микросхемы К155ИР1, К176ИР3) способен сдвигать информацию и вправо, и влево, возможна как параллельная, так и последовательная запись данных. Регистр имеет параллельные входы (A, B, C, D), параллельные выходы (QA, QB, QC, QD), последовательные входы (SR, SL), цепь прямой очистки регистра по входу $\overline{\text{CLR}}$ и управляющие входы (S0 и S1) – входы задания режима:

S0 = 1, S1 = 1 – запись данных в регистр по входам A, B, C, D;

S0 = 1, S1 = 0 – сдвиг данных вправо в направлении от QA к QD;

S0 = 0, S1 = 1 – сдвиг данных влево в направлении от QD к QA;

S0 = 0, S1 = 0 – входы регистра недоступны (блокировка).

9.2.2 Записать в регистр заданное преподавателем двоичное число в параллельном и последовательном коде. Снять временные диаграммы работы универсального регистра сдвига.

9.2.3 В программе Multisim собрать схему для испытания заданного преподавателем двоичного (двоично-десятичного) счетчика (рисунок 9.2) и установить в диалоговых окнах компонентов их параметры или режимы работы.

В схему включен синхронный двоичный 4-разрядный двоично-десятичный счетчик 74LS192N, к входу $\overline{\text{UP}}$ которого подключен источник тактовых импульсов V1, а к выходам QA, QB, QC и QD – логические пробники. Выходы счетчика и дешифратора соединены с входами логического анализатора XLA1.

При подаче тактовых импульсов на вход $\overline{UP}$ обеспечивается прямой счет. На вход $\overline{DOWN}$ при этом следует подать логическую 1 (напряжение +5 В).

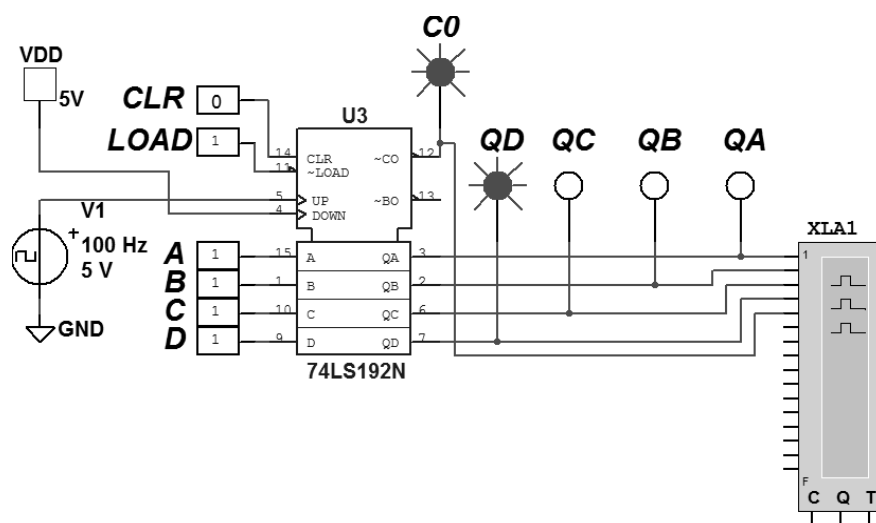


Рисунок 9.2 – Схема для моделирования работы счетчика

К входам А, В, С и D счетчика подключены цифровые константы для задания начального кода счетчика. Установка осуществляется подачей логического 0 на вход $\overline{\text{LOAD}}$. Сброс счетчика осуществляется при подаче логической 1 на вход CLR.

9.2.4 Промоделировать работу счетчика, сняв временные диаграммы их работы с помощью прибора XLA1 (см. рисунок 9.2).

9.2.5 В программе Multisim собрать схему счетчика с заданным преподавателем коэффициентом счета (рисунок 9.3).

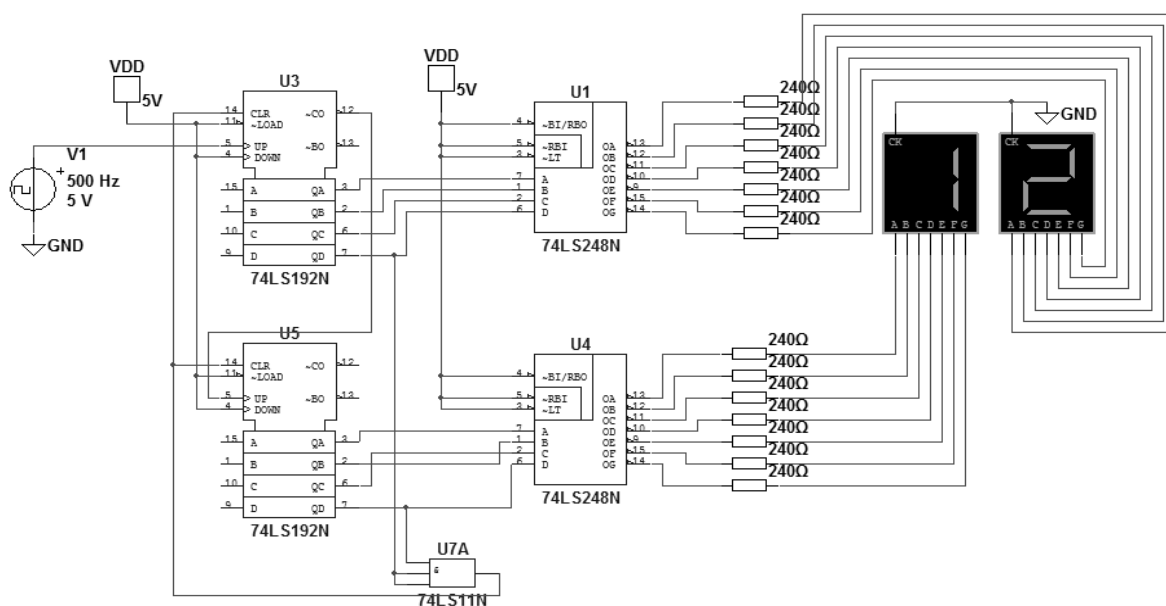


Рисунок 9.3 – Схема счетчика с дешифраторами и семисегментными индикаторами

Подключить к выходам счетчика семисегментный индикатор с дешифратором. Для ограничения входного тока дешифратора используются сопротивления 240 Ом. Для корректной работы дешифратора на его входы $\overline{BI}/RB0$, $\overline{RBI}$, $\overline{LT}$ нужно подать сигналы логической 1 (+5 В). Семисегментный индикатор с общим коллектором, вывод СК подключается к GND. Обнуление счетчика производится при подаче логической единицы на входы CLR с выхода логического элемента 3И при формировании единичных сигналов на выходах счетчика, соответствующих заданному коэффициенту счета ($0100_2 = 4$ – десятки, нижний счетчик, $1000_2 = 8$ – единицы, верхний счетчик, итого 48 – коэффициент счета).

9.2.6 Проверить обеспечение счетчиком заданного коэффициента счета и отображение его на семисегментных индикаторах.

9.2.7 На макетной плате собрать схему счетчика с заданным преподавателем коэффициентом счета (см. рисунок 9.3). Подключить на выход счетчиков дешифраторы с семисегментными индикаторами через ограничивающие сопротивления 240 Ом. Подать на вход счетчиков прямоугольные импульсы от генератора, наблюдать обеспечение заданного коэффициента счета.

9.2.8 Сделать выводы по результатам работы.

9.3 Содержание отчета

Отчет по работе должен содержать: цель работы; схемы для моделирования работы регистра; счетчика; дешифратора и семисегментного индикатора в среде Multisim; временные диаграммы работы регистра; счетчика; выводы по работе.

Контрольные вопросы

- 1 Приведите схему и опишите работу регистра.
- 2 Приведите схему и опишите работу счетчика.
- 3 Приведите схему и опишите работу дешифратора и семисегментного индикатора.
- 4 Опишите порядок исследования работы регистра, счетчика, дешифратора и семисегментного индикатора.

Список литературы

- 1 **Марченко, А. Л.** Электротехника и электроника : учебник: в 2 т. Т. 2 : Электроника / А. Л. Марченко. – М. : ИНФРА-М, 2023. – 391 с.
- 2 **Гальперин, М. В.** Электротехника и электроника : учебник / М. В. Гальперин. – 2-е изд. – М. : ФОРУМ ; ИНФРА-М, 2020. – 480 с.
- 3 **Кузовкин, В. А.** Схемотехническое моделирование электрических устройств в Multisim : учеб. пособие / В. А. Кузовкин, В. В. Филатов. – Старый Оскол: ТНТ, 2017. – 336 с.
- 4 **Гусев, В. Г.** Электроника и микропроцессорная техника : учебник / В. Г. Гусев, Е. М. Гусев. – М. : КноРус, 2022. – 798 с.

Приложение А (справочное)

Числовой ряд сопротивлений резисторов и конденсаторов

Числовой ряд Е24, применяемый для присвоения номинальных значений сопротивлений резисторов и конденсаторов:

(1,0; 1,1; 1,2; 1,3; 1,5; 1,6; 1,8; 2,0; 2,2; 2,4; 2,7; 3,0; 3,3; 3,6; 3,9;
4,3; 4,7; 5,1; 5,6; 6,2; 6,8; 7,5; 8,2; 9,1)·10^{*n*},

где *n* = -2; -1; 0; 1; 2; 3 и т. д.

Приложение Б (справочное)

Таблица Б.1 – Параметры биполярных транзисторов

Тип транзистора	<i>I_K</i> max, А	<i>U_{KЭ}</i> max, В	<i>h</i> _{21Э}	<i>I</i> _{K0} , мкА	<i>R</i> _б , Ом	<i>U</i> _{Б0} , В
BC547А (КТ3102Б)	0,1	45	220	0,05	7	0,6
2N2218 (КТ928А)	0,8	30	25	5	3	1,0
BD135 (КТ815Б)	1,5	45	40	50	5	0,6
BD237 (КТ817Г)	4	60	25	100	2	0,6
2N3879 (КТ908А)	7	75	12	1,5	1,5	0,6

Приложение В (справочное)

Таблица В.1 – Параметры полевых транзисторов

Тип транзистора	<i>U</i> _{си} max, В	<i>I</i> _с max, А	<i>U</i> _{отс} , В
2N3970	-40	0,150	-4,0
2N3972	-40	0,03	-0,5
2N4860	-30	0,1	-2,0
2N5432	-25	0,150	-4,0
2N5434	-25	0,03	-1,0

Приложение Г (справочное)

Таблица Г.1 – Параметры выпрямительных диодов

Тип диода	<i>I</i> _{пр} max, А	<i>U</i> _{обр.} max, В	<i>U</i> _{пр.} max, В
1N4148	0,15	75	1
1N3600	0,2	50	1
1N4001	1	50	1,1
1N4002	1	100	1,1
1N4934	1	100	1,1
1N5400	3	50	1,1
1N5401	3	100	1,1

Приложение Д (справочное)

Таблица Д.1 – Технические данные однофазных трансформаторов

Тип трансформатора	$S_{ном},$ В·А	Напряжение вторичной обмотки на выводах вторичных обмоток					
		А	Б	В	Г	Д	Е
ТПП 258	31	5	5	10	10	2,6	2,6
ТПП 271	57	9,95	10	20	20	4,97	4,95
ТПП 281	72	10	10	10	20	20	2,62
ТПП 289	90	10	10	10	20	20	5