

Министерство образования и науки РФ
Федеральное государственное образовательное учреждение
высшего образования
АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
(ФГБОУ ВО «АмГУ»)

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА, ЭЛЕКТРОНИКА И СХЕМОТЕХНИКА

сборник учебно-методических материалов
для направления подготовки 09.03.01
«Информатика и вычислительная техника»

Благовещенск 2017

Печатается по решению
Редакционно-издательского совета
энергетического факультета
Амурского государственного университета

Составитель: Теличенко Д.А.

Электротехника, электроника и схемотехника: сборник учебно-методических материалов для направления подготовки 09.03.01 – Информатика и вычислительная техника. – Благовещенск: Амурский гос. ун-т, 2017.

Рассмотрен на заседании кафедры автоматизации производственных процессов и электротехники 24.05.2017, протокол № 9.

©Амурский государственный университет, 2017
©Кафедра автоматизации производственных
процессов и электротехники, 2017
©Теличенко Д.А.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	4
1. Содержание дисциплины.....	5
1.1. Лекционные занятия.....	5
1.2. Практические занятия.....	8
1.3. Лабораторные работы.....	9
2. Методические рекомендации.....	11
2.1 Методические указания по освоению дисциплины.....	11
2.2 Методические указания к лабораторным работам.....	11
2.3 Методические указания к практическим работам.....	15
2.4 Методические указания по самостоятельной работе.....	16
Приложение А. Учебно-методическое обеспечение лабораторных работ.....	17
Приложение Б. Учебно-методические обеспечение практических и самостоятельных работ.....	181

ВВЕДЕНИЕ

Дисциплина Б1.Б.14 «Электротехника, электроника и схемотехника» относится к базовой части блока 1 и базируется на дисциплинах: «Математика», «Физика», «Информатика», «Дискретная математика».

Знания и умения, приобретенные студентами при изучении дисциплины, используются в различных дисциплинах, таких как «Элементы и устройства ЭВМ», «Проектирование АСОИУ», «Теория автоматического управления» и др., а также при выполнении курсовых проектов и выпускной квалификационной работы и в последующей практической деятельности выпускника.

Цели дисциплины:

- формирование у студентов способностей инсталлировать программное и аппаратное обеспечение для информационных и автоматизированных систем;
- формирование у студентов способности участвовать в настройке и наладке программно-аппаратных комплексов.

Задачи дисциплины:

- изучение основных законов электротехники, цепей постоянного и переменного тока, магнитных цепей, теории электрических машин, трансформаторов и электромагнитных устройств, и особенностей их применения на практике;
- знакомство с устройствами аналоговой и цифровой электроники, их конструкциями и сборками, а также особенностями применения в современной технике;
- формирование навыков по анализу, оценке и применению цифровых элементов, узлов и блоков в информационных системах и технологиях.

В результате освоения дисциплины обучающийся должен демонстрировать следующие результаты образования:

1) Знать:

- основные законы электротехники, электроники и цифровой схемотехники;
- принципы построения и работы цепей и устройств постоянного и переменного тока;
- основы работы и применения электронных элементов и устройств;

2) Уметь:

- проводить расчеты простых и сложных цепей постоянного и переменного тока;
- анализировать схемы законченных устройств и изделий электротехники, электроники и схемотехники;
- проектировать работу цифровых элементов и систем современных информационных технологий;
- проводить оценку работоспособности, функционирования и осуществлять диагностику работы устройств электротехники, электроники и схемотехники;

3) Владеть:

- методикой создания различных моделей и схем электрических и электронных устройств, а также методами их экспериментального исследования;
- основными понятиями и законами электротехники, электроники и схемотехники, а также их применении на практике;
- основами проектирования информационных систем и технологий на основе достижений электротехники, электроники и схемотехники.

1. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Дисциплина «Электротехника, электроника и схемотехника» проводится в третьем, четвертом и пятом семестре.

Структура и содержание дисциплины отражено в следующих видах учебной работы: лекционные занятия; практические занятия; лабораторные работы; самостоятельная работа; текущий и промежуточный контроль.

Формы текущего контроля успеваемости: допуск и защита лабораторных работ; подготовка к практикам и выполнение домашних заданий.

Формы аттестации: тестирование, выполнение индивидуальной расчетно-графической работы; зачет; экзамен.

1.1. Лекционные занятия

Глава 1. Электротехника (18 часов)

1.1 Тема №1 «Основные понятия. Электрические цепи постоянного тока» (2 часа).

Основные сведения: понятие электротехники, электрической цепи и ее элементов (резистор, емкость, катушка индуктивности). Источники постоянного напряжения. Электрические цепи постоянного тока. Законы Кирхгофа: первый и второй. Распределение потенциала вдоль линии. Последовательное и параллельное соединение резисторов. Соединение треугольником и звездой. Понятие энергии и мощности. Номинальные величины и режимы работы электрических цепей.

1.2 Тема №2 «Нелинейные и магнитные цепи» (2 часа).

Нелинейные электрические цепи постоянного тока. Определения нелинейных цепей. ВАХ нелинейных элементов. Преобразование схем последовательно и параллельно соединенных нелинейных элементов. Магнитные цепи. Особенности расчета неразветвленных магнитных цепей. Прямая и обратная задача в расчете магнитных цепей. Особенности расчета разветвленной магнитной цепи.

1.3 Тема №3 «Однофазные цепи переменного тока» (2 часа).

Основные понятия цепей переменного тока: мгновенные значения; действующее и среднее значения синусоидальных токов и напряжений; изображение синусоидальных токов, напряжений и ЭДС комплексными числами и векторами. Элементы цепей переменного тока: резистивный элемент; индуктивный элемент; емкостный элемент. Мощность в линейных цепях переменного тока: активная; реактивная; полная.

1.4 Тема №4 «Переходные процессы в электрических цепях. Трехфазные цепи» (2 часа).

Переходные процессы: понятие переходных процессов; модель для расчета; комплексные токи, напряжения, сопротивления; законы коммутации; график переходного процесса. Трехфазные электрические цепи. Трехфазный источник электрической энергии. Анализ электрических цепей при соединении трехфазного источника и приемника по схеме «звезда» с нулевым проводом. Соединение приемника по схеме «треугольник». Мощность трехфазной цепи.

1.5 Тема №5 «Электрические машины» (4 часа).

Общие сведения: определение электрической машины, принцип работы, основные законы – электромагнитной индукции, Ампера. Электрические машины постоянного тока: определение, преимущества и недостатки, конструкция и принцип работы; генераторы постоянного тока; двигатель постоянного тока; схемы возбуждения; механические характеристики машин постоянного тока и способы регулирования частоты вращения; основные формулы и параметры машин постоянного тока. Вращающее магнитное поле. Асинхронные машины: принцип действия; конструкция и устройство асинхронного двигателя; характеристики асинхронного двигателя. Синхронные машины: устройство, принцип работы, основные характеристики; синхронные двигатели и генераторы.

1.6 Тема №6 «Трансформаторы. Электромагнитные устройства» (6 часов)

Трансформаторы: понятие трансформатора; схема трансформатора; принцип действия трансформатора. Работа трансформатора в режиме холостого хода и короткого замыкания (схемы, базовые формулы и определение основных характеристик). Мощности потерь в трансформаторах. Автотрансформаторы. Электромагнитные устройства. Назначение и устройство электромагнитных механизмов. Электрические контакты. Электромеханические реле. Электромагнитные и индукционные реле. Электротепловые и герконовые реле. Выключатели и плавкие предохранители. Автоматические выключатели. Плавкие предохранители. Контактные и магнитные пускатели. Устройства защитного отключения.

Глава 2. Электроника (36 часов)

2.1 Тема №1 «Электроника: введение, основные понятия» (4 часа).

Электроника, как отрасль науки и техники. Этапы развития электроники. Нанотехнологии. Области применения электроники: электросвязь, радиоэлектронная аппаратура широкого применения, вычислительная техника, промышленная электроника. Современные направления развития электроники: функциональная электроника, интегральная электроника, биоэлектроника. Основные электронные приборы и их классы. Классификация изделий электроники. Основные понятия в области структур полупроводников.

2.2 Тема №2 «Полупроводниковые диоды и специальные конструкции полупроводников» (4 часа).

Полупроводниковые диоды. Характеристики диодов. Виды диодов: выпрямительные диоды и стабилитроны, высокочастотные диоды и импульсные диоды, варикапы и диоды Шоттки, туннельные диоды. Оптоэлектронные приборы. Светодиоды. Фотодиод. Фоторезистор. Оптрон.

2.3 Тема №3 «Полупроводниковые транзисторы и тиристоры» (4 часа).

Транзисторы. Определение транзистора. Виды структур транзисторов. Биполярный транзистор. Понятие биполярного транзистора, его структура, схема, принцип работы. Режимы работы транзистора. Схема подключения с общим эмиттером: принцип работы, уравнения, входные и выходные характеристики. h -параметры транзистора. Различные схемы подключения транзистора. Классификация транзисторов и их маркировка. Полевой транзистор. Виды полевых транзисторов. Структурная схема. Принцип работы. Схемы включения. Основные параметры полевых транзисторов. Области применения. Тиристоры. Основное свойство тиристора. Структурная схема, вольтамперная характеристика. Управляемые и неуправляемые тиристоры. Коэффициент усиления по мощности.

2.4 Тема №4 «Выпрямители» (4 часа).

Общие сведения о выпрямителях. Структурная схема выпрямителя. Классификация выпрямителей. Основные параметры выпрямителей. Однофазные выпрямители. Однополупериодная схема выпрямителя. Мостовая схема двухполупериодного выпрямителя.

2.5 Тема №5 Фильтры, стабилизаторы напряжения и тока (4 часа).

Фильтры. Сглаживающие фильтры. Емкостный фильтр. Одноэлементный L-фильтр. Активные фильтры. 2. Стабилизаторы напряжения и тока. Компенсационные стабилизаторы. Параметрические стабилизаторы.

2.6 Тема №6 Усилители (8 часов).

Назначение и классификация усилителей. Характеристики усилителей. Однокаскадный усилитель на биполярном транзисторе. Усилительные каскады на полевых транзисторах. Эмиттерный повторитель. Дифференциальный усилитель. Режимы работы усилительных каскадов. Каскадное соединение усилителей. Усилители мощности на транзисторах. Операционные усилители.

2.7 Тема №7 Импульсные устройства, ограничители уровня и ключи (4 часа).

Общие понятия: импульсных устройства и сигналы; цифровые устройства. Параметры импульсов и устройств на их основе. Импульс, перепад напряжения и тока. Идеальные импульсы треугольной и трапецеидальной формы. Реальный импульс. Простейший формирователи импульсов: RC- и LC- цепи. Ограничители уровня. Транзисторный ключ.

2.8 Тема №8 Генераторы (4 часа).

Общие сведения. Автогенератор типа LC. Автогенератор типа RC. Мультивибраторы. Генератор импульсов треугольной формы. Ждущий мультивибратор. Генератор пилообразного напряжения.

Глава 3. Схемотехника (36 часов)

3.1 Тема 1. Основы цифровой техники (2 часа).

Определение цифровых устройств. Арифметические основы работы цифровых устройств. Основы проектирования цифровых устройств: этапы анализа и синтеза. Алгебра логики. Способы задания функций алгебры логики: табличный способ, координатный способ, аналитический способ. Элементарные функции алгебры логики. Полная система логических функций, понятие о базисе.

3.2 Тема 2. Цифровые узлы комбинационного типа (6 часов).

Определение комбинационной схемы. Основные этапы синтеза комбинационных устройств. Дешифратор, шифратор и мультиплексор: определение, таблица истинности, схема. Демльтиплексор. Реализация логических функций на мультиплексоре. Сумматоры и полусумматоры: принцип работы. Одноразрядные и многоразрядные сумматоры. Схемы полувывчитателей и вычитателей. Пороговая ячейка. Компараторы.

3.3 Тема 3. Последовательностные цифровые узлы (6 часов).

Вводные замечания. Определение последовательностных узлов. Временная диаграмма. Общая теория синхронизации. «Гонки» в цифровых устройствах. Борьба с «гонками». Определение RS-триггера. Схема RS-триггера на элементах И-НЕ и ИЛИ-НЕ. Таблица истинности RS-триггера. Асинхронный и синхронный RS-триггер. Двухступенчатый RS-триггер. Определение JK-триггера. Таблица функций возбуждения и перехода JK-триггера. Схема и временная диаграмма JK-триггера. Определение D-триггера. Временная диаграмма и схемы D-триггера на базе других последовательностных цифровых устройств. Определение T-триггера. Установочные входы. Счетный режим. Регистры: параллельный и последовательный.

3.4 Тема 4. Счетчики (2 часа).

Определение счетчика. Модуль или коэффициент счета. Асинхронный двоичный счетчик: схема, принцип работы. Счетчики обратного счета (вычитающие счетчики). Параллельные или синхронные счетчики. Синхронный последовательный счетчик. Счетчики с измененным коэффициентом пересчета.

3.5 Тема 5. Цифровые микросхемы. Общие сведения (2 часа).

Определение интегральных микросхем. Классификация микросхем. Степень интеграции. Логический базис микросхем различных типов. Основные параметры цифровых микросхем. Характеристики цифровых микросхем: динамические и статические.

3.6 Тема 6. Микросхемы ТТЛ. Базовый логический элемент ТТЛ (2 часа).

Основные характеристики серии ТТЛ, особенности микросхем этого типа. Многоэмиттерный транзистор. Базовая схема элемента ТТЛ, принцип работы. Статические и динамические характеристики. Недостатки микросхем ТТЛ.

3.7 Тема 7. Микросхемы ЭСЛ логики (2 часа).

Основные характеристики ЭСЛ технологии. Транзисторный усилительный каскад. Базовый логический элемент серии ЭСЛ, принцип работы. Токовый переключатель, эмиттерный повторитель, источник опорного напряжения в схеме ЭСЛ логики.

3.8 Тема 8. Микросхемы КМОП логики (2 часа).

Особенности структуры КМОП: помехозащищенность, низкая потребляемая мощность, низкое быстродействие. Полевые транзисторы. Инвертор КМОП – базовый логический элемент. Применение КМОП микросхем.

3.9 Тема 9. Сопряжение микросхем (2 часа).

Особенности выходных каскадов цифровых микросхем. Согласование уровней входных и выходных сигналов. Преобразователи уровней сигналов и шинные формирователи. Сопряжение ТТЛ-КМОП, КМОП-ТТЛ. Примеры шинных формирователей.

3.10 Тема 10. Программируемые логические интегральные микросхемы (2 часа).

Основные сведения, классификация и области применения программируемых логических интегральных микросхем (ПЛИС). Структура ПЛИС. Основные классы ПЛИС. Программируемые логические матрицы (ПЛИМ). Схема и принцип работы ПЛИМ. Программируемая матричная логика (ПМЛ). Схема ПМЛ, принцип работы. Базовые матричные кристаллы. Программируемые вентиляционные матрицы.

3.11 Тема 11. Цифровые запоминающие устройства (2 часа).

Общая характеристика запоминающих устройств (ЗУ). Адресные и безадресные ЗУ. Основные параметры ЗУ: информационная емкость, потребляемая мощность, время хранения информации, быстродействие. Структуры запоминающих устройств: одномерные (2D и 2DM); двумерные (3D или матричная организация).

3.12 Тема 12. Устройства аналого-цифрового преобразования сигналов (4 часа).

Цифро-аналоговые преобразователи (ЦАП). Основные параметры ЦАП: разрешающая способность, время установки, погрешность нелинейности. Схема ЦАП с суммированием токов. ЦАП на основе резистивной матрицы R-2R. Аналого-цифровые преобразователи (АЦП). Основные характеристики АЦП: число разрядов, время преобразования, нелинейность. АЦП с параллельным преобразованием входного аналогового сигнала. АЦП с последовательным преобразованием входного сигнала.

1.2. Практические занятия

Глава 1. Электротехника (18 часов)

1.1 Тема №1 «Основные понятия. Электрические цепи постоянного тока» (4 часа).

Примеры расчета цепей переменного тока.

1.2 Тема №2 «Нелинейные и магнитные цепи» (2 час).

Примеры расчета магнитных цепей.

1.3 Тема №3 «Однофазные цепи переменного тока» (4 часа).

Примеры расчета цепей переменного тока.

1.4 Тема №4 «Переходные процессы в электрических цепях. Трехфазные цепи» (4 часа).

Примеры расчета трехфазных цепей переменного тока.

1.5 Тема №5 «Электрические машины» (2 часа).

Примеры расчета машин постоянного тока. Примеры расчета машин переменного тока.

1.6 Тема №6 «Трансформаторы. Электромагнитные устройства» (2 часа).

Примеры расчета электромагнитных устройств. Примеры выбора электрических аппаратов. Примеры расчета трансформаторов. Примеры применения электромагнитных устройств для построения релейно-контакторных схем запуска электрических машин.

Глава 2. Электроника (18 часов)

2.1 Тема №1 «Электроника: введение, основные понятия».

2.2 Тема №2 «Полупроводниковые диоды и специальные конструкции полупроводников» (5 часов).

2.3 Тема №3 «Полупроводниковые транзисторы и тиристоры» (4 часа).

2.4 Тема №4 «Выпрямители»

Примеры расчетов выпрямительных диодов. Примеры расчетов стабилитронов. Примеры расчетов биполярных транзисторов. Примеры расчетов полевых транзисторов.

2.5 Тема №5 Фильтры, стабилизаторы напряжения и тока.

2.6 Тема №6 Усилители (9 часов).

2.7 Тема №7 Импульсные устройства, ограничители уровня и ключи.

2.8 Тема №8 Генераторы.

Примеры расчетов усилителей.

Глава 3. Схемотехника (18 часов)

3.1 Тема 1. Основы цифровой техники (4 часа).

Арифметические основы работы цифровых устройств. Основы алгебры логики. Основные законы алгебры логики. Способы описания цифровых устройств. Способы перехода от одного способа задания к другому. Элементарные функции алгебры логики. Полная система логических функций. Понятие о базисе.

3.2 Тема 2. Цифровые узлы комбинационного типа (6 часов).

Понятие комбинационной схемы, примеры, синтез. Дешифратор и шифратор. Мультиплексор. Сумматоры и полусумматоры. Многоразрядные сумматоры. Вычитатели. Пороговая ячейка. Компараторы.

3.3 Тема 3. Последовательностные цифровые узлы (6 часов).

Понятие последовательностных устройств. Временная диаграмма. Общая теория синхронизации. Гонки в комбинационных устройствах. Простейший RS-триггер. Синхронный RS-триггер. Двухступенчатый RS-триггер. Триггеры с динамическим управлением. Триггер типа JK. Триггер типа D. Триггер типа T. Регистры.

3.4 Тема 4. Счетчики (2 часа).

Асинхронный двоичный счетчик. Счетчики обратного счета (вычитающие). Синхронные счетчики. Счетчики с произвольным коэффициентом счета.

1.3. Лабораторные работы

Глава 1. Электротехника (18 часов)

1.1 Тема №1 «Основные понятия. Электрические цепи постоянного тока» (4 часа)

Электроизмерительные приборы и измерения. Простейшие линейные электрические цепи постоянного тока. Разветвленная электрическая цепь постоянного тока. Электрическая цепь постоянного тока с двумя источниками электропитания*.

1.2 Тема №2 «Нелинейные и магнитные цепи» (4 часа).

Нелинейная цепь постоянного тока с последовательным соединением элементов. Разветвленная нелинейная электрическая цепь постоянного тока*.

1.3 Тема №3 «Однофазные цепи переменного тока» (4 часа).

Экспериментальное определение параметров элементов цепей переменного тока. Электрическая цепь переменного тока с последовательным и параллельным соединением элементов.

1.4 Тема №4 «Переходные процессы в электрических цепях. Трехфазные цепи» (3 часа).

Трехфазная электрическая цепь при соединении потребителей в треугольник и звезду. Переходные процессы в R-L и R-C цепях*. Трансформаторы*.

1.5 Тема №5 «Электрические машины».

1.6 Тема №6 «Трансформаторы. Электромагнитные устройства» (3 часа).

Глава 2. Электроника (18 часов)

2.1 Тема №1 «Электроника: введение, основные понятия» (2 часа).

Исследование диодов.

2.2 Тема №2 «Полупроводниковые диоды и специальные конструкции полупроводников» (2 часа).

2.3 Тема №3 «Полупроводниковые транзисторы и тиристоры» (2 часа).

Исследование биполярного транзистора. Исследование полевого транзистора*. Исследование тиристоров.

2.4 Тема №4 «Выпрямители» (2 часа)

Исследование однополупериодного неуправляемого выпрямителя. Исследование однополупериодного управляемого выпрямителя*. Исследование однофазной мостовой схемы выпрямления. Исследование трехфазных схем выпрямления*.

2.5 Тема №5 Фильтры, стабилизаторы напряжения и тока (2 часа).

Исследование интегратора и активного фильтра. Исследование сглаживающих фильтров*. Исследование параметрического стабилизатора напряжения*.

2.6 Тема №6 Усилители (4 часа).

Исследование усилительного каскада на биполярном транзисторе. Исследование усилительного каскада на полевом транзисторе*. Исследование инвертирующего и не инвертирующего усилителя.

2.7 Тема №7 Импульсные устройства, ограничители уровня и ключи (2 часа).

Исследование работы биполярного транзистора в ключевом режиме при различных видах нагрузки. Исследование работы полевого транзистора в ключевом режиме при различных видах нагрузки*.

2.8 Тема №8 Генераторы (2 часа).

Исследование компараторов. Исследование мультивибраторов*

Глава 3. Схемотехника (36 часов)

3.1 Тема 1. Основы цифровой техники (8 часов).

Изучение базовых возможностей среды моделирования. Изучение логических схем и функций.

3.2 Тема 2. Цифровые узлы комбинационного типа (12 часов).

Изучение работы шифраторов, дешифраторов и мультиплексоров.

3.3 Тема 3. Последовательностные цифровые узлы (12 часов).

Изучение работы триггеров. Изучение сумматоров, полусумматоров, регистров.

3.4 Тема 4. Счетчики (4 часа).

Изучение счетчиков.

2. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

2.1. Методические указания по освоению дисциплины

Изучение дисциплины студентами должно начинаться со знакомства с рабочей программой и выдаваемыми материалами: методическими пособиями и литературой в электронном формате, а также учебно-методическим комплексом для студентов (далее УМКД, формируемого на основе сборника учебно-методических материалов по дисциплине), в случае необходимости. УМКД это отдельно сформированный документ в электронном варианте содержащий абсолютно все необходимое, включая рабочую программу, методические рекомендации, пояснения по работе с программным обеспечением и специальными средствами и стендами, задания для самостоятельного выполнения и пр.

Весь материал предварительно размещается на сайте и постоянно доступен, в том числе и в твердой копии на кафедре.

На первом занятии студенты обзорно знакомятся с планом проведения и методикой занятий, узнают конкретные требования к изучению дисциплины, им даются рекомендации, представленные здесь.

Студентам необходимо помнить, что качественная текущая подготовка и проработка материала является залогом успешного освоения предмета.

Студентам рекомендуется за один день до проведения соответствующих занятий познакомиться с планом работ, изучить рассматриваемые вопросы по рекомендуемой литературе и выполнить пункты самостоятельной работы.

После проведения занятий, в этот же день, требуется повторить изученные теоретические положения, выполнить необходимые расчеты и примеры домашних заданий (по факту выдачи). При повторении материала желательно охватывать ранее рассмотренные вопросы; сначала более детально, затем ближе к концу семестра – обзорно.

Такая методика позволяет глубоко проработать все вопросы и не оставляет пробелы в знаниях. В итоге, к окончанию семестра, имеющиеся комплексные знания потребуются лишь освежить в памяти за 2-3 дня до итогового контроля (зачета или экзамена).

Для подготовки к занятиям следует пользоваться литературой, указанной в разделе 10 рабочей программы, в том числе и электронным комплектом материалов. Для общей теоретической подготовки рекомендуется использовать источники п.10.1; при этом вспомогательными источниками п.10.2 необходимо пользоваться по мере необходимости. Для подготовки к практическим, самостоятельным и лабораторным работам рекомендуется использовать пособия, указанные ниже.

Привила проведения аттестации по результатам освоения дисциплины представлены в п.9 рабочей программы. Необходимо помнить при этом, что основой аттестационной оценки является результаты выполнения индивидуальных работ: лабораторных, домашних заданий, РГР – самостоятельно и с полным осознанием выполненных процедур и их результатов.

2.2. Методические указания к лабораторным работам

Лабораторные работы выполняются по методическим пособиям к имеющимся стендам, см. п.2 и п.3 перечня учебно-методического обеспечения раздела 7 рабочей программы):

а) Бородянка В.Н., Непопалов В.Н., Шулдяков В.В. Электрические цепи: Методические указания к проведению лабораторных работ на минимодульном стенде «Электрические цепи и основы электроники». – Челябинск: Учтех-Профи, 2016;

а') Бородянка В.Н., Гельман М.В., Непопалов В.Н., Шулдяков В.В. Электрические цепи и основы электроники: Методические указания к проведению лабораторных работ на минимодульной части стенда «Электротехника и основы электроники». – Челябинск: Учтех-Профи, 2016;

б) Гельман М.В., Шулдяков В.В., Верцюх А.С. Основы электроники: Методические указания к проведению лабораторных работ по электронике на минимодульном стенде «Электрические цепи и основы электроники». – Челябинск: Учтех-Профи, 2016;

б') Гельман М.В., Шулдяков В.В., Кучурин А.А., Деев А.С. Электрические цепи и основы электроники: Методические указания к проведению лабораторных работ на минимодульной части стенда «Электротехника и основы электроники». – Челябинск: Учтех-Профи, 2016.

в) Теличенко Д.А., Бушманов А.В. Схемотехника. Лабораторный практикум. Благовещенск: Амурский гос. ун-т, 2006, 93 с.

При этом пособия «а» и «б» являются основными (на них делается ссылка ниже, в таблице распределения работ), а отмеченные «'» – вспомогательные (используемые при проведении компьютеризированных занятий).

Преподавателем до проведения занятий формулируются конкретные требования и порядок выполнения и защиты работ.

Возможно несколько вариантов проведения и защиты работ (конкретный выбор закрепляется за преподавателем, ведущим лабораторные работы и доводится до студентов не позднее второго занятия).

Вне зависимости от варианта проведения лабораторных работ студенты делятся на группы (количество которых определяется по доступными на текущий момент стендам и в соответствии с тем чтобы максимальное число студентов в группе не мешало выполнению работы; рекомендуются группы до 5 человек; рекомендуется группы формировать так что бы уровень подготовки студентов в одной группе был одинаков – определяется, например, по результатам входного тестирования).

Вариант А (базовый). В соответствии с п.6.3 рабочей программы и таблицей, представленной ниже на каждую тему, выделяется отведенное количество часов. Здесь на каждом занятии студенты как выполняют саму работу, так и защищают ее. Данный вариант предполагает: предварительную подготовку заготовок отчетов и выполнение всех заданий непосредственно на самом занятии, одновременно с защитой самой работы. В этом случае вначале занятий преподавателем проверяется подготовка группы к выполнению работы (опрос по теории, просмотр необходимых заготовок; в случае отсутствия подготовки группа или отдельные лица отстраняются от выполнения работы). Затем осуществляется допуск к работе и выполнение работы группой и заполнение заготовки отчетов. В конце занятия, осуществляется защита работы группой или отдельными лицами. Защита предусматривает обсуждение соответствующей теории, ответы на контрольные вопросы, проверку отчетов и выполненных заданий, проверку выводов и глубины усвоения материала в конкретной теме. Предпочтительнее осуществлять индивидуальный допуск и защиту работ.

Вариант Б (усовершенствованный). На всех занятиях отдельно выделяются чередующиеся циклы снятия (выполнения) и защиты работ. При этом в рамках одного занятия (пары – академических 2 часа) проводится только один цикл – снятие или защита работы. В этом случае предусматривается объединение в одно занятие нескольких тем. Порядок допуска и защиты идентичен варианту А.

Вариант В (модифицированный). В данном случае аналогично варианту Б имеются циклы выполнения работ (снятие и защита). Однако здесь в рамках одного занятия отдельные группы снимают работу, другие – защищают. Порядок групп и вида выполняемых ими работ определяется преподавателем.

Примечание: выполнение работ так же предполагает, что для определенной группы студентов возможна выдача дополнительных тем – отмеченных *; либо наоборот – сокращения объема проводимых исследований для определенного контингента обучающихся.

Вне зависимости от выбранного варианта проведения лабораторных занятий студентам предварительно предлагается самостоятельно ознакомиться с краткой теорией к каж-

дой выполняемой работе и выполнять задания самостоятельно. Это даст необходимую теоретическую основу и облегчит выполнение работ, позволив на занятии уделить большее внимание вопросам, обычно вызывающим наибольшее затруднение. Аналогично так же для каждой темы предполагается проведение трех этапов – допуска, выполнения и защиты.

Допуск к работе и ее выполнение:

- преподавателем осуществляется допуск к работе, на котором проверяется: знание студентов краткой теории по выполняемой работе; наличие заготовки отчета;
- выясняются вопросы, вызвавшие у студентов затруднения, даются необходимые пояснения по ним;
- даются комментарии по методике проведения экспериментов;
- контролируется выполнение работы каждой бригады и всеми студентами в целом.

Работа считается снятой, если: студенты одной бригады, и каждый в отдельности, выполнили все задания работы, согласно вариантам; зафиксировали снятые данные в заготовку отчета.

При выполнении работ на стендах так же обязательным этапом является после допуска к работе, до подачи питания – демонстрация собранных схем преподавателю для проверки правильности и выполнения условий безопасности.

Защита работы:

- преподавателем, каждому из студентов, выдается произвольный вариант необходимый для выполнения упражнений (если предусмотрено);
- каждый из студентов лично выполняет упражнения (если предусмотрено), согласно выданному на данной работе варианту (в случае если работа не защищается на одном занятии, варианты на упражнения изменяются);
- преподавателем проверяется личный отчет каждого из студентов, задаются вопросы по ходу выполнения работы; задаются контрольные вопросы (список вопросов приведен в лабораторном практикуме к каждой работе).

Работа считается защищенной, если: правильно выполнен отчет по работе; даны корректные ответы на вопросы преподавателя; правильно выполнены упражнения (если предусмотрены).

Представляемый отчет (после успешной защиты работы отчет сдается преподавателю и сохраняется до успешной сдачи студентом экзамена) должен удовлетворять следующим требованиям:

- отчет выполняется на одной стороне белого листа формата А4 в рукописной или печатной форме, в варианте возможном для прочтения (почерк, шрифт, размер, интервал);
- титульный лист должен содержать следующие сведения: название предмета; тему работы, с ее порядковым номером; фамилию студента, выполнившего работу с указанием номера группы и вариантов (личного и на бригаду); фамилию преподавателя, осуществляющего прием работы; дату снятия и защиты (дата защиты заполняется преподавателем лично).
- основная часть работы должна содержать следующие сведения: краткую теорию; цель работы; элементы, приборы и инструменты, используемые в работе; ход работы с необходимыми рисунками, схемами, таблицами, формулами и пояснениями.

В случае если студент не снял или не защитил работу, он может приступить к следующей работе. Ликвидировать возникшую задолженность можно на оставшемся времени после проведения очередной лабораторной работы или на дополнительных занятиях. Если ликвидировать задолженность по лабораторным работам в течение семестра не удастся, студент является на экзамен с отчетами по несданным работам, где ему до ответа на экзаменационные вопросы дается возможность защитить каждую работу.

План проведения занятий с указанием последовательности изучаемых тем, объема часов, представлен в виде таблиц. При этом в последней колонке представлены ссылки на номера работ лабораторных пособий. Проведение работ предполагает гибкое распределе-

ние тем, с учетом успехов студентов при освоении дисциплины, и как было указано выше может гибко меняться как в одну сторону, так и в другую – это не уменьшит объема полученных знаний, так как соответствующие темы отрабатываются на лекциях и практиках.

Методическое обеспечение данного вида работ представлено в приложении А.

<i>Глава 1. Электротехника (18 часов)</i>			
№ п/п	Наименование темы	Содержание темы	Номер темы по пособиям
1	Тема №1 «Основные понятия. Электрические цепи постоянного тока» (4 часа)	Электроизмерительные приборы и измерения	(«а», 1-1)
		Простейшие линейные электрические цепи постоянного тока.	(«а», 1-2)
		Разветвленная электрическая цепь постоянного тока.	(«а», 1-3)
		Электрическая цепь постоянного тока с двумя источниками электропитания*.	(«а», 1-4)
2	Тема №2 «Нелинейные и магнитные цепи» (4 часа)	Нелинейная цепь постоянного тока с последовательным соединением элементов.	(«а», 1-5)
		Разветвленная нелинейная электрическая цепь постоянного тока*.	(«а», 1-6)
3	Тема №3 «Однофазные цепи переменного тока» (4 часа)	Экспериментальное определение параметров элементов цепей переменного тока.	(«а», 2-1)
		Электрическая цепь переменного тока с последовательным и параллельным соединением элементов	(«а», 2-2); («а», 2-3)
4	Тема №4 «Переходные процессы в электрических цепях. Трехфазные цепи» (3 часа)	Трехфазная электрическая цепь при соединении потребителей в треугольник и звезду.	(«а», 2-4); («а», 2-5)
		Переходные процессы в R-L и R-C цепях*.	(«а», 2-7)
5	Тема №6 «Трансформаторы. Электромагнитные устройства» (3 часа)	Трансформаторы*.	(«а», 2-9)
<i>Глава 2. Электроника (18 часов)</i>			
6	Тема №1 «Электроника: введение, основные понятия» (2 часа)		(«б», 1)
7	Тема №2 «Полупроводниковые диоды и специальные конструкции полупроводников» (2 часа)	Исследование диодов.	
8	Тема №3 «Полупроводниковые транзисторы и тиристоры» (2 час)	Исследование биполярного транзистора.	(«б», 2)
		Исследование полевого транзистора*.	(«б», 5)
		Исследование тиристоров.	(«б», 8)
9	Тема №4 «Выпрямители» (2 часа)	Исследование однополупериодного неуправляемого выпрямителя.	(«б», 15)
		Исследование однополупериодного управляемого выпрямителя*.	(«б», 16)

		Исследование однофазной мостовой схемы выпрямления.	(«б», 17)
		Исследование трехфазных схем выпрямления*.	(«б», 18)
10	Тема №5 Фильтры, стабилизаторы напряжения и тока (2 часа)	Исследование интегратора и активного фильтра.	(«б», 11)
		Исследование сглаживающих фильтров*.	(«б», 19)
		Исследование параметрического стабилизатора напряжения*.	(«б», 20)
11	Тема №6 Усилители (4 часа)	Исследование усилительного каскада на биполярном транзисторе.	(«б», 3)
		Исследование усилительного каскада на полевом транзисторе*.	(«б», 6)
		Исследование инвертирующего и неинвертирующего усилителя	(«б», 10)
12	Тема №7 Импульсные устройства, ограничители уровня и ключи (2 часа)	Исследование работы биполярного транзистора в ключевом режиме при различных видах нагрузки.	(«б», 4)
		Исследование работы полевого транзистора в ключевом режиме при различных видах нагрузки*.	(«б», 7)
13	Тема №8 Генераторы (2 час)	Исследование компараторов	(«б», 12)
		Исследование мультивибраторов*	(«б», 13)
<i>Глава 3. Электроника (36 часов)</i>			
14	Тема 1. Основы цифровой техники (8 часов)	Изучение базовых возможностей среды моделирования. Изучение логических схем и функций.	(«в», 1)
15	Тема 2. Цифровые узлы комбинационного типа (12 часов)	Изучение работы шифраторов, дешифраторов и мультиплексоров.	(«в», 2)
16	Тема 3. Последовательностные цифровые узлы (12 часов)	Изучение работы триггеров.	(«в», 3)
		Изучение сумматоров, полусумматоров, регистров.	(«в», 4)
17	Тема 4. Счетчики (4 часа)	Изучение счетчиков.	(«в», 4)

2.3. Методические указания к практическим работам

Предварительно студенты знакомятся со списком всех изучаемых тем, рассматриваемых на практических занятиях. Характер вопросов, прорабатываемых здесь, связан с лекционным курсом и графиком самостоятельной работы. Большая часть времени уделяется решению конкретных задач (аналогичные по тематике задачи использованы в качестве экзаменационного вопроса). Эти же задачи частично входят в домашние задания (РГР).

Задачи решаются студентами самостоятельно. При этом один из студентов вызывается к доске, решает поставленную задачу. Преподавателем контролируется не только правильность решения, но и даются: практические рекомендации по выполнению подобных заданий, применимость рассматриваемых тем к практике, а также предлагается другим студентам предложить альтернативные способы решения. Каждому вышедшему к доске, а также студентам, принявшим участие в обсуждении, выставляется оценка.

План проведения практических занятий, включая темы, объем часов представлен выше.

Методическое обеспечение данного вида работ представлено в приложении Б.

2.4. Методические указания по самостоятельной работе

Самостоятельная работа предполагает проработку вопросов теории и практики в соответствии с учебной программой.

Основная часть работы здесь связана с подготовкой к лабораторным и практическим работам – см выше, а также выполнении РГР.

Индивидуальные практические задания (РГР) предусмотрены только для главы 3 «Схемотехника». Сами задания изложены в формируемом отдельно УМКД или базируются на имеющемся в свободном доступе методическом обеспечении (представлены так же в приложении Б). Все задания РГР выполняются письменно персонально каждым студентом и оформляются в соответствии с действующими стандартами АмГУ на листах белой бумаги формата А4 (рукописным или печатным способом) в варианте возможным для прочтения.

В общем случае РГР состоит из следующих разделов: титульный лист (со всеми данными касающимися выполнившего работу студента, его варианта задания и пр.); задания к работе; решение соответствующих заданий (включая все необходимые выкладки и пояснения по их решениям, расчеты, доказательства и построения, графические иллюстрации, таблицы и пр.).

Защита РГР предполагает индивидуальную беседу со студентом, где выясняется уровень освоения материала, аутентичность работы с точки зрения авторства. Защита работы проводится в рамках итоговой аттестации по дисциплине либо на консультациях перед экзаменом, либо на самом экзамене.

Подготовка к защите и выполнение работы предполагает выполнение заданий осуществляемых в рамках практических работ по главе 3 (см. выше) и содержит только те задания, которые студенты выполняют на практиках; аналогичные задания имеются в экзаменационных билетах.

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

ОГЛАВЛЕНИЕ

1. Описание стенда и общие рекомендации по осуществлению лабораторного эксперимента	4
1.1. Назначение и состав стенда	4
1.2. Описание элементов стенда	4
1.3. Цель лабораторных занятий	9
1.4. Подготовка к лабораторному занятию	9
1.5. Проведение эксперимента	10
1.6. Обработка результатов и оформление отчета	11
2.1. Электрические цепи постоянного тока	13
Работа № 1-1. Электроизмерительные приборы и измерения	19
Работа № 1-2. Простейшие линейные электрические цепи постоянного тока	21
Работа № 1-3. Разветвленная линейная электрическая цепь постоянного тока	23
Работа № 1-4. Электрическая цепь постоянного тока с двумя источниками электропитания	25
Работа № 1-5. Нелинейная цепь постоянного тока с последовательным соединением элементов	27
Работа № 1-6. Разветвленная нелинейная электрическая цепь постоянного тока	30
2.2. Электрические цепи переменного тока	34
Работа № 2-1. Экспериментальное определение параметров элементов цепей переменного тока	47
Работа № 2-2. Электрическая цепь переменного тока с последовательным соединением элементов	49
Работа № 2-3. Электрическая цепь переменного тока с параллельным соединением элементов	52
Работа № 2-4. Трехфазная электрическая цепь при соединении потребителей по схеме «звезда»	55
Работа № 2-5. Трехфазная электрическая цепь при соединении потребителей по схеме «треугольник»	58
Работа № 2-6. Нелинейная цепь переменного тока	61
Работа № 2-7. Переходные процессы в $R-L$ и $R-C$ цепи	64
Работа № 2-8. Разряд конденсатора C на цепь $R-L$	68
Работа № 2-9. Однофазный трансформатор	73

1. ОПИСАНИЕ СТЕНДА И ОБЩИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ОСУЩЕСТВЛЕНИЮ ЛАБОРАТОРНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА

1.1. Назначение и состав стенда

Методические указания предназначены для проведения лабораторно-практических занятий по электрическим цепям.

Для проведения лабораторных работ по электрическим цепям и основам электроники используются:

- модуль питания, обеспечивающий подачу однофазного напряжения 220 В, низковольтного трехфазного переменного напряжения ~ 9 В (А, В, С) и низковольтных напряжений питания ± 15 В, а также защищающий стенд от короткого замыкания;

- модуль функционального генератора, обеспечивающего подачу измерительных сигналов различной формы к исследуемому устройству;

- цифровой универсальный измеритель для измерения параметров электрической цепи;

- модуль мультиметров, с помощью которого выполняются измерения значений тока и напряжения в цепях постоянного и переменного тока, а также величины сопротивлений;

- наборное поле с измерительными приборами служит для установки минимодулей. После сборки соответствующей схемы исследуются электрические и электронные цепи. Измерительные приборы наборного поля позволяют выполнять измерения стрелочными приборами напряжений и токов в электрических и электронных цепях;

- комплекты лабораторных минимодулей, позволяющие набрать схемы для проведения лабораторных работ по электрическим цепям и электронике.

1.2. Описание элементов стенда

Технические характеристики модулей приведены в техническом описании стенда. Краткое описание модулей, используемых при проведении лабораторных работ по электрическим цепям и электронике, приведено ниже.

1.2.1. Модуль питания

Внешний вид лицевой панели модуля представлен на рис. 1. Автоматический выключатель QF подает напряжение питания на все модули стенда. Выключатель «Сеть» служит для включения только модуля питания, при этом на выходные гнезда подаются: постоянное напряжение ± 15 В, постоянное регулируемое напряжение $+0...12$ В и линейное трехфазное переменное напряжение ~ 15 В. Источники постоянного и трехфазного переменного напряжения содержат встроенную электронную защиту от перегрузок и коротких замыканий и световую индикацию рабочего режима зеленого цвета.

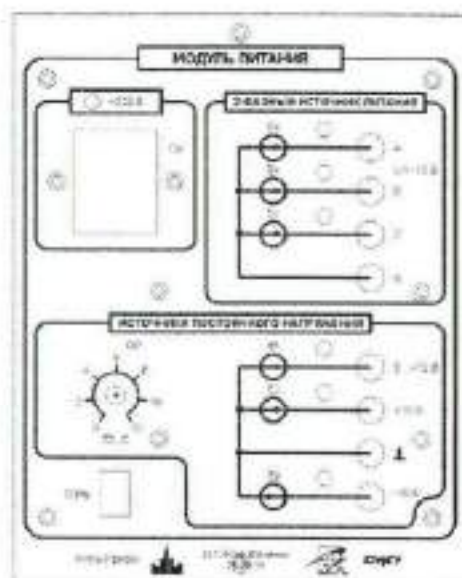


Рис. 1. Модуль питания

Характеристики источников постоянного и переменного напряжения приведены в таблицах 1 и 2 соответственно.

Таблица 1

$=U_{\text{вых.}} \text{ В}$	$=I_{\text{вых.}} \text{ А}$
0...+12	0 – 0,5
+15	0 – 0,3
-15	0 – 0,3

Таблица 2

$\sim U, \text{ В}$	$\sim I_{\text{вых.}} \text{ мА}$
A $\sim 9 \pm 10\%$	0 - 250
B $\sim 9 \pm 10\%$	0 - 250
C $\sim 9 \pm 10\%$	0 - 250

1.2.2. Модуль функционального генератора

Модуль функционального генератора (рис. 2) предназначен для получения измерительных сигналов синусоидальной или прямоугольной форм с плавно регулируемой амплитудой и частотой.

Форма выходного сигнала устанавливается с помощью тумблера «Форма». Установка поддиапазона генерируемой частоты выполняется с помощью переключателя «Множитель», плавная установка частоты в поддиапазоне – с помощью регулятора «Частота». Плавная регулировка величины выходного напряжения производится регулятором «Амплитуда».

Индикация в модуле выполнена:

- текущей частоты на 4-сегментном индикаторе;
- поддиапазона «Гц» и «кГц» с помощью светодиодов в левой части индикатора.

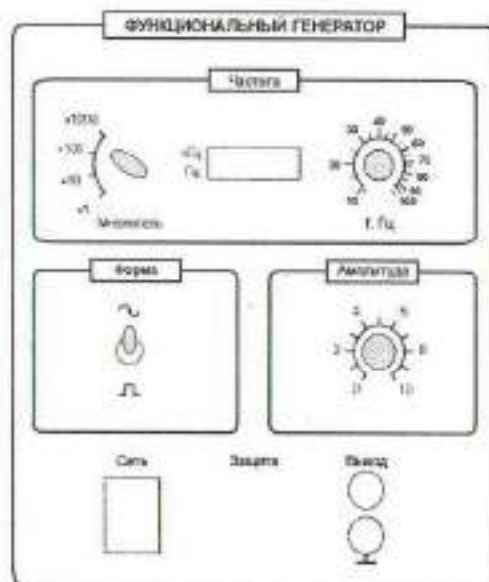


Рис. 2. Модуль функционального генератора

1.2.3. Модуль мультиметров

Модуль предназначен для выполнения измерений напряжений, токов, сопротивлений. Внешний вид модуля приведен на рис. 3.

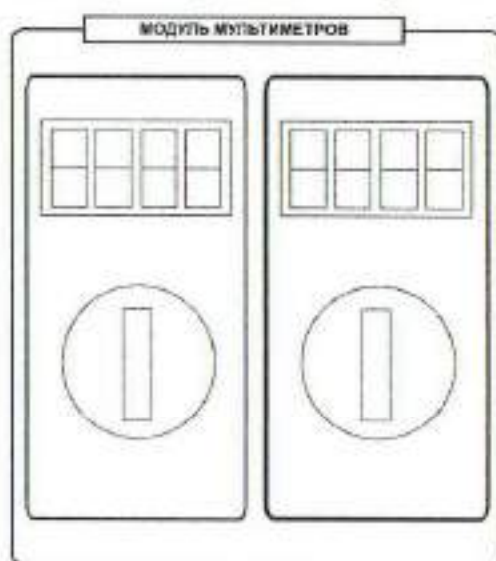


Рис. 3. Модуль мультиметров

1.2.4. Измеритель мощности

Предназначен для измерения параметров электрической цепи:

- действующего значения напряжения (True RMS) в поддиапазонах 0...30 В, 0...300 В;
- действующего значения тока (True RMS) в поддиапазонах 0...0,2 А, 0...2А;
- активной мощности в диапазоне 0...600 Вт;
- реактивной мощности в диапазоне 0...600 ВАр;
- полной мощности в диапазоне 0...600 ВА;
- частоты в диапазоне 5...70 Гц;
- $\cos\varphi$;
- угла сдвига фаз между током и напряжением φ .

На рис. 4. представлена лицевая панель прибора и, условно, схема подключения в лабораторном стенде (показано пунктирными линиями). Прибор содержит:

- гнезда подачи входного измеряемого сигнала (генератора) А и N и гнезда подключения потребителя (нагрузки) А1 и N. Шунт для измерения тока нагрузки подключен между гнездами А и А1;
- индикатор жидкокристаллический четырехстрочный для вывода информации;
- выключатель «Сеть» для подключения питания прибора;
- тумблер «U» изменения поддиапазона измерения напряжения;

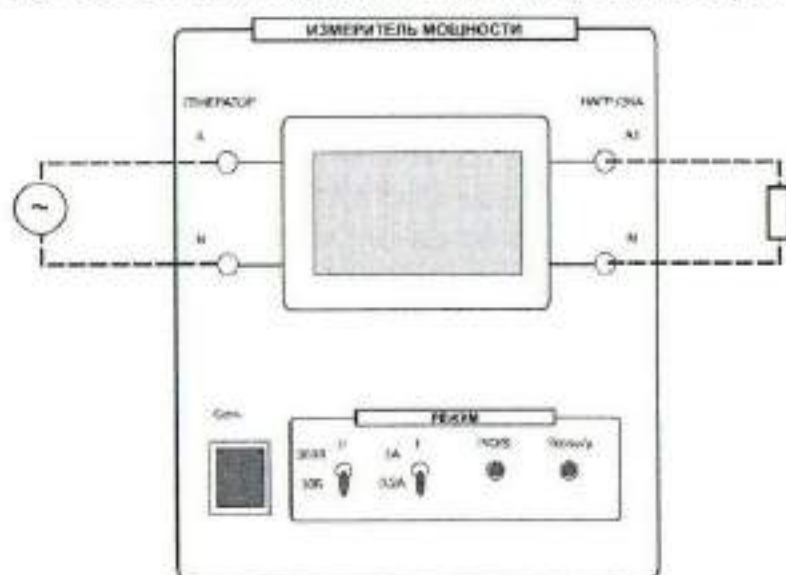


Рис. 4. Схема подключения измерителя мощности

- тумблер «I» изменения поддиапазона измерения тока;
- кнопка «P/Q/S» изменения вывода информации в третьей строке индикатора, соответственно, активной, реактивной и полной мощности;
- кнопка «f/cosφ/φ» изменения вывода информации в четвертой строке индикатора, соответственно, частоты, косинуса и угла сдвига фаз между током и напряжением.

Последовательность выполнения измерений:

- подключить внешние цепи измерения;
- выбрать необходимые поддиапазоны напряжения и тока;
- включить тумблер «Сеть»;
- для изменения вывода требуемого параметра в третьей или четвертой строках индикатора необходимо нажать на 1..2 секунды кнопку «P/Q/S» или «f/cosφ/φ», соответственно.

Примечание:

1. При одновременном нажатии и удержании в течение 1..2 секунд кнопок «P/Q/S» и «f/cosφ/φ» измеритель переходит в режим измерения параметров постоянного тока. Повторное одновременное нажатие этих кнопок возвращает в режим измерения переменного тока.

2. Изменение схемы соединения подключения прибора и лабораторной установки выполнять при выключенном питании прибора. В противном случае возможны изменения показаний прибора, а также возникновение нарушений в работе индикатора прибора.

1.2.5. Наборное поле с измерительными приборами

Наборное поле служит для установки минимодулей при сборке исследуемых электрических и электронных цепей. Гнезда соединены согласно мнемосхеме (рис. 5).

Для измерения токов в электрических и электронных цепях на наборном поле установлены стрелочные измерительные приборы: три миллиамперметра переменного тока типа Ц42302 с пределом измерений 100 мА, три миллиамперметра постоянного тока типа М42301 с пределом измерений 100 мА у двух приборов и 1 мА у одного прибора.

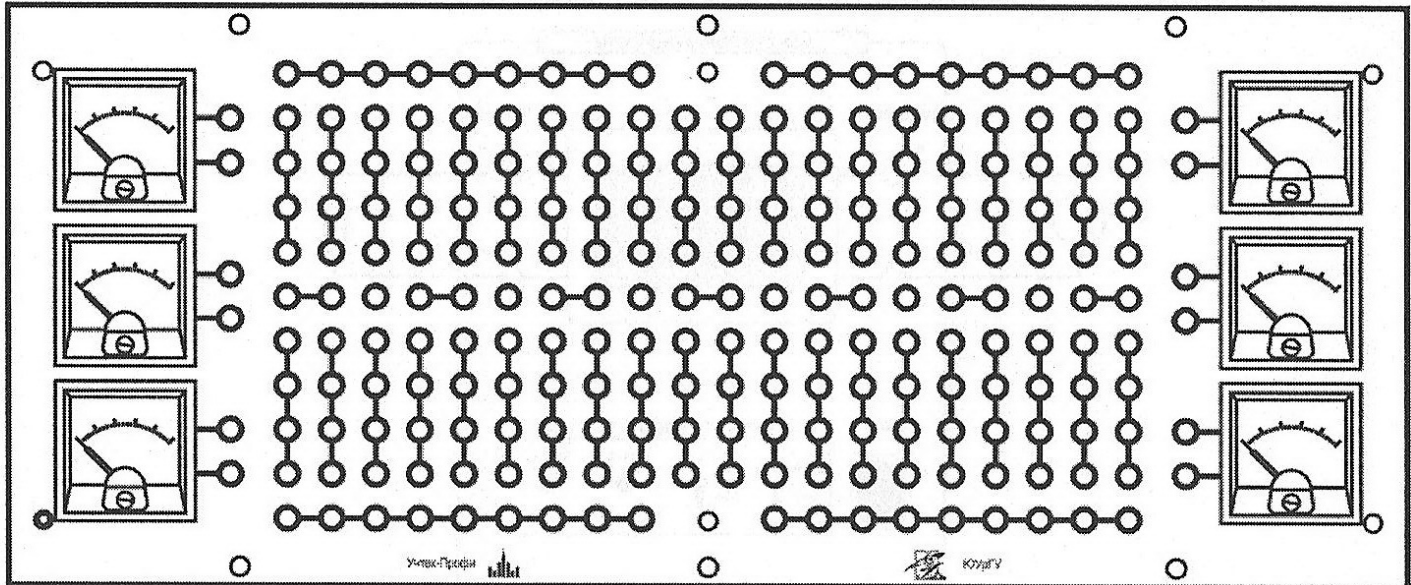


Рис. 5. Наборное поле

1.2.6. Состав комплекта минимодулей:

№	Наименование	Элемент	кол-во, шт.
1.	Диод выпрямительный	1N4007	1
2.	Двуханодный стабилитрон	КС162А	1
3.	Резисторы С2-33, мощность не менее 1 Вт	22 Ом	1
4.		47 Ом	1
5.		68 Ом	1
6.		100 Ом	1
7.		120 Ом	1
8.		150 Ом	3
9.		330 Ом	1
10.		680 Ом	1
11.		1 кОм	1
12.	Потенциометры	ППБ-2А-150 Ом	1
13.	Конденсатор переключаемый	0 ... 80 мкФ	1
14.	Дроссель	200 мГн	1
15.	Катушка	20 мГн без зазора	1
16.	Трансформатор 12,6В/6,3В	12,6/6,3В	1
17.	Нелинейный элемент	BXZ55c3v6+BXZ55c6v8	1
18.	Тумблер	МТ1-1	3
19.	Лампа накаливания	А12 – 1.2 W2*4,6d	1

1.3. Цель лабораторных занятий

Важнейшей частью курса «Электротехника и основы электроники» является лабораторный практикум. Чтобы знать электротехнику и основы электроники, необходимо научиться самостоятельно решать разнообразные электротехнические задачи. Решение этих задач может быть получено, как известно, аналитическим или экспериментальным методом. Экспериментальные методы решения изучаются на лабораторных занятиях.

Лабораторные занятия дают возможность:

- закрепить на практике теоретические сведения о работе различных электротехнических и электронных устройств;
- подробно ознакомиться с устройством и характеристиками наиболее важных электротехнических и электронных приборов, аппаратов и машин, составляющих предмет лабораторной практики;
- помочь овладеть практическими способами управления и настройки электротехнических устройств на заданный режим;
- получить практические навыки в проведении измерений электрических величин, пользовании различными измерительными приборами и аппаратами, чтении электрических схем, построении графиков и характеристик;
- научить технике проведения экспериментального исследования физических моделей или промышленных образцов электротехнических и электронных устройств;
- выработать умение рассуждать о рабочих свойствах и степени пригодности исследованных электротехнических устройств для решения тех или иных задач.

В соответствии с государственными образовательными стандартами по курсам электротехники и основы электроники лабораторные работы должны выполняться по разделам электрические цепи постоянного и переменного тока, трехфазные электрические цепи, трансформаторы и электрические машины постоянного и переменного тока, основы электроники.

1.4. Подготовка к лабораторному занятию

Экспериментальные задачи, предлагаемые на лабораторных занятиях, могут быть успешно решены в отведенное в соответствии с расписанием занятий время только при условии тщательной предварительной подготовки к каждой из них.

Студент, в первую очередь, должен твердо уяснить цель задания и четко представлять назначение устройства, его условное обозначение на электрических схемах, принцип действия и основные характеристики.

Затем, по материалам руководства необходимо ознакомиться с основными параметрами объекта исследования, источников питания и других используемых в стенде преобразователей и пускорегулирующих аппаратов. Эти сведения нужны для определения диапазона возможного изменения величин и необходимого режима работы объекта исследования. Требуемые расчетные соотношения и формулы следует найти и записать самостоятельно на основе изучения учебных пособий.

Особое внимание следует уделить измерительным приборам. В соответствии

с каждым этапом рабочего задания необходимо проанализировать схему соединений, состоящую из элементов объекта исследования и электроизмерительных приборов. При этом рекомендуется заготовить таблицы для записи показаний приборов.

Одним из важных этапов подготовки к выполнению лабораторной работы является изучение технологии проведения эксперимента, используя методические рекомендации к выполнению рабочего задания.

Завершает этап подготовки к выполнению лабораторной работы составление ответов на контрольные вопросы, приведенные в методических указаниях.

1.5. Проведение эксперимента

Получив разрешение преподавателя на проведение лабораторного исследования, следует немедленно приступить к сборке электрических цепей на рабочем месте. Рекомендуется придерживаться следующего порядка, значительно облегчающего работу по сборке и избавляющего от многих ошибок при соединениях. Общим правилом является соединение сначала участков цепи с последовательным соединением элементов и приборов, а затем параллельных ветвей как объекта исследования, так и приборов.

Этот прием позволяет сознательно подойти к оценке назначения каждого элемента цепи тем самым правильно осуществить её сборку.

Одновременно со сборкой цепи надо произвести маркировку измерительных приборов в соответствии с их условными обозначениями на рабочей схеме соединений. Маркировку приборов можно выполнить с помощью бумажных бирок, которые заготавливает учащийся, выполняющий лабораторное исследование.

Во избежание возможного возникновения больших токов в собранной цепи элементы регулирования потенциометров необходимо устанавливать в положение, соответствующее минимуму напряжения на выходе.

Собранную цепь следует обязательно показать для проверки преподавателю. Только с его разрешения можно включить источник питания и произвести предварительное опробование работы цепи, чтобы убедиться в возможности проведения опыта при заданных пределах измерения величин. Нельзя приступать к измерениям, не будучи совершенно уверенным, что цепь собрана правильно.

Если при испытании цепи постоянного тока стрелка измерительного прибора уходит за пределы шкалы в обратном направлении, надо отключить цепь и переключить подходящие к прибору провода.

При снятии характеристик недопустимо превышать номинальные значения токов и напряжений испытываемого электротехнического устройства, если нет особых указаний в руководстве по лабораторному эксперименту. В случае, если стрелка какого-либо прибора выходит за пределы шкалы, надо немедленно отключить цепь от источника питания, доложить преподавателю или лаборанту и изменить условия эксперимента (уменьшить напряжение питания, увеличить диапазон изменения сопротивления и т.д.).

После предварительного опробования цепи, проверки или оценки диапазона изменения переменного параметра необходимо наметить последовательность отдельных манипуляций и отсчетов, а затем приступить к наблюдениям.

Отсчеты рекомендуется проводить по возможности одновременно по всем приборам. Следует избегать перерыва начатой серии наблюдений и во всех случаях, когда возникает сомнение в правильности полученных наблюдений, их необходимо повторить несколько раз.

Результаты всех первичных наблюдений и отсчетов записывают в таблицу протокола испытаний. Запись отсчетов должна вестись в точном соответствии с показаниями измерительных приборов. Протоколы наблюдений являются единственным документальным следом, остающимся от измерений, поэтому от точной и своевременной фиксации в таблицах результатов отсчета в значительной степени зависит успех экспериментальной работы.

При переходе от одного этапа исследования к другому необходимо каждый раз обращаться к преподавателю за проверкой правильности полученных результатов, которые представляют в виде таблиц или графиков.

К следующему этапу работы разрешается приступить только после проверки и визирования протокола преподавателем.

1.6. Обработка результатов и оформление отчета

Каждый студент самостоятельно должен обрабатывать данные опытов и подготовить отчет по каждой проделанной работе.

В отчете на титульном листе указываются название учебного заведения, кафедры. Номер и наименование работы, фамилия и инициалы студента, выполнившего работу, номер его академической группы.

Отчет должен содержать, паспортные данные объекта исследования, схемы соединения элементов объекта исследования с включенными измерительными приборами, таблицы с записью результатов эксперимента, обработанные осциллограммы, графики зависимостей и векторные диаграммы.

После проведения эксперимента должны быть сделаны основные выводы, полученные в результате исследования.

Каждая схема должна быть сопровождена соответствующей таблицей записей результатов измерений и графиком, иллюстрирующим изучаемые зависимости. В таблице обязательно следует указывать, в каких единицах измерены исследуемые величины. Все таблицы необходимо снабдить заголовками, характеризующими проводимый опыт.

На основании результатов измерений проводится их окончательная обработка. Измеренные и вычисленные величины заносятся в соответствующие колонки одной и той же таблицы.

Вычерчивание схем и таблиц рекомендуется производить карандашом обязательно с помощью линейки.

Особое внимание надо уделить графикам зависимостей между величинами, т.к. они являются наглядным результатом работы, графическим ответом на вопросы, поставленные в лабораторной работе.

При построении графиков по осям приводят стандартные буквенные обозначения величин и единиц их измерения, указывают деления с одинаковыми интервалами, соответствующие откладываемым величинам в принятых единицах измерения или в десятичных кратных либо дольных единицах.

Числовые отметки у масштабных делений принято выбирать так, чтобы они составляли $10^{\pm n}$, $2 \cdot 10^{\pm n}$ или $5 \cdot 10^{\pm n}$ от тех единиц, в которых выражены величины, откладываемые по осям. Например, 10 мА; 0,02 Ом; 500 Вт.

При построении графиков вдоль оси абсцисс в выбранном масштабе откладывают независимую переменную. Условное буквенное обозначение этой величины рекомендуется ставить под осью, а наименование единиц измерения либо их десятичных кратных или дольных единиц – после обозначения величины. Вдоль оси ординат масштабные цифры ставят слева от оси, наименование или условное обозначение откладываемых величин – также слева от оси и под этим обозначением указывают единицу измерения. Если в одних координатных осях строят несколько графиков функций одной независимой переменной, то следует провести дополнительные шкалы параллельно основным, каждую со своим масштабом. Если величины по осям абсцисс и ординат отложены в определенном масштабе с числовыми отметками, то не следует ставить стрелок, указывающих направление роста численных значений величин. Наименование единиц измерения дается без скобок. При вычерчивании графиков надо учитывать, что всякое измерение имеет случайные погрешности (истинное значение измеряемой величины остается неизвестным, а вместо него принимают некоторое её значение, признаваемое за наиболее приближающееся к истинному). Поэтому не следует проводить кривые через все экспериментальные точки. На графике необходимо проводить плавные непрерывные кривые, которые проходят среди экспериментальных точек. Отступление некоторых точек от плавной кривой называют «разбросом точек». Величина разброса при наблюдении закономерных явлений определяет тщательность проведения эксперимента.

При наличии нескольких кривых на одном графике точки, соответствующие опытным данным и относящиеся к различным кривым, должны быть помечены условными значками (крестиками, кружками и т. п.).

Каждый график обязательно должен быть снабжен таким лаконичным текстом, чтобы любой достаточно подготовленный читатель мог легко понять, какую зависимость характеризует построенный график.

На последней странице отчета следует указать дату оформления и поставить подпись.

Отчет в целом должен быть составлен таким образом, чтобы для понимания содержания и результатов проведенной работы не требовалось дополнительных устных пояснений. Составление подобных отчетов – первый шаг к оформлению технических отчетов по экспериментальным исследованиям, которые предстоит проводить будущему инженеру.

Работа № 1-1. ЭЛЕКТРОИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И ИЗМЕРЕНИЯ

1. Цель работы

Изучение электроизмерительных приборов, используемых в лабораторных работах, выполняемых на стенде. Получение представлений о пределе измерения и цене деления, абсолютной и относительной погрешности, условиях эксплуатации и других характеристиках стрелочных электроизмерительных приборов, получение навыков работы с цифровыми измерительными приборами.

2. Пояснения к работе

Контроль работы электрооборудования осуществляется с помощью разнообразных электроизмерительных приборов. Наиболее распространенными электроизмерительными приборами являются приборы непосредственного отсчета. По виду отсчетного устройства различают аналоговые (стрелочные) и цифровые измерительные приборы.

На лицевой стороне стрелочных приборов изображены условные обозначения, определяющие классификационную группу прибора. Они позволяют правильно выбрать приборы и дают некоторые указания по их эксплуатации.

В цепях постоянного тока для измерений токов и напряжений применяются в основном приборы магнитоэлектрической системы. Принцип действия таких приборов основан на взаимодействии магнитного поля постоянного магнита и измеряемого тока, протекающего по катушке. Угол поворота стрелки α прямо пропорционален измеряемому току I : $\alpha = K I$. Шкалы магнитоэлектрических приборов равномерные.

В измерительных механизмах электромагнитной системы, применяемых для измерений в цепях переменного и постоянного тока, вращающий момент обусловлен действием магнитного поля измеряемого тока в неподвижной катушке прибора на подвижный ферромагнитный якорь. Угол поворота стрелки α здесь пропорционален квадрату тока: $\alpha = K I^2$. Поэтому шкала электромагнитных приборов обычно неравномерная, что является недостатком этих приборов. Начальная часть шкалы не используется для измерений.

Для практического использования измерительного прибора необходимо знать его предел измерений (номинальное значение) и цену деления (постоянную) прибора. Предел измерений – это наибольшее значение электрической величины, которое может быть измерено данным прибором. Это значение обычно указано на лицевой стороне прибора. Один и тот же прибор может иметь несколько пределов измерений. Ценой деления прибора называется значение измеряемой величины, соответствующее одному делению шкалы прибора. Цена деления прибора C легко определяется как отношение предела измерений $A_{НОМ}$ к числу делений шкалы N : $C = A_{НОМ} / N$.

На лицевой стороне стрелочных прибора указывается класс точности, который определяет приведенную относительную погрешность прибора $\gamma_{пр}$. Приведенная относительная погрешность прибора – это выраженное в процентах отношение максимальной для данного прибора абсолютной погрешности ΔA к номинальному значению прибора (пределу измерений) $A_{НОМ}$: $\gamma_{пр} = 100 \Delta A / A_{НОМ} \%$.

Зная класс точности прибора, можно определить абсолютную ΔA и относительную погрешности измерения $\gamma_{изм}$, а также действительное значение измеряемой величины A_d :

$$\Delta A = \gamma_{пр} A_{ном}/100; \quad \gamma_{изм} = 100 \Delta A/A; \quad A_d = A \pm \Delta A.$$

Нетрудно сделать вывод, что относительная погрешность измерения тем больше, чем меньше измеряемая величина по сравнению с номинальным значением прибора. Поэтому желательно не пользоваться при измерении начальной частью шкалы стрелочного прибора.

Для обеспечения малой методической погрешности измерения необходимо, чтобы сопротивление амперметра было значительно меньше сопротивления нагрузки, а сопротивление вольтметра было значительно больше сопротивления исследуемого участка.

При проведении измерений в электрических цепях широкое применение получили цифровые мультиметры – комбинированные цифровые измерительные приборы, позволяющие измерять постоянное и переменное напряжение, постоянный и переменный ток, сопротивления, проверять диоды и транзисторы. Для проведения конкретного измерения необходимо установить переключателем предполагаемый предел измерений измеряемой величины (ток, напряжение, сопротивление) с учетом рода тока (постоянный или переменный). Представление результата измерения происходит на цифровом отсчетном устройстве в виде обычных удобных для считывания десятичных чисел. Наибольшее распространение в цифровых отсчетных устройствах мультиметров получили жидкокристаллические, газоразрядные и светодиодные индикаторы. На передней панели такого прибора находится переключатель функций и диапазонов. Этот переключатель используется как для выбора функций и желаемого предела измерений, так и (в некоторых мультиметрах) для выключения прибора. Для продления срока службы батарей, когда прибор не используется, переключатель должен находиться в положении «OFF».

К основным техническим характеристикам цифровых приборов, которые необходимо учитывать при выборе относятся:

- диапазон измерений (обычно прибор имеет несколько поддиапазонов);
- разрешающая способность, под которой часто понимают значение измеряемой величины, приходящееся на единицу дискретности, то есть один квант;
- входное сопротивление, характеризующее собственное потребление прибором энергии от источника измерительной информации;
- погрешность измерения, часто определяемая как $\pm(\% \text{ от считываемых данных} + \text{количество единиц младшего разряда})$ или $\pm(\% \text{ of rdg} + D)$.

Мультиметр часто имеет батарейное питание 9В, поэтому перед использованием прибора необходимо проверить батарею электропитания путем включения прибора. Если батарея разряжена, то на дисплее возникнет условное изображение батареи. Используемые в стенде «Электротехника» мультиметры питаются от выпрямительного устройства, вмонтированного в модуль. Для использования приборов необходимо подключить с тыльной стороны кабель питания к источнику переменного напряжения 220 В.

Перед проведением измерения необходимо переключатель пределов установить на требуемый диапазон измерений. Для предотвращения

повреждения схемы прибора входные токи и напряжения не должны превышать указанных величин. Если предел измеряемого тока или напряжения заранее неизвестен, следует устанавливать переключатель пределов на максимум и затем переключать его вниз по мере необходимости. При возникновении на дисплее «OL» или «1» (перегрузка) необходимо переключиться на верхний предел измерений.

Используемые в стенде мультиметры: MY68 или MS8221A*. Мультиметры MY68 имеют режим автоматического выбора поддиапазона измерений напряжений и сопротивлений. С помощью кнопочных переключателей «UP» и «DOWN» можно устанавливать поддиапазон измерения вручную, а с помощью кнопки «AUTO» вернуться в режим автоматического выбора. Мультиметр MS8221A имеет только ручной выбор поддиапазона измерений.

Для измерения *напряжения* подключите один щуп к разъему COM, а второй – к разъему «VΩ», установите переключатель функций в положение «V \Rightarrow » или «V \leftarrow », что означает режим измерения постоянного (DC) или переменного (AC) напряжения соответственно. Подсоедините концы щупов к измеряемому источнику напряжения. При измерении постоянного напряжения полярность напряжения на дисплее будет соответствовать полярности напряжения на втором щупе.

Для измерения *сопротивлений* подключите один щуп к разъему «COM», а второй – к разъему «VΩ», установите переключатель функций на «Ω» и подсоедините концы щупов к измеряемому сопротивлению. Когда цепь разомкнута, на индикаторе будет индцироваться «0.L» или «1». *Перед измерением сопротивлений в схеме убедитесь, что схема обесточена и все конденсаторы разряжены.*

Некоторые характеристики используемых мультиметров представлены в табл. 1.

Таблица 1

Измеряемая величина	MY-68		MS 8221 A	
	Диапазон измерений	Погрешность измерения	Диапазон измерений	Погрешность измерения
Напряжение постоянного тока	400,0 мВ... 400,0 В; 1000 В	$\pm 0.7\%$ $\pm 2 D$; $\pm 0.8\%$ $\pm 2 D$	200,0 мВ... 200,0 В; 1000 В	$\pm(0.5\% \text{ of rdg} + 2D)$; $\pm(0.8\% \text{ of rdg} + 2D)$
Напряжение переменного тока	400,0 мВ 4,000 В... 400,0 В; 750 В	$\pm 3.0\%$ $\pm 3 D$; $\pm 0.8\%$ $\pm 3 D$; $\pm 1.0\%$ $\pm 3 D$	2,000 В... 200,0 В; 750 В	$\pm(0.8\% \text{ of rdg} + 3D)$; $\pm(1.2\% \text{ of rdg} + 3D)$
Постоянный ток	400,0 мкА; 400,0 мА 10,00 А	$\pm 1.2\%$ $\pm 3 D$ $\pm 2.0\%$ $\pm 5 D$	200,0 мкА... 20,00 мА; 200,0 мА 10,00 А	$\pm(0.8\% \text{ of rdg} + 1D)$; $\pm(1.2\% \text{ of rdg} + 1D)$; $\pm(2.0\% \text{ of rdg} + 5D)$
Переменный ток	400,0 мкА; 400,0 мА 10,00 А	$\pm 1.5\%$ $\pm 5 D$ $\pm 3.0\%$ $\pm 7 D$	200,0 мкА... 20,00 мА; 200,0 мА 10,00 А	$\pm(1.2\% \text{ of rdg} + 3D)$; $\pm(2.0\% \text{ of rdg} + 3D)$; $\pm(3.0\% \text{ of rdg} + 7D)$
Сопротивление	40,00 МОм	$\pm 1.2\%$ $\pm 2 D$	20,00 МОм	$\pm(1.0\% \text{ of rdg} + 2D)$

* - возможно изменение типа измерительных приборов без ухудшения их параметров

3. Порядок выполнения работы

3.1. Изучение паспортных характеристик стрелочных электроизмерительных приборов. Для этого внимательно рассмотреть лицевые панели стрелочных амперметров и заполнить табл. 1.

Таблица 1

Характеристика электроизмерительного прибора			
Наименование прибора			
Система измерительного механизма			
Предел измерения			
Число делений шкалы			
Цена деления			
Минимальное значение измеряемой величины			
Класс точности			
Допустимая максимальная абсолютная погрешность			
Род тока			
Нормальное положение шкалы			
Прочие характеристики			

3.2. Построить график зависимости относительной погрешности измерения от измеряемой величины $\gamma_{\text{изм}} = f(A_{\text{изм}})$ для прибора, указанного преподавателем. Сделать вывод о величине относительной погрешности измерения в начальной и конечной части шкалы, о характере изменения погрешности вдоль шкалы прибора.

3.3. Ознакомиться с лицевой панелью мультиметра и зарисовать её.

3.4. Подготовить мультиметр для измерения постоянного напряжения. Включить электропитание стенда (автоматический выключатель QF модуля питания) и источник постоянного напряжения (кнопочный выключатель «Сеть» на модуле питания). Измерить значения выходных напряжений модуля питания на гнездах «+15 В» и «-15 В» относительно общего гнезда. Результаты измерений занести в табл. 2. Выключить источник постоянного напряжения.

Таблица 2

Гнезда	+15 В	-15 В	А	В	С	А-В	В-С	С-А
Измерено								

3.5. Подготовить мультиметр для измерения переменного напряжения. Включить источник постоянного напряжения и трехфазный источник питания (кнопочный выключатель «Сеть») и мультиметром измерить значения выходных напряжений на гнездах «А», «В», «С», «А-В», «В-С», «С-А». Результаты измерений занести в табл. 2. Выключить источник трехфазного напряжения.

3.6. Подготовить мультиметр для измерения сопротивлений резисторов. Измерить значения сопротивлений резисторов, указанных преподавателем. Результаты занести в табл. 3.

Выключить электропитание стенда (автоматический выключатель QF модуля питания).

Таблица 3

Резистор	R1	R2	R3	R4
Номинальное значение сопротивления, Ом				
Измерено, Ом				

4. Содержание отчета

Отчет по работе должен содержать:

- а) наименование работы и цель работы;
- б) технические данные измерительных приборов;
- в) график зависимости относительной погрешности измерений $\gamma_{\text{ИЗМ}} = f(\Delta_{\text{ИЗМ}})$;
- г) результаты измерений;
- д) выводы по работе.

5. Контрольные вопросы

1. Каков принцип действия приборов магнитоэлектрической и электромагнитной систем?
2. Что такое предел измерения?
3. Как определяется цена деления прибора?
4. Что такое абсолютная и относительная погрешности измерения?
5. Что характеризует класс точности прибора?
6. В какой части шкалы прибора измерение точнее и почему?
7. Каковы основные достоинства цифровых измерительных приборов?

Работа № 1-2. ПРОСТЕЙШИЕ ЛИНЕЙНЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЦЕПИ ПОСТОЯННОГО ТОКА

1. Цель работы

Получение навыков сборки простых электрических цепей, включения в электрическую цепь измерительных приборов. Научиться измерять токи и напряжения, убедиться в соблюдении законов Ома и Кирхгофа в линейной электрической цепи.

Перечень минимодулей

Наименование минимодуля	Количество
Резистор 2 Вт 150 Ом	1
Резистор 2 Вт 330 Ом	1

2. Пояснения к работе

Электрическая цепь, состоящая из элементов, вольтамперные характеристики которых являются прямыми линиями, называется линейной электрической цепью, а элементы, из которых состоит цепь, – линейными элементами.

Соединение в электрической цепи, при котором через все элементы протекает один и тот же ток, называется последовательным соединением. Эквивалентное сопротивление R_3 последовательной цепи постоянного тока равно сумме сопротивлений отдельных участков: $R_3 = R_1 + R_2 + \dots$.

Напряжение на отдельном участке в соответствии с законом Ома пропорционально сопротивлению этого участка: $U_1 = I R_1$; $U_2 = I R_2$.

Напряжение U на входе последовательной цепи в соответствии со вторым законом Кирхгофа равно сумме напряжений на отдельных участках:

$$U = U_1 + U_2 + \dots$$

При параллельном соединении двух или нескольких элементов напряжение на них одно и то же, так как выводы этих элементов подключены к одним и тем же узлам. Токи в отдельных элементах определяются по закону Ома:

$$I_1 = U / R_1; I_2 = U / R_2$$

В соответствии с первым законом Кирхгофа ток I в неразветвленной части цепи равен сумме токов всех параллельных ветвей: $I = I_1 + I_2 + \dots$.

Проводимость параллельного соединения равна сумме проводимостей отдельных участков: $1/R_3 = 1/R_1 + 1/R_2 + \dots$.

3. Порядок выполнения работы

3.1. Ознакомиться с лабораторной установкой (модуль питания, модуль мультиметров, наборное поле и минимодули резисторов). Собрать линейную электрическую цепь с последовательным соединением резисторов (рис. 1). В качестве амперметров использовать стрелочные приборы магнитоэлектрической системы. В качестве вольтметра использовать мультиметр в режиме измерения постоянного напряжения. Представить схему для проверки преподавателю.

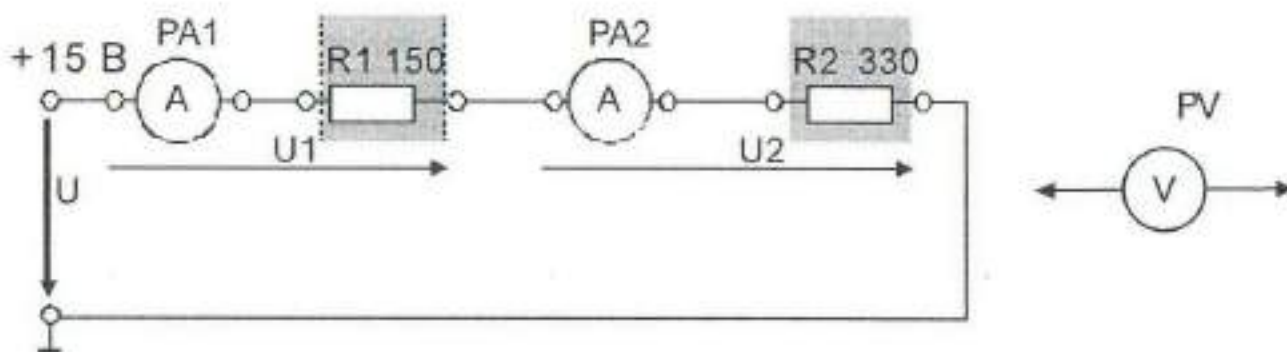


Рис.1

3.2. Включить электропитание стенда (автоматический выключатель QF модуля питания) и источник постоянного напряжения (кнопочный выключатель «Сеть»). Измерить ток в цепи, величину напряжения U на входе цепи и напряжения U_1 и U_2 на резисторах R_1 и R_2 . Результаты измерений занести в табл. 1. Выключить источник постоянного напряжения.

3.3. Собрать электрическую цепь с параллельным соединением резисторов (рис. 2). В качестве амперметра PA1 использовать мультиметр в режиме измерения постоянного тока. Установить предел измерения постоянного тока 200 (400) мА. В качестве вольтметра PV использовать мультиметр в режиме измерения постоянного напряжения. Представить схему для проверки преподавателю.

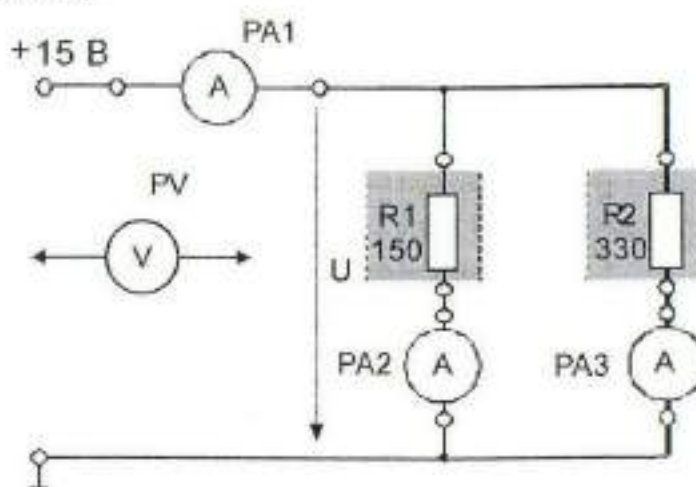


Рис. 2

3.4. Включить источник постоянного напряжения (кнопочный выключатель «Сеть»). Измерить напряжения и токи на всех участках цепи. Результаты занести в табл. 1. Выключить источник постоянного напряжения.

Таблица 1

Последовательное соединение						Параллельное соединение				
U, В	U ₁ , В	U ₂ , В	U = U ₁ + U ₂ , В	I ₁ , мА	I ₂ , мА	U, В	I ₁ , мА	I ₂ , мА	I ₃ , мА	I ₁ = I ₂ + I ₃ , мА

3.5. Рассчитать относительные погрешности измерения токов I_2 и I_3 стрелочными амперметрами PA2 и PA3. Результаты расчета занести в табл. 2.

Таблица 2

	PA2	PA3
Предел измерения прибора, мА		
Класс точности прибора, %		
Измеренное значение тока, мА		
Относительная погрешность измерения, %		

3.6. Проверить выполнение баланса мощностей.

3.7. Сделать выводы о выполнении законов Кирхгофа и о применении

закона Ома в линейной электрической цепи постоянного тока.

Выключить электропитание стенда (автоматический выключатель QF модуля питания).

4. Содержание отчета

Отчет по работе должен содержать:

- а) наименование работы и цель работы;
- б) схемы экспериментов и таблицы полученных экспериментальных данных;
- в) результаты расчетов;
- г) выводы по работе.

5. Контрольные вопросы

1. Что такое «линейный элемент» в электрической цепи?
2. Привести примеры линейных элементов электрических цепей.
3. В каких единицах измеряются сила тока, напряжение, мощность и сопротивление?
4. Как по показаниям амперметра и вольтметра можно определить величину сопротивления участка электрической цепи постоянного тока и потребляемую им мощность?
5. Нарисуйте схемы для измерения методом амперметра и вольтметра больших и малых электрических сопротивлений.
6. Как определить величину эквивалентного сопротивления при последовательном соединении резисторов?
7. Как определить величину эквивалентного сопротивления при параллельном соединении резисторов?
8. Для исследуемых электрических цепей запишите уравнения по законам Кирхгофа.
9. В чем заключается баланс мощностей в цепи постоянного тока?

Работа № 1-3. РАЗВЕТВЛЕННАЯ ЛИНЕЙНАЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ЦЕПЬ ПОСТОЯННОГО ТОКА

1. Цель работы

Получение навыков сборки электрических цепей, измерений токов и напряжений на отдельных участках электрической цепи; убедиться в соблюдении законов Кирхгофа в разветвленной линейной электрической цепи; научиться применять законы Кирхгофа в графическом виде.

Перечень минимодулей

Наименование минимодуля	Количество
Резистор 2 Вт 68 Ом	1
Резистор 2 Вт 150 Ом	1
Резистор 2 Вт 330 Ом	1

2. Порядок выполнения работы

2.1. Ознакомиться с лабораторной установкой (модуль питания, модуль мультиметров, наборное поле и минимодули резисторов).

2.2. Собрать линейную цепь со смешанным соединением резисторов (рис. 1). В качестве амперметра PA1 использовать мультиметр в режиме измерения постоянного тока. Установить предел измерения постоянного тока 200 (400) мА. В качестве вольтметра PV использовать мультиметр в режиме измерения постоянного напряжения. Представить схему для проверки преподавателю.

2.3. Включить электропитание стенда (автоматический выключатель QF модуля питания), источник постоянного напряжения и мультиметры. Плавно изменяя величину входного напряжения с помощью потенциометра RP на модуле питания, измерить значения напряжения и токов на всех участках цепи при трех значениях входного напряжения (по указанию преподавателя). Результаты измерений занести в табл. 1. Выключить источник постоянного напряжения.

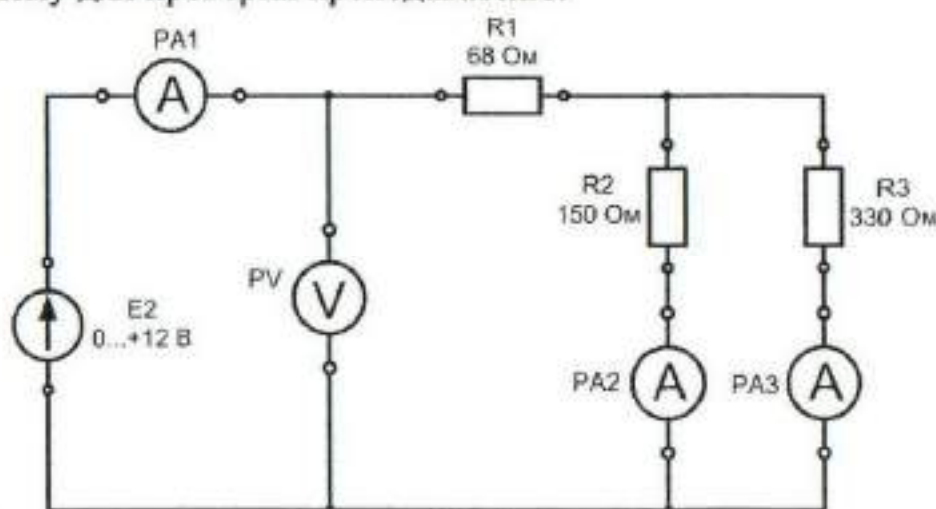


Рис. 1

2.4. По результатам измерений (п. 2.2) вычислить значения сопротивлений всех участков исследуемой цепи и величину эквивалентного сопротивления всей цепи. Результаты расчетов занести в табл. 2.

2.5. По результатам измерений построить в одной координатной системе вольтамперные характеристики резисторов R1, R2, R3. Пользуясь ими, построить вольтамперную характеристику всей цепи $U_{вх} = f(I)$ и по ней определить эквивалентное сопротивление цепи $R_{экв}$. Здесь же построить экспериментальную

вольтамперную характеристику цепи $U_{\text{вх}} = f(I_1)$, сравнить её с расчетной вольтамперной характеристикой всей цепи и сделать вывод о возможности графического применения законов Кирхгофа.

Таблица 1

№ Опыта	U, В	U ₁ , В	U ₂₃ , В	U= U ₁ + U ₂₃ , В	I ₁ , мА	I ₂ , мА	I ₃ , мА	I ₁ = I ₂ + I ₃ , мА
1								
2								
3								

Таблица 2

2.6. Сделать вывод о возможности применения законов Кирхгофа в графическом виде в электрической цепи постоянного тока.

Резистор	Вычислено
R ₁ , Ом	
R ₂ , Ом	
R ₃ , Ом	
R _{экв} , Ом	

Выключить электропитание стенда (автоматический выключатель QF модуля питания).

3. Содержание отчета

Отчет по работе должен содержать:

- наименование работы и цель работы;
- схемы экспериментов и таблицы полученных экспериментальных данных;
- результаты расчетов;
- выводы по работе.

4. Контрольные вопросы

1. Как по показаниям амперметра и вольтметра можно определить величину сопротивления участка электрической цепи постоянного тока и потребляемую им мощность?

2. Нарисуйте схемы для измерения методом амперметра и вольтметра больших и малых электрических сопротивлений.

3. Как определить величину эквивалентного сопротивления для исследуемой цепи?

4. Для исследуемых электрических цепей запишите уравнения по законам Кирхгофа.

5. Как по вольтамперной характеристике определить величину сопротивления цепи?

Работа № 1-4. ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ЦЕПЬ ПОСТОЯННОГО ТОКА С ДВУМЯ ИСТОЧНИКАМИ ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ

1. Цель работы

Экспериментальная проверка результатов аналитического расчета линейной электрической цепи с двумя источниками электропитания.

Перечень минимодулей

Наименование минимодуля	Количество
Тумблер МТ1	2
Резистор 2 Вт 10 Ом	1
Резистор 2 Вт 47 Ом	1
Резистор 2 Вт 150 Ом	1

2. Пояснения к работе

Анализ любой электрической цепи может быть проведен методом непосредственного применения законов Кирхгофа. Если электрическая цепь состоит только из параллельных ветвей, то есть имеет два узла (рис. 1), то её анализ целесообразно проводить методом узлового напряжения, применение которого является менее трудоемким и позволяет избежать решения системы уравнений. Метод узлового напряжения рекомендуется использовать и в тех случаях, когда сложную электрическую схему можно упростить, заменяя последовательно и параллельно соединенные резисторы эквивалентными, используя при необходимости преобразование треугольника сопротивлений в эквивалентную звезду.

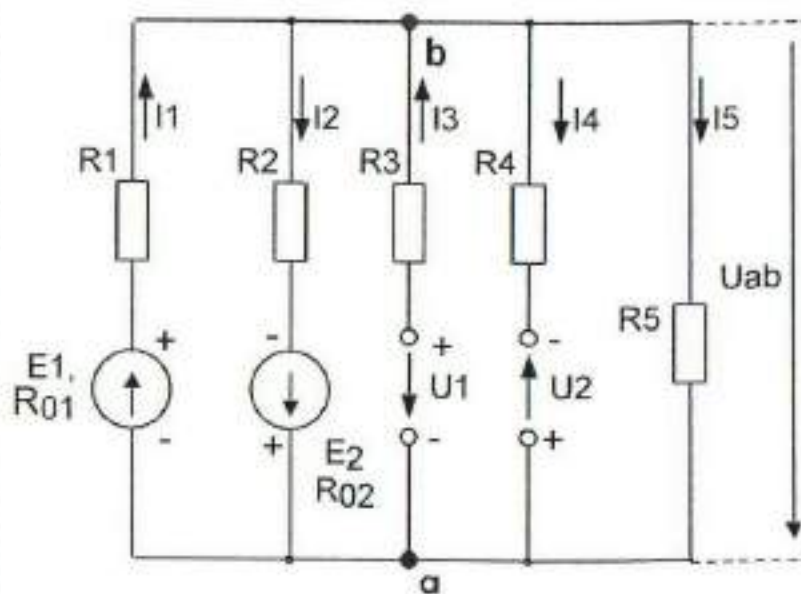


Рис. 1

Применение данного метода состоит из двух этапов. На первом этапе определяется величина узлового напряжения U_{ab} (рис. 1):

$$U_{ab} = \frac{E_1 g_1 - E_2 g_2 + U_1 g_3 - U_2 g_4}{g_1 + g_2 + g_3 + g_4 + g_5},$$

где $g_1 \dots g_5$ – проводимости соответствующих ветвей цепи.

При записи этого соотношения следует задаться положительным направлением узлового напряжения U_{ab} . Со знаком «+» берутся ЭДС, направленные между точками **a** и **b** *встречно* напряжению U_{ab} , и напряжения ветвей, направленные *согласно* с U_{ab} .

При анализе электрических цепей методом узлового напряжения рекомендуется выбирать положительные направления токов после определения узлового напряжения. После определения величины напряжения U_{ab} находят значения токов в ветвях, составляя уравнения по второму закону Кирхгофа. При этом каждый

контур должен включать в свой состав ветвь с искомым током и узловое напряжение. Например, уравнение по второму закону Кирхгофа для определения тока в первой ветви будет иметь вид:

$$E_1 = I_1(R_{01} + R_1) + U_{ab}.$$

Откуда

$$I_1 = \frac{E_1 - U_{ab}}{R_{01} + R_1} = (E_1 - U_{ab})g_1.$$

3. Порядок выполнения работы

3.1. Собрать электрическую цепь по схеме на рис. 1. В качестве амперметров использовать два стрелочных амперметра магнитоэлектрической системы и мультиметр в режиме измерения постоянного тока. Для измерения напряжения использовать мультиметр в режиме измерения постоянного напряжения. В качестве источников питания E1 и E2 использовать источники постоянного напряжения 0...+12 В и +15 В соответственно. На регулируемом источнике установить значение напряжения +5 В. Предъявить цепь для проверки преподавателю.

3.2. Включить электропитание стенда (автоматический выключатель QF модуля питания), источник постоянного напряжения (кнопочный выключатель «Сеть») и при разомкнутых ключах SA1 и SA2 измерить э.д.с. источников питания E1 и E2. Результаты измерений занести в табл. 1.

3.3. Замкнуть ключи SA1 и SA2. Измерить токи I1, I2, I3. Результаты измерений занести в табл. 1.

Таблица 1

E1, В	E2, В	I1, мА	I2, мА	I3, мА	φ_b , В	φ_c , В	φ_d , В

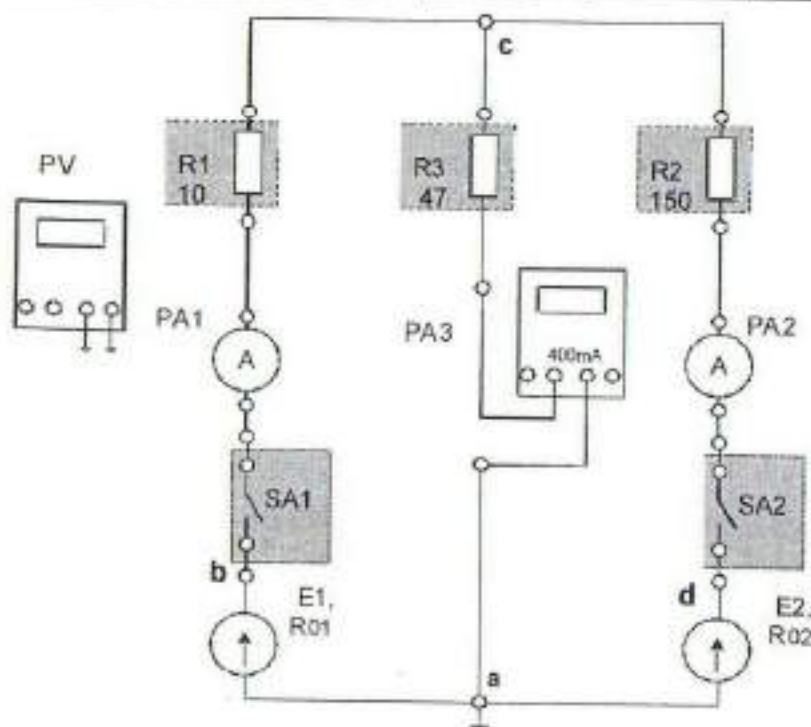


Рис. 1

3.4. Полагая потенциал точки «а» равным нулю ($\varphi_a=0$), измерить мультиметром в режиме измерения постоянного напряжения потенциалы точек «б»,

«с» и «d» (φ_b , φ_c , φ_d). Результаты измерений занести в табл. 1. Выключить источник постоянного напряжения.

3.5. По результатам измерений вычислить:

- напряжения U_1 и U_2 на зажимах источников электропитания при замкнутых ключах SA1 и SA2;
- внутренние сопротивления R_{01} и R_{02} источников электропитания;
- сопротивления R_1 , R_2 и R_3 ветвей цепи (с учетом внутренних сопротивлений измерительных приборов).

Результаты вычислений занести в табл. 2.

Таблица 2

$U_1, В$	$U_2, В$	$U_{ca}, В$	$R_{01}, Ом$	$R_{02}, Ом$	$R_1, Ом$	$R_2, Ом$	$R_3, Ом$	$I_1, мА$	$I_2, мА$	$I_3, мА$

3.6. Используя метод узлового напряжения, рассчитать величину узлового напряжения U_{ca} и токи I_1 , I_2 , I_3 . Результаты вычислений занести в табл. 2. Сравнить расчетные значения токов с их экспериментальными значениями.

3.7. Для внешнего контура построить потенциальную диаграмму.

3.8. Построить внешние характеристики источников питания $U_1=f(I_1)$ и $U_2=f(I_2)$.

4. Содержание отчета

Отчет по работе должен содержать:

- а) наименование и цель работы;
- б) схемы эксперимента и таблицы с результатами измерений и вычислений;
- в) расчетные соотношения и экспериментальные характеристики;
- г) сравнение результатов расчета с экспериментальными данными;
- д) выводы

5. Контрольные вопросы

1. Какие метода анализа цепей постоянного тока могут быть использованы для анализа исследуемой цепи?

2. Сколько уравнений по законам Кирхгофа необходимо записать для исследуемой цепи для её расчета? Сколько из них надо записать по второму закону Кирхгофа?

3. Запишите для исследуемой цепи необходимые для анализа исследуемой цепи уравнения по законам Кирхгофа.

4. В каких случаях целесообразно применять метод узлового напряжения?

5. В чем состоит основное достоинство метода узлового напряжения?

6. Запишите соотношение для определения величины узлового напряжения в исследуемой цепи.

7. Как в исследуемой цепи при использовании метода узлового напряжения определить токи в ветвях? Запишите эти соотношения.

8. Что такое «внешняя характеристика» источника питания? Запишите уравнение внешней характеристики.

9. Что такое «потенциальная диаграмма»?

Работа № 1-5. НЕЛИНЕЙНАЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ЦЕПЬ ПОСТОЯННОГО ТОКА С ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫМ СОЕДИНЕНИЕМ ЭЛЕМЕНТОВ

1. Цель работы

Экспериментальное получение вольтамперных характеристик линейных и нелинейных резистивных элементов, графический расчет неразветвленной нелинейной электрической цепи постоянного тока и экспериментальная проверка результатов расчета.

Перечень минимодулей

Наименование минимодуля	Количество
Потенциометр ППБ-3А-150 Ом	1
Лампа накаливания А12 – 1.2 W2*4,6d	1
Резистор 2 Вт 120 Ом	1

2. Пояснения к работе

Под нелинейной электрической цепью понимают электрическую цепь, содержащую нелинейные элементы (нелинейные сопротивления, нелинейные индуктивности, нелинейные емкости). Нелинейным элементом называют такой элемент электрической цепи, параметры которого зависят от электрического напряжения, электрического заряда, электрического тока или магнитного потока. Схема замещения цепи постоянного тока содержит только нелинейные резистивные элементы. Нелинейные элементы в отличие от линейных обладают нелинейными вольтамперными характеристиками.

Основной характеристикой нелинейного элемента является его вольтамперная характеристика $U=f(I)$ (рис. 2), из которой видно, что каждому значению постоянного тока (напряжения) соответствует определенное значение постоянного напряжения (тока).

У нелинейных элементов различают статическое и динамическое сопротивления. По вольтамперной характеристике определяют статическое сопротивление нелинейного элемента в данной точке А:

$$R_{ст} = U/I$$

и его дифференциальное (динамическое) сопротивление как отношение бесконечно малых приращений напряжения dU и тока dI :

$$R_{д} = dU/dI.$$

Динамическое сопротивление пропорционально тангенсу угла наклона β касательной к вольтамперной характеристике в данной точке. Для экспериментального получения вольтамперной характеристики нелинейного элемента необходимо измерить ряд значений постоянного напряжения и постоянного тока в цепи с данным нелинейным элементом.

Математическая модель нелинейной цепи постоянного тока состоит из уравнений Кирхгофа и уравнений характеристик нелинейных резистивных

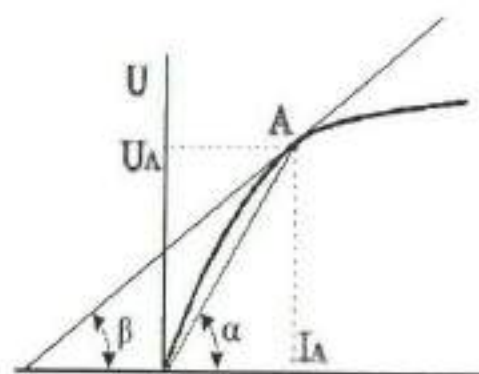


Рис. 2

элементов. Так как модель становится нелинейной, то не может быть решена методами линейной алгебры. К нелинейным цепям применимы законы Кирхгофа, хотя методы анализа, основанные на методе наложения (на постоянстве параметров элементов цепи) чаще всего неприменимы. В таких цепях сопротивление и проводимость нелинейного элемента являются нелинейной функцией мгновенного значения тока (напряжения) на этом элементе. Следовательно, они представляют собой переменные величины, а поэтому для расчета мало пригодны.

Так как характеристики нелинейных элементов $U=f(I)$ или $I=f(U)$ часто определяются экспериментально и задаются обычно в виде таблиц или графиков, то широкое применение получили графические (графоаналитические) методы расчета. При этом последовательность операций сохраняется примерно той же, что и при расчетах линейных цепей, только вместо сложения и вычитания напряжений и токов в соответствии с законами Кирхгофа производится сложение или вычитание абсцисс или ординат соответствующих вольтамперных характеристик. Расчет сводится к построению эквивалентной вольтамперной характеристики цепи. В соответствии с законами Кирхгофа при последовательном соединении элементов характеристики складывают при одинаковых значениях тока, при параллельном соединении – при одинаковых значениях напряжения.

3. Порядок выполнения работы

3.1. Ознакомиться с лабораторной установкой (модуль питания, модуль мультиметров, набор минимодулей).

3.2. Собрать электрическую цепь для снятия вольтамперных характеристик элементов цепи (рис. 1) и предъявить её для проверки преподавателю. В качестве амперметра использовать стрелочный миллиамперметр магнитоэлектрической системы с пределом измерения 100 мА. В качестве вольтметра использовать мультиметр в режиме измерения постоянного напряжения.

Предъявить схему для проверки преподавателю.

3.3. Снять вольтамперные характеристики лампы накаливания, резистора и всей цепи. Для этого установить ручку потенциометра RP в крайнее левое положение. Включить модуль питания (выключатель QF) и источник постоянного напряжения (кнопочный выключатель «Сеть»).

Увеличивая плавно выходное напряжение потенциометра RP провести необходимые измерения при изменении тока от 0 до 80...100 мА. Результаты измерений занести в табл. 1. Выключить источник постоянного напряжения. В одной координатной системе построить вольтамперные характеристики цепи, лампы накаливания HL и резистора R1.

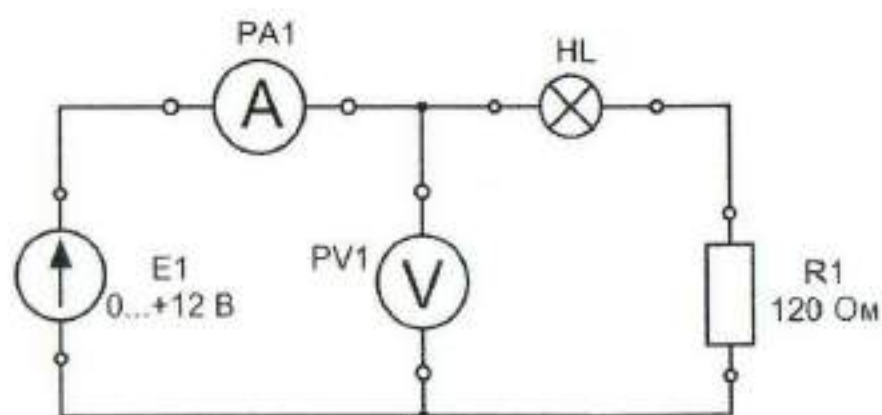


Рис. 1

Таблица 1

I, A	0								
U, В	0								
U _л , В	0								
U _к , В	0								

3.4. Записать уравнение второго закона Кирхгофа для исследуемой цепи. Используя экспериментальные вольтамперные характеристики резистора и лампы накаливания, построить в той же системе координат расчетную вольтамперную характеристику всей цепи $U_{\text{расч}}=f(I)$ и сравнить её с полученной экспериментально вольтамперной характеристикой цепи $U_{\text{эсп}}=f(I)$.

3.5. Для указанного преподавателем значения входного напряжения выполнить графический расчет тока и напряжений на отдельных участках цепи по рис. 1. Результаты расчета занести в табл. 2.

Таблица 2

	U, В	U _{нл} , В	U _к , В	I, А
Расчет				
Эксперимент				

3.6. Для проверки расчета нелинейной цепи включить источник постоянного напряжения (кнопочный выключатель «Сеть») и установить заданное (расчетное) значение входного напряжения U. Измерить ток I и напряжения U_к и U_{нл} на отдельных участках цепи. Результаты занести в табл. 2. Выключить источник постоянного напряжения.

3.7. Сделать вывод об особенностях применения законов Кирхгофа в нелинейной цепи постоянного тока.

3.8. По указанию преподавателя рассчитать статическое и дифференциальное сопротивления лампы накаливания.

3.9. Выключить электропитание стенда (автоматический выключатель QF модуля питания)

4. Содержание отчета

Отчет по работе должен содержать:

- наименование и цель работы;
- схемы экспериментов и таблицы с результатами измерений;
- расчетные и экспериментальные вольтамперные характеристики;
- сравнение результатов расчета с экспериментальными данными;
- выводы.

5. Контрольные вопросы

- Что такое «нелинейный элемент» в электрической цепи?
- Привести примеры нелинейных элементов электрических цепей и их вольтамперных характеристик.
- Почему для нелинейной цепи удобен графический способ анализа?
- Справедливы ли для нелинейных цепей законы Кирхгофа?
- Как построить вольтамперную характеристику последовательного соединения нелинейных элементов?

6. Как построить вольтамперную характеристику параллельного соединения нелинейных элементов?

7. Как определяется статическое сопротивление нелинейного элемента? Будет ли оно одинаковым для разных точек вольтамперной характеристики нелинейного элемента?

8. Как определяется динамическое сопротивление нелинейного элемента? Будет ли оно одинаковым для разных точек вольтамперной характеристики нелинейного элемента?

Работа № 1-6. РАЗВЕТВЛЕННАЯ НЕЛИНЕЙНАЯ ЦЕПЬ ПОСТОЯННОГО ТОКА

1. Цель работы

Экспериментальное получение вольтамперных характеристик нелинейных резистивных элементов, графический расчет разветвленной нелинейной электрической цепи постоянного тока и экспериментальная проверка результатов расчета.

Перечень минимодулей

Наименование минимодуля	Количество
Нелинейный элемент	1
Лампа накаливания А12 – 1.2 W2*4,6d	1
Резистор 2 Вт 120 Ом	1

2. Порядок выполнения работы

2.1. Ознакомиться с лабораторной установкой (модуль питания, модуль мультиметров, набор минимодулей).

2.2. Собрать электрическую цепь для снятия вольтамперных характеристик элементов цепи (рис. 1) и предъявить её для проверки преподавателю. В качестве регулируемого источника постоянного напряжения использовать минимодуль потенциометра RP. В качестве амперметра использовать стрелочный миллиамперметр магнитоэлектрической системы с пределом измерения 100 мА. В качестве вольтметра использовать мультиметр в режиме измерения постоянного напряжения.

Обратить внимание на полярность напряжения на нелинейном элементе R1.

Предъявить схему для проверки преподавателю.

2.3. Снять вольтамперную характеристику нелинейного элемента R1. Для этого установить ручку потенциометра RP в крайнее левое положение. Включить модуль питания (выключатель QF) и источник постоянного напряжения (кнопочный выключатель «Сеть»). Увеличивая плавно выходное напряжение потенциометра RP провести необходимые измерения при изменении тока от 0 до 80...100 мА. Результаты измерений занести в табл. 1. Выключить источник постоянного напряжения. Построить вольтамперную характеристику нелинейного элемента.

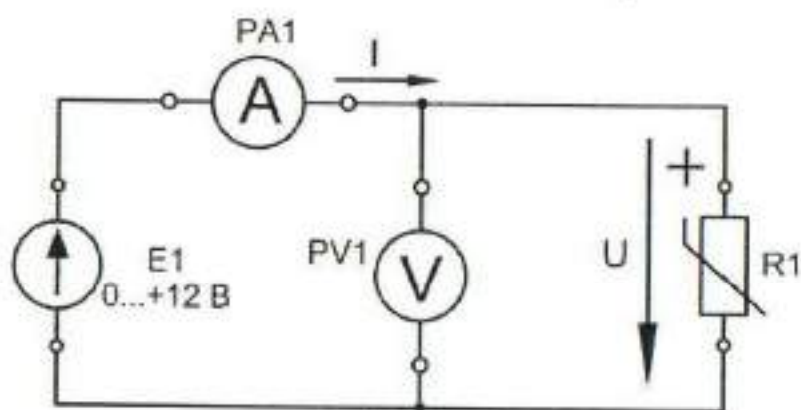


Рис. 1

Таблица 1

U, В	0								
I, А	0								

2.4. Снять вольтамперные характеристики лампы накаливания и резистора. Для этого собрать цепь с последовательным соединением лампы накаливания HL и резистора R1 (рис. 2). Предъявить схему для проверки преподавателю.

Установить ручку потенциометра RP в крайнее левое положение. Включить источник постоянного напряжения (кнопочный выключатель «Сеть»). Увеличивая плавно выходное напряжение потенциометра RP измерять напряжения на входе цепи U , на лампе накаливания U_L и на резисторе U_R , а также ток I . Результаты измерений занести в табл. 2. Выключить источник постоянного напряжения. Построить вольтамперные характеристики цепи, лампы накаливания HL и резистора R1.

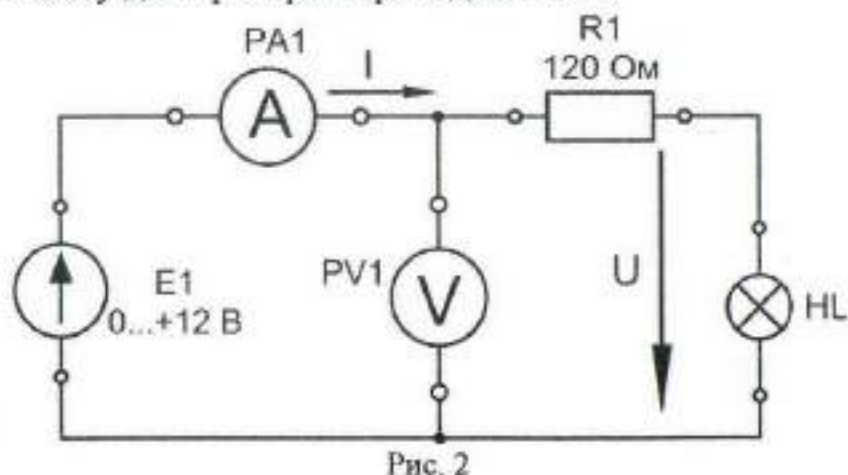


Рис. 2

Таблица 2

I, A	0								
U, B	0								
U_L, B	0								
U_R, B	0								

2.5. Снять вольтамперную характеристику цепи со смешанным соединением элементов. Для этого собрать электрическую цепь по рис. 3 и предъявить её для проверки преподавателю.

Включить электропитание стенда и снять вольтамперную характеристику всей цепи $U_{\text{экс}}=f(I)$. Установить ручку потенциометра RP в крайнее левое положение. Включить источник постоянного напряжения (кнопочный выключатель «Сеть»). Увеличивая плавно выходное напряжение потенциометра RP измерять напряжения на входе цепи U и ток I_1 , потребляемый от источника питания. Результаты измерений занести в табл. 3. Выключить источник постоянного напряжения.

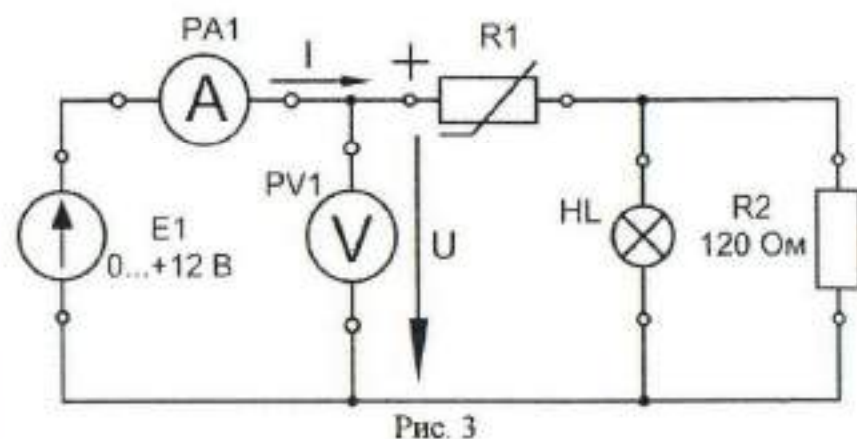


Рис. 3

Таблица 3

U, B	0								
I, A	0								

2.6. Записать уравнения законов Кирхгофа для исследуемой цепи. Используя результаты экспериментов, построить расчетную вольтамперную характеристику всей цепи $U_{\text{расч}}=f(I)$. Здесь же нарисовать полученную экспериментальную вольтамперную характеристику цепи $U_{\text{экс}}=f(I)$ и сравнить их.

2.7. Для указанного преподавателем значения входного напряжения выполнить графический расчет токов ветвей и напряжений на отдельных участках цепи по рис. 3. Результаты расчета занести в табл. 4.

Таблица 4

	U, B	U_1, B	U_{23}, B	I_1, A	I_2, A	I_3, A
Расчет						
Эксперимент						

2.8. Для проверки расчета нелинейной цепи собрать электрическую цепь по рис. 4 и предъявить её для проверки преподавателю. После проверки схемы включить источник постоянного напряжения и установить заданное значение входного напряжения U . Измерить токи I_1 , I_2 и I_3 , а также напряжения U_1 и U_{23} на отдельных участках цепи.

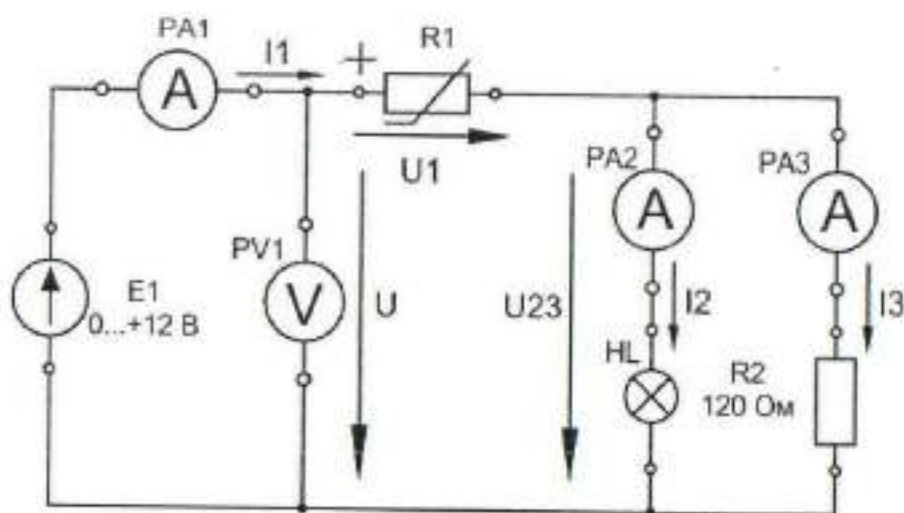


Рис. 4

Результаты занести в табл. 4. Выключить источник постоянного напряжения.

2.9. Сделать вывод об особенностях применения законов Кирхгофа в нелинейной цепи постоянного тока.

2.10. По указанию преподавателя рассчитать статическое и дифференциальное сопротивления нелинейного элемента.

3. Содержание отчета

Отчет по работе должен содержать:

- наименование и цель работы;
- схемы экспериментов и таблицы с результатами измерений;
- расчетные и экспериментальные вольтамперные характеристики;
- сравнение результатов расчета с экспериментальными данными;
- выводы.

4. Контрольные вопросы

- Что такое «нелинейный элемент» в электрической цепи?
- Привести примеры нелинейных элементов электрических цепей и их вольтамперных характеристик.
- Почему для нелинейной цепи удобен графический способ анализа?
- Справедливы ли для нелинейных цепей законы Кирхгофа?
- Как построить вольтамперную характеристику последовательного соединения нелинейных элементов?
- Как построить вольтамперную характеристику параллельного соединения нелинейных элементов?

7. Как определяется статическое сопротивление нелинейного элемента? Будет ли оно одинаковым для разных точек вольтамперной характеристики нелинейного элемента?

8. Как определяется динамическое сопротивление нелинейного элемента? Будет ли оно одинаковым для разных точек вольтамперной характеристики нелинейного элемента?

2.2. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЦЕПИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Работа № 2-1. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕМЕНТОВ ЦЕПЕЙ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

1. Цель работы

Приобретение навыков определения параметров элементов в цепях переменного тока по результатам измерений, включения в цепь вольтметра и амперметра, измерения тока и напряжения, применения закона Ома в цепи переменного тока.

Перечень минимодулей

Наименование минимодуля	Количество
Батарея конденсаторов	1
Дроссель	1

2. Пояснения к работе

При расчете цепей переменного тока, в отличие от цепей постоянного тока, необходимо учитывать не один, а три простейших пассивных элемента: резистивный, индуктивный и емкостной, которые характеризуются соответственно параметрами: активным сопротивлением R , индуктивностью L (индуктивным сопротивлением $X_L = \omega L$) и емкостью C (емкостным сопротивлением $X_C = 1/\omega C$), где ω – угловая частота.

В реальной цепи сопротивлением обладают не только резистор или реостат как устройства, предназначенные для использования их электрических сопротивлений, но и любой проводник, катушка, конденсатор, обмотка любого электромагнитного элемента и др. Общим свойством всех устройств, обладающих электрическим сопротивлением, является необратимое преобразование электрической энергии в тепловую энергию. При токе i в резисторе, обладающим сопротивлением r за время dt в соответствии с законом Джоуля – Ленца выделяется энергия $dw = ri^2 dt$.

Тепловая энергия, выделяемая в сопротивлении, полезно используется или рассеивается в пространстве. Но поскольку преобразование электрической энергии в тепловую энергию в пассивном элементе носит необратимый характер, то в схеме замещения во всех случаях, когда необходимо учесть необратимое преобразование энергии, включается сопротивление. В реальном устройстве, например, в электромагните, электрическая энергия может быть преобразована в механическую энергию (притяжение якоря), но в схеме замещения это устройство заменяется сопротивлением, в котором выделяется эквивалентное количество тепловой энергии. И при анализе схемы нам уже безразлично, что в действительности является потребителем энергии электромагнит или электроплитка.

В цепях переменного тока сопротивление называют активным, которое из-за явления поверхностного эффекта больше, чем электрическое сопротивление постоянному току. Однако при низких частотах этой разницей обычно пренебрегают.

Напряжение, подведенное к активному сопротивлению, по фазе совпадает с

током, то есть напряжение и ток одновременно достигают максимальных значений и одновременно переходят через нуль. Если мгновенное значения тока имеет вид $i(t) = I_M \sin(2\pi ft)$, то мгновенное значение напряжения будет $u_R(t) = U_M \sin(2\pi ft)$.

Индуктивность L характеризует свойство участка цепи или катушки накапливать энергию магнитного поля. В реальной цепи индуктивностью обладают не только индуктивные катушки как элементы цепи, предназначенные для использования их индуктивности, но и провода, и выводы конденсаторов, и реостаты. В целях упрощения обычно считают, что энергия магнитного поля сосредотачивается только в катушках.

При протекании переменного тока $i(t)$ через катушку индуктивности, состоящей из w витков, возбуждается переменный магнитный поток $\Phi(t)$, который в соответствии с законом электромагнитной индукции наводит в ней же э.д.с. самоиндукции $e_L = -w \, d\Phi/dt = -L \, di/dt$. Следовательно, индуктивность в цепи переменного тока влияет на величину протекающего тока как сопротивление. Соответствующая расчетная величина называется индуктивным сопротивлением и обозначается X_L и измеряется так же, как и активное сопротивление – в Омах.

Чем выше частота переменного тока, тем больше эдс самоиндукции и тем больше индуктивное сопротивление $X_L = \omega L = 2\pi f L$. Величина $\omega = 2\pi f$ называется угловой (циклической) частотой переменного тока.

В цепи постоянного тока в установившемся режиме индуктивность не влияет на режим работы цепи, так как э.д.с. самоиндукции равна нулю.

Поскольку э.д.с. самоиндукции возникает только при изменении тока, то и максимальные значения эдс наступают при максимальной скорости изменения тока в катушке, то есть при прохождении тока через нуль. Поэтому на участке цепи с индуктивностью эдс самоиндукции по времени отстает от тока на четверть периода или на $\pi/2$ электрических радиана. Напряжение на индуктивности, будучи противоположным э.д.с., наоборот, опережает ток на четверть периода или на $\pi/2$ электрических радиана. Если по катушке проходит ток, мгновенное значение которого $i(t) = I_M \sin(2\pi ft)$, то мгновенное значение напряжения на индуктивности

$$u_L(t) = U_M \sin(2\pi ft + \pi/2) = X_L I_M \sin(2\pi ft + \pi/2).$$

Когда напряжение, изменяясь синусоидально, достигает максимума, ток в это мгновение равен нулю. Если напряжение на зажимах элемента цепи опережает ток на $\pi/2$ радиана, то говорят, что такой элемент представляет собой идеальную катушку индуктивности или чисто реактивное индуктивное сопротивление X_L . Это сопротивление учитывает реакцию электрической цепи на изменение магнитного поля в индуктивности и является линейной функцией частоты.

При включении в цепь переменного тока реальной катушки (рис.1), обладающей кроме индуктивности L и некоторым значением активного сопротивления R , ток отстает по фазе от напряжения на некоторый угол $\varphi < \pi/2$, который легко определяется из треугольника сопротивлений (рис.3): $\operatorname{tg} \varphi = X_L / R$. Для такого участка электрической цепи уравнение на основании второго закона Кирхгофа имеет вид:

$$u = u_R + u_L = Ri + L \, di/dt.$$

В напряжении, подведенном к реальной катушке, условно можно выделить две составляющих: падение напряжения Ri на активном сопротивлении, обычно

называемое активной составляющей приложенного напряжения, и напряжение на идеальной индуктивности $u_L = L di/dt$, называемое реактивной составляющей приложенного напряжения. Фазовые соотношения между этими составляющими, приложенным напряжением и протекаемым током обычно иллюстрируются векторной диаграммой для их действующих значений (рис.2).

Из векторной диаграммы видно, что

$$U = \sqrt{U_R^2 + U_L^2} = \sqrt{I^2 R^2 + I^2 X_L^2} = I \sqrt{R^2 + X_L^2} = IZ,$$

где $Z = U_M / I_M = U / I = \sqrt{R^2 + X_L^2}$ – полное электрическое сопротивление реальной катушки. Из треугольника сопротивлений (рис.2.3) следует, что

$$R = Z \cos \varphi, X_L = Z \sin \varphi, \varphi = \arctg X_L / R.$$

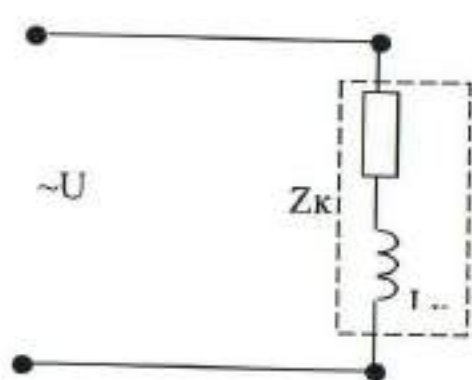


Рис. 1

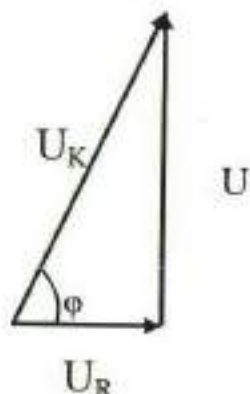


Рис. 2

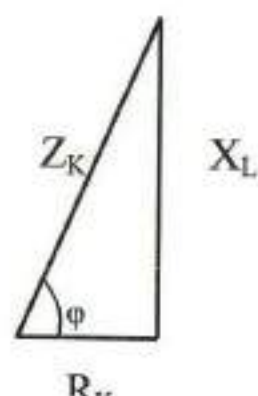


Рис. 3

Закон Ома для цепи, по которой протекает переменный ток, записывается в виде $I = U / Z$.

Из рассмотренного следует важный вывод: *сопротивления в цепи переменного тока складываются в общем случае геометрически*. Например, если у катушки $R=3$ Ома и $X_L = 4$ Ома, то $Z = 5$ Ом.

Емкость, измеряемая в фарадах (Ф), характеризует способность элемента электрической цепи или конденсатора накапливать энергию электрического поля. В реальной цепи емкость существует не только в конденсаторах, как элементах предназначенных специально для использования их емкости, но и между проводниками, между витками катушек (межвитковая емкость), между проводом и землей или каркасом электротехнического устройства. Однако в схемах замещения принято, что емкостью обладают только конденсаторы.

В конденсаторе, точнее в диэлектрике, разделяющем пластины или проводники конденсатора, может существовать ток электрического смещения, в точности равный току проводимости в проводниках, присоединенных к обкладкам конденсатора: $i = dq / dt$, где q – заряд на обкладках конденсатора, измеряемый в кулонах и пропорциональный напряжению на конденсаторе U_C :

$$q = C U_C \text{ и при } C = \text{const } dq = C dU_C.$$

Тогда ток, проходящий через конденсатор, $i = C dU_C / dt$, а энергия электрического поля, запасаемая в конденсаторе при возрастании напряжения,

$$W = C U_C^2 / 2.$$

Очевидно, что при постоянном напряжении $dU_C / dt = 0$ и постоянный ток

через конденсатор проходить не может.

При изменении напряжения на обкладках конденсатора через него протекает емкостной ток. Чем быстрее изменяется напряжение, тем больше емкостной ток.

Если приложить к конденсатору переменное синусоидальное напряжение, то через конденсатор потечет переменный синусоидальный ток, сдвинутый по фазе на $\pi/2$ по отношению к напряжению. Это происходит потому, что емкостной ток достигает максимального значения при максимальном изменении напряжения, т.е. при прохождении напряжения через нуль. Ток при этом опережает напряжение по фазе на $\pi/2$. Если мгновенное значение тока, протекаемого через конденсатор $i(t) = I_M \sin(2\pi ft)$, то мгновенное значение напряжения на нем

$$u_C(t) = U_M \sin(2\pi ft - \pi/2) = X_C I_M \sin(2\pi ft - \pi/2),$$

где X_C – реактивное емкостное сопротивление. Векторная диаграмма для участка электрической цепи, содержащей конденсатор, изображена на рис. 4.

Величина $X_C = 1/2\pi fC = 1/\omega C = U_{cm} / I_m = U_C / I$ называется реактивным емкостным сопротивлением. Это сопротивление учитывает реакцию электрической цепи на изменение электрического поля в конденсаторе и является обратно пропорциональной функцией частоты.

Закон Ома для участка электрической цепи с конденсатором $I = U_C / X_C$, где I – действующее значение тока, протекаемого через конденсатор, U_C – действующее значение напряжения на конденсаторе.

Электрическая цепь переменного тока характеризуется активной, реактивной и полной мощностью.

Активная мощность P , измеряемая в ваттах (Вт), равна произведению действующего значения напряжения U на действующее значение ток I и на $\cos\varphi$, называемый коэффициентом мощности, или произведению квадрата действующего значения тока на активное сопротивление:

$$P = UI \cos\varphi = I^2 R.$$

Реактивная мощность Q , измеряемая в вольт-амперах реактивных (Вар), равна произведению действующего значения напряжения U на действующее значение тока I и на $\sin\varphi$ или произведению квадрата действующего значения тока на реактивное сопротивление:

$$Q = UI \sin\varphi = I^2 X.$$

Полная мощность S , измеряемая в вольт-амперах (ВА), равна произведению действующего значения тока I на действующее значение напряжения U :

$$S = UI = \sqrt{P^2 + Q^2}.$$

Соотношения этих мощностей иллюстрируются треугольником мощностей (рис. 5).

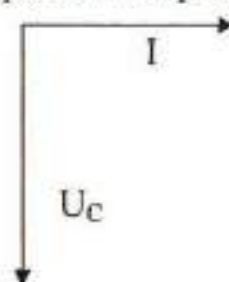


Рис. 4

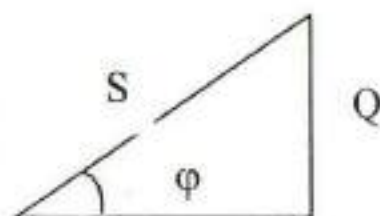


Рис. 5

3. Порядок выполнения работы

3.1. Ознакомиться с лабораторной установкой (модуль питания, модуль функционального генератора, модуль мультиметров, набор минимодулей, наборное поле).

3.2. Установить на наборном поле в качестве индуктивного потребителя Z_k дроссель L. Установить на одном мультиметре режим измерения сопротивления и подключить его к выводам индуктивного потребителя Z_k . После проверки схемы преподавателем включить электропитание стенда (выключатель QF) и используемый мультиметр. Провести измерение значения активного сопротивления индуктивного потребителя R_k . Результат записать в табл. 1.

3.3. Собрать электрическую цепь для определения величины индуктивности L индуктивного потребителя (рис. 1). В качестве вольтметра использовать мультиметр в режиме измерения переменного напряжения. Предъявить схему для проверки преподавателю.

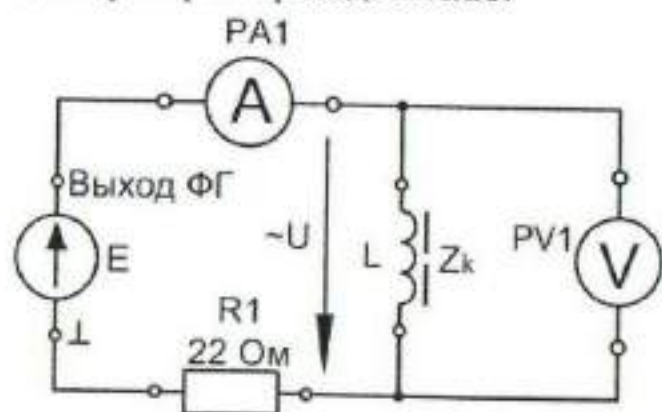


Рис. 1

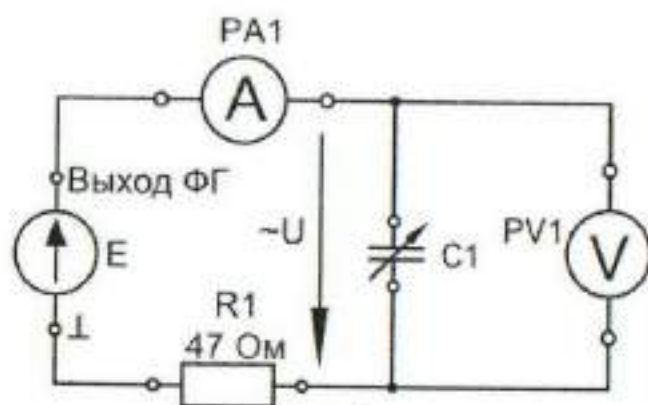


Рис. 2

3.4. Включить модуль функционального генератора (Кнопочный переключатель «Сеть» на лицевой панели модуля). Установить переключатель «Форма» в положение «~10 В», выставить частоту сигнала 50 Гц и установить величину выходного напряжения примерно 8 В.

Записать в табл. 1 показания амперметра и вольтметра (мультиметра). Выключить модуль функционального генератора.

Таблица 1

2 $R_k, \text{ Ом}$	$U, \text{ В}$	$I, \text{ мА}$	$Z_k = U/I, \text{ Ом}$	$X_k, \text{ Ом}$	$L, \text{ Гн}$

3.5. Собрать электрическую цепь для определения величины емкости C емкостного потребителя (рис. 2). Установить заданное преподавателем положение переключателя батареи конденсаторов. Предъявить схему для проверки преподавателю.

3.6. Включить электропитание и записать в табл. 2 показания приборов, устанавливая поочередно заданные преподавателем положения переключателя батареи конденсаторов.

Таблица 2

Включено	C1	C2	C3
$U, \text{ В}$			
$I, \text{ А}$			
$X_C, \text{ Ом}$			
$C, \text{ мкФ}$			

3.7. По результатам измерений рассчитать, используя закон Ома, полное сопротивление индуктивного потребителя Z_k .

3.8. По результатам измерений рассчитать, используя закон Ома,

емкостные сопротивления X_C . Результаты записать в табл. 2.

3.9. Считая, что частота переменного напряжения $f = 50$ Гц, определить величину индуктивности индуктивного потребителя L и емкостей конденсаторов C_1 , C_2 и C_3 . Результаты занести в соответствующие таблицы.

4. Содержание отчета

Отчет по работе должен содержать:

- а) наименование работы и цель работы;
- б) электрические схемы опытов;
- в) таблицы с результатами опытов и вычислений;
- г) расчетные соотношения;
- д) векторные диаграммы для резистора, реальной катушки и конденсатора;
- е) выводы по работе.

5. Контрольные вопросы

1. В каких единицах измеряется ток, напряжение, сопротивление?
2. Что такое Ом, Ампер, Вольт?
3. Что такое «полное сопротивление»?
4. Что такое «активное сопротивление»?
5. Что такое «реактивное индуктивное сопротивление» и как оно определяется?
6. Что такое «реактивное емкостное сопротивление» и как оно определяется?
7. Какая связь между полным, активным и реактивным сопротивлениями цепи переменного тока?
8. Как формулируется закон Ома для цепи переменного тока?
9. Может ли через конденсатор протекать постоянный ток?

Работа № 2-2. ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ЦЕПЬ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА С ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫМ СОЕДИНЕНИЕМ ЭЛЕМЕНТОВ

Перечень минимодулей

Наименование минимодуля	Количество
Батарея конденсаторов	1
Дроссель	1
Резистор 2 Вт 47 Ом	1

1. Цель работы

Приобретение навыков сборки простых электрических цепей и измерения напряжений на отдельных участках цепи, изучение свойств цепей при последовательном соединении активных и реактивных элементов, знакомство с явлением резонанса напряжений, построение векторных диаграмм.

2. Пояснения к работе

Электрическая цепь синусоидального переменного тока с последовательным соединением резистора с активным сопротивлением R , реальной катушки индуктивности с полным сопротивлением $Z_K (R_K, X_K)$ и конденсатора с емкостным сопротивлением X_C (рис.1) описывается уравнением, записанным по второму закону Кирхгофа для мгновенных значений напряжений на этих элементах:

$$u_R + u_K + u_C = u(t)$$

или в геометрической форме для векторов действующих значений этих напряжений

$$\vec{U}_R + \vec{U}_K + \vec{U}_C = \vec{U}$$

Последнее соотношение говорит о том, что вектор

действующего значения напряжения, приложенного к такой цепи, равен геометрической сумме векторов напряжений на отдельных её участках (рис.2).

Из анализа векторной диаграммы для такой цепи следует, что величина входного напряжения U

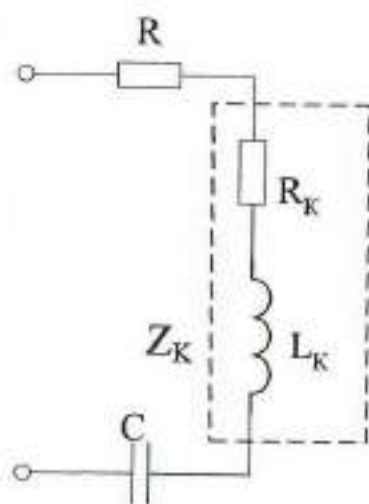


Рис.1

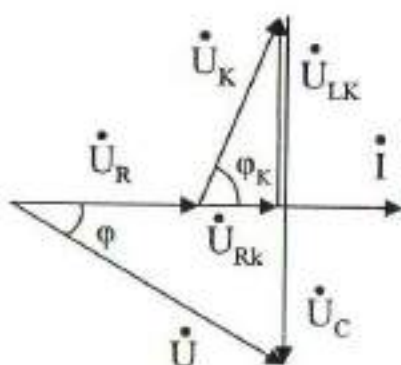


Рис. 2

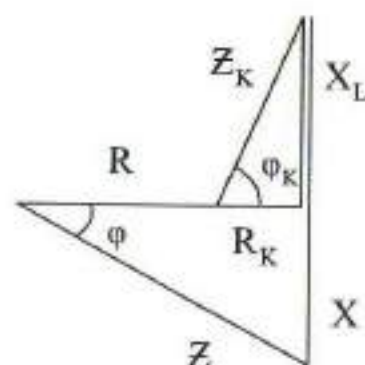


Рис. 3

$$U = \sqrt{(U_R + U_{RK})^2 + (U_{LK} - U_C)^2} = \sqrt{(IR + IR_K)^2 - (IX_L - IX_C)^2} = I \sqrt{(R + R_K)^2 + (X_L - X_C)^2},$$

где U_{RK} , U_{LK} – соответственно активная и реактивная составляющие напряжения на катушке, R_K , X_L – активное и реактивное индуктивное сопротивление катушки индуктивности.

Следовательно, действующее значение тока в этой цепи на основании закона Ома можно определить как

$$I = U/Z = U/\sqrt{(R+R_K)^2 + (X_L - X_C)^2},$$

где $Z = \sqrt{(R+R_K)^2 + (X_L - X_C)^2} = \sqrt{(R+R_K)^2 + (\omega L - 1/\omega C)^2}$ – полное сопротивление цепи с последовательным соединением резистора, реальной катушки индуктивности и конденсатора, которое легко определяется из многоугольника сопротивлений (рис. 3).

Угол сдвига фаз между входным синусоидальным напряжением U и потребляемым такой цепью током I определяется из треугольника сопротивлений

$$\operatorname{tg} \varphi = (\omega L - 1/\omega C) / (R + R_K).$$

Если $\omega L > 1/\omega C$ и угол $\varphi > 0$, вся цепь ведет себя как цепь с активным сопротивлением и идеальной индуктивностью. Говорят, что в этом случае цепь носит активно-индуктивный характер.

Если $\omega L < 1/\omega C$ и угол $\varphi < 0$, вся цепь ведет себя как цепь с активным сопротивлением и емкостью. Говорят, что в этом случае цепь носит активно-емкостной характер.

Если в цепи реактивное сопротивление равны ($\omega L = 1/\omega C$), то угол $\varphi = 0$. При этом реактивная составляющая напряжения на индуктивности и напряжение на конденсаторе полностью себя компенсируют. Цепь ведет себя, как будто реактивные сопротивления в ней отсутствуют и ток достигает наибольшего значения, поскольку ток ограничивается только эквивалентным активным сопротивлением цепи $R_{\Sigma} = R + R_K$.

Это означает, что в цепи имеет место резонанс, называемый в данном случае *резонансом напряжений*. Резонанс напряжений можно получить изменением частоты источника питания, изменением параметров реактивных элементов, например, подбором значения величины емкости $C = 1/\omega_0^2 L$, где $\omega_0 = \sqrt{1/LC}$ – резонансная частота цепи.

3. Порядок выполнения работ

3.1. Ознакомиться с лабораторной установкой (модуль питания, модуль мультиметров, набор минимодулей, наборное поле).

3.2. Собрать электрическую цепь с последовательным соединением элементов, установив минимодули резистора, батареи конденсаторов и дросселя L , используемого в качестве индуктивного потребителя Z_K (рис. 1). В качестве источника переменного напряжения использовать модуль функционального генератора. Установить переключатель «Форма» в положение «~10 В», выставить частоту сигнала 50 Гц и величину выходного напряжения 9 В. Для измерения напряжений на отдельных участках цепи использовать один из мультиметров в режиме измерения переменного напряжения. Установить переключатель батареи конденсаторов в заданную преподавателем позицию.

3.3. Подсоединить параллельно конденсатору дополнительный проводник (исключив этим конденсатор из цепи). Предъявить схему для проверки преподавателю.

3.4. Включить электропитание (выключатель QF, модуль функционального генератора и измеритель мощности, а также мультиметр). Произвести измерения указанных в таблице 1

величин в цепи с последовательным соединением резистора R и индуктивного потребителя Z_K . Результаты измерений занести в табл. 1.

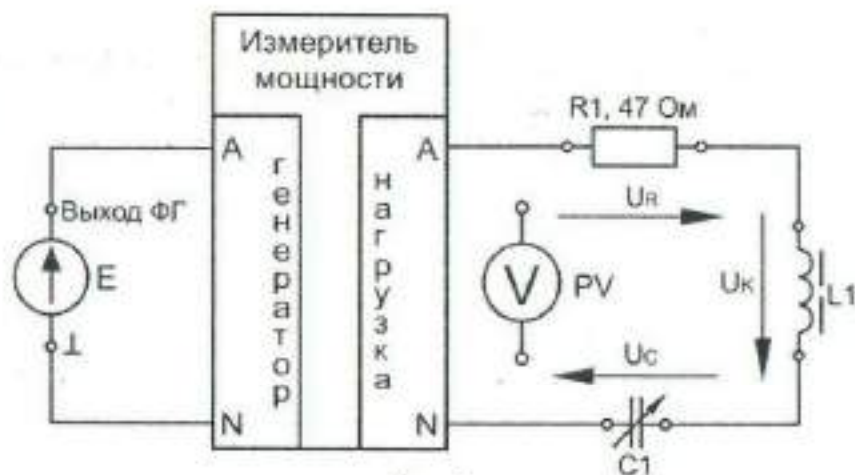


Рис. 1

Таблица 1

Схема	U, В	I, мА	U _R , В	U _K , В	U _C , В	P, Вт	Q, ВАр	S, ВА	cos φ	φ
Z _K , R										
R, X _C										
R, Z _K , X _C										

3.5. Выключить модуль функционального генератора, убрать дополнительный проводник, подключенный к конденсатору. Подсоединить параллельно индуктивному потребителю Z_K дополнительный проводник (исключив этим его из цепи). Предъявить схему для проверки преподавателю.

3.6. Включить модуль функционального генератора и произвести измерения указанных величин для цепи с последовательным соединением резистора R и конденсатора X_C. Результаты измерений занести в табл. 1. Выключить модуль функционального генератора, убрать дополнительный проводник.

3.7. Включить модуль функционального генератора и произвести измерения указанных в таблице величин для цепи с последовательным соединением резистора R, конденсатора X_C и индуктивного потребителя Z_K. Результаты измерений занести в табл. 1.

3.8. Изменяя величину емкости батареи конденсаторов, добиться наибольшего значения тока, т.е. обеспечить состояние цепи близкое к резонансу напряжений. Результаты измерений занести в табл. 2.

Таблица 2

Схема	U, В	I, мА	U _R , В	U _K , В	U _C , В	P, Вт	Q, ВАр	S, ВА	cos φ	φ
R, Z _K , X _{Cрез}										
R, Z _K , X _{C1}										
R, Z _K , X _{C2}										
R, Z _K , X _{C3}										
R, Z _K , X _{C4}										

3.9. Уменьшая и увеличивая величину емкости батареи конденсаторов (от резонансного значения емкости) создать в цепи два режима до резонанса напряжений и два режима после резонанса. Результаты измерений занести в табл. 2. Выключить модуль функционального генератора, модуль измерителя мощности и модуль мультиметров.

3.10. Для цепи с последовательным соединением трех элементов (R, Z_K, C) по результатам измерений при резонансе напряжений рассчитать величины, указанные в табл. 3: активные и реактивные мощности отдельных участков P_R и P_K , Q_K и Q_C , коэффициент мощности индуктивного потребителя $\cos \varphi_K$ и угол сдвига фаз φ_K между напряжением на индуктивном потребителе U_K и током, а также полное сопротивление цепи Z , активные сопротивления резистора и индуктивного потребителя R и R_K , реактивные сопротивления индуктивного потребителя X_K и конденсатора X_C , величину полного сопротивления индуктивного потребителя Z_K . Результаты занести в табл. 3.

Таблица 3

Схема	P_R , Вт	P_K , Вт	Q_K , ВАр	Q_C , ВАр	$\cos \varphi_K$	φ_K	Z , Ом	R , Ом	R_K , Ом	X_K , Ом	Z_K , Ом	X_C , Ом
$R, Z_K, X_{Cрез}$												

3.11. По результатам измерений построить для исследованных цепей в масштабе векторные диаграммы и сделать вывод о характере каждой исследованной цепи.

3.12. Построить зависимости потребляемого тока I , полного сопротивления цепи Z_{Σ} , реактивного сопротивления цепи X_{Σ} , угла сдвига фаз φ в цепи с последовательным соединением трех элементов (R, Z_K, C) от величины емкостного сопротивления X_C : $I = f(X_C)$; $Z_{\Sigma} = f(X_C)$; $X_{\Sigma} = f(X_C)$; $\varphi = f(X_C)$.

3.13. Сделать вывод о применении 2-го закона Кирхгофа в цепях переменного тока.

Выключить электропитание стенда.

4. Содержание отчета

Отчет по работе должен содержать:

- наименование работы и цель работы;
- схему исследуемой цепи;
- таблицы с результатами опытов и вычислений;
- расчетные соотношения;
- векторные диаграммы;
- выводы по работе.

5. Контрольные вопросы

- Что такое активная, реактивная и полная мощности в цепи переменного тока?
- Какая взаимосвязь между полной, активной и реактивной мощностями?
- Что такое «коэффициент мощности»?

4. Как вычислить полное сопротивление катушки, если известны её активное сопротивление, индуктивность и частота сети?
5. Как вычислить полное сопротивление цепи с последовательным соединением резистора, реальной катушки и конденсатора?
6. От чего зависит угол сдвига фаз между напряжением и током на участке электрической цепи переменного тока?
7. Что такое «треугольник сопротивлений»?
8. Чему равны реактивное сопротивление цепи и реактивная мощность цепи при резонансе?
9. В каком случае исследуемая цепь будет носить активно-индуктивный характер и в каком – активно-емкостной характер?

Работа № 2-3. ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ЦЕПЬ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА С ПАРАЛЛЕЛЬНЫМ СОЕДИНЕНИЕМ ЭЛЕМЕНТОВ

Перечень минимодулей

Наименование минимодуля	Количество
Батарея конденсаторов	1
Дроссель	1
Резистор 2 Вт 100 Ом	1
Тумблер	3

1. Цель работы

Ознакомиться с особенностями режимов работы цепи с параллельным соединением активных и реактивных элементов, явлением резонанса токов, повышением коэффициента мощности, применением 1-го закона Кирхгофа в цепях переменного тока.

2. Пояснения к работе

При параллельном соединении элементов получают разветвленную цепь (рис.1).

При параллельном соединении элементов токи в отдельных ветвях зависят от величины приложенного напряжения и полного сопротивления каждой ветви. При этом ток в ветви с резистором I_R совпадает по фазе с напряжением, ток в ветви с индуктивной катушкой I_K отстает по фазе от напряжения на угол φ , зависящий от активного и реактивного сопротивления реальной катушки индуктивности. Ток в ветви с конденсатором I_C опережает напряжение на 90° (рис. 2). В соответствии с первым законом Кирхгофа общий ток I , потребляемый такой цепью от источника питания, определяется геометрической суммой токов отдельных ветвей:

$$I = \bar{I}_R + \bar{I}_K + \bar{I}_C$$

Геометрическое построение для определения величины и фазы общего тока представлено на рис. 2, где обозначено:

I_{KA}, I_A – активные составляющие тока в ветви с индуктивной катушкой и общего тока;

I_{KP}, I_P – реактивные составляющие тока в ветви с индуктивной катушкой и общего тока.

Под активной составляющей тока понимают составляющую тока, совпадающую по фазе с

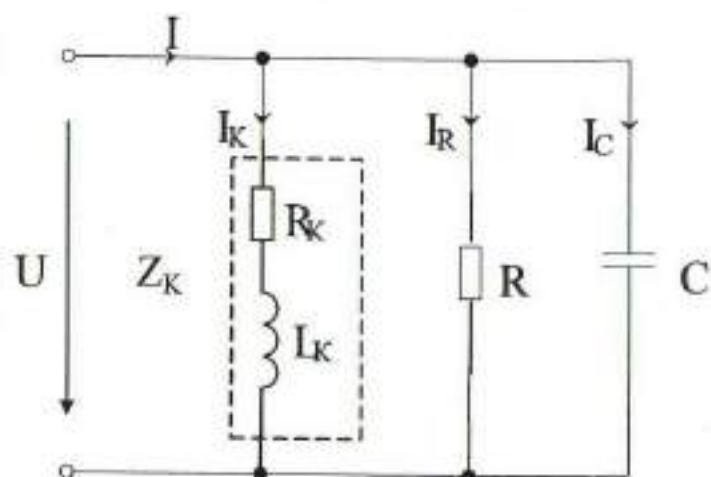


Рис. 1

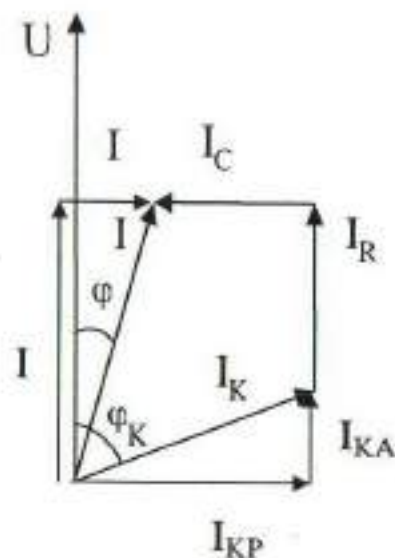


Рис. 2

приложенным напряжением. Под реактивной составляющей тока – составляющую, расположенную под 90° к приложенному напряжению. Следует помнить, что *активная и реактивная составляющие тока – это условные величины, не имеющие физического смысла в последовательной схеме замещения, но удобные для расчетов.*

Из векторной диаграммы следует, что

$$I_A = I_R + I_{KA}, \quad I_P = I_{KP} - I_C.$$

Следовательно, величина общего тока

$$I = \sqrt{I_A^2 + I_P^2},$$

а угол сдвига фаз между общим током и приложенным напряжением

$$\operatorname{tg} \varphi = I_P / I_A = (I_{KP} - I_C) / (I_R + I_{KA}).$$

Данная векторная диаграмма построена в предположении, что емкостной ток I_C меньше реактивной индуктивной составляющей тока в катушке I_{KP} . Поэтому общий ток отстает по фазе от напряжения. Такая цепь носит активно-индуктивный характер. Если бы емкостной ток I_C был больше реактивной индуктивной составляющей тока в катушке I_{KP} , то ток, потребляемый цепью из сети опережал по фазе приложенное напряжение и цепь носила бы активно-емкостной характер.

При равенстве реактивной индуктивной составляющей тока в катушке I_{KP} и емкостного тока I_C вектор общего тока совпадает по фазе с вектором приложенного напряжения, а его величина определяется только активными составляющими токов $I_A = I_R + I_{KA}$. При этом в цепи наступает явление резонанса токов, так как цепь, содержащая реактивные элементы, ведет себя как цепь с чисто активным сопротивлением. При резонансе токов токи в ветвях с реактивными элементами могут значительно превышать ток, потребляемый от источника питания.

3 Порядок выполнения работы

3.1. Ознакомиться с лабораторной установкой (модуль питания, функциональный генератор, модуль мультиметров, набор минимодулей).

3.2. Собрать электрическую цепь с параллельным соединением резистора R , индуктивного потребителя Z_K и батареи конденсаторов C (рис. 1). Установить в заданную преподавателем позицию переключатель батареи конденсаторов C . В качестве индуктивного потребителя Z_K использовать дроссель L . Схему предъявить для проверки преподавателю.

3.3. Изучить работу электрической цепи при параллельном соединении различных потребителей (см. табл. 1). Включить электропитание стенда, функциональный генератор, измеритель мощности. Установить напряжение на выходе функционального генератора (ФГ) 5...10 В с частотой, близкой к 50 Гц. Поочередно подключая тумблерами соответствующие ветви, измерить величины, указанные в табл.1. Результаты измерений занести в табл. 1.

3.4. Исследовать влияние емкости C , включенной параллельно индуктивному потребителю Z_K , на коэффициент мощности цепи и величину тока I , потребляемого от источника питания. Для этого разомкнуть ветвь с резистором R . Переключатель батареи конденсаторов C установить в позицию «1» ($C=0$). При наличии в цепи только индуктивного потребителя Z_K измерить величины, указанные в табл. 2.

Установить такое значение емкости батареи конденсаторов, при которой от источника электропитания потребляется минимальный ток I (состояние цепи, близкое к резонансу токов). Измерить величины, указанные в табл.2. Уменьшая и увеличивая величину емкости батареи конденсаторов (от резонансного значения емкости) создать в цепи два режима до резонанса токов и два режима после резонанса. Результаты измерений занести в табл. 2. Выключить функциональный генератор.

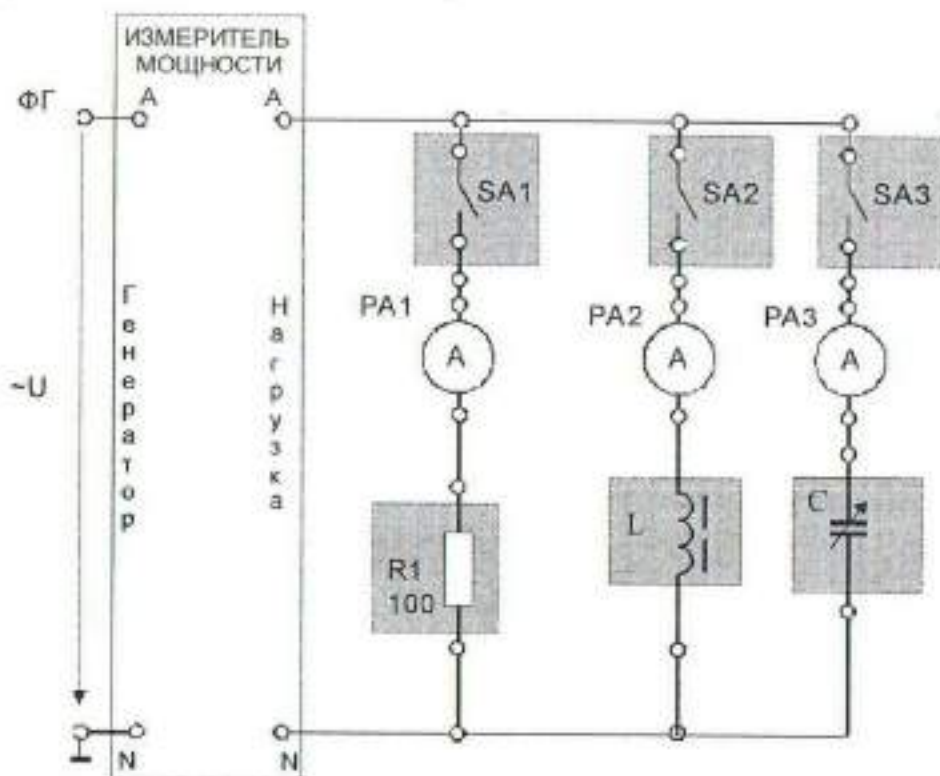


Рис. 1.

Таблица 1

Схема	U, В	I, мА	I_R , мА	I_K , мА	I_C , мА	P, Вт	Q, ВАр	S, ВА	$\cos \varphi$	φ
Z_K, R										
R, X_C										
R, Z_K, X_C										

3.5. По результатам измерений (табл. 2) рассчитать величину емкостного сопротивления X_C и величину емкости батареи конденсаторов C . Результаты занести в табл. 2.

Таблица 2

Схема	U, В	I, мА	I_K , мА	I_C , мА	P, Вт	Q, ВАр	S, ВА	$\cos \varphi$	φ	X_C , Ом	C, мкФ
Z_K										-----	-----
$Z_K, X_{C\text{сред}}$											
Z_K, X_{C1}											
Z_K, X_{C2}											
Z_K, X_{C3}											
Z_K, X_{C4}											

3.6. Построить графики зависимостей $\cos \varphi = f(C)$, $I = f(C)$, $I_K = f(C)$, $I_C = f(C)$, $P = f(C)$.

3.7. По опытными данным построить в масштабе векторные диаграммы токов и напряжений для каждого опыта.

3.8. Сделать выводы:

- о влиянии параллельно включенных потребителей друг на друга;
- о влиянии конденсатора, подключенного параллельно индуктивному потребителю, на величину тока, потребляемого из сети, активной мощности цепи и коэффициент мощности цепи;
- о применении 1-го закона Кирхгофа в цепях переменного тока;

4. Содержание отчета

- а) наименование работы и цель работы;
- б) схему эксперимента и таблицу полученных результатов;
- в) векторные диаграммы для всех проведенных опытов;
- г) выводы по работе.

5. Контрольные вопросы

1. Как при параллельном включении потребителей определить величину тока, потребляемого из сети?
2. С какой целью повышают коэффициент мощности цепи?
3. Как можно определить коэффициент мощности цепи?
4. Как изменятся величина тока, потребляемого из сети, и активная мощность цепи, если параллельно активно-индуктивному потребителю включить конденсатор?
5. Почему уменьшается ток, потребляемый из сети, при подключении параллельно индуктивному потребителю конденсатора?
6. Как применяется 1-й закон Кирхгофа в цепях переменного тока?
7. Как построить векторную диаграмму цепи, которая содержит параллельно включенные индуктивную катушку и конденсатор?
8. Что такое «резонанс токов»? При каком условии он возникает?

Работа № 2-4. ТРЕХФАЗНАЯ ЦЕПЬ ПРИ СОЕДИНЕНИИ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ ПО СХЕМЕ «ЗВЕЗДА»

1. Цель работы

Ознакомиться с трехфазными системами, измерением фазных и линейных токов и напряжений. Проверить основные соотношения между токами и напряжениями симметричного и несимметричного трехфазного потребителя. Выяснить роль нейтрального провода в четырехпроводной трехфазной системе. Научиться строить векторные диаграммы напряжений и токов.

Перечень минимодулей

Наименование минимодуля	Количество
Резистор 2 Вт 100 Ом	1
Резистор 2 Вт 120 Ом	1
Резистор 2 Вт 150 Ом	3
Тумблер	2

2. Пояснения к работе

Трехфазная система переменного тока имеет ряд преимуществ по сравнению с однофазным переменным током и поэтому получила широкое применение. Чаще всего электрическая энергия вырабатывается, передается и распределяется между потребителями трехфазными системами. Подавляющее большинство электродвигателей является двигателями трехфазного переменного тока.

Чтобы в трехфазной системе можно было одновременно пользоваться двумя различными напряжениями (например, 380 В – для питания электродвигателей и 220 В – для питания электрических ламп и других однофазных потребителей) применяют четырехпроводную систему электроснабжения. Четырехпроводная линия трехфазной системы имеет четыре провода: три линейных, по которым протекают линейные токи I_A , I_B , I_C и один нулевой (нейтральный) провод, предназначенный для поддержания одинаковых значений фазных напряжений на всех трех фазах потребителя. По нулевому проводу может протекать уравнительный ток I_0 , называемый нулевым или нейтральным током. Такая система соединения обмоток трехфазного генератора и приемников (потребителей) называется «звездой» и показана на рис. 1.

При соединении в звезду ток I_A , протекаемый по фазе источника питания, равен току, протекаемому по линейному проводу фазы A . Этот же ток протекает и по фазе A потребителя. Следовательно, при соединении в звезду фазный ток I_ϕ равен линейному току I_L :

$$I_\phi = I_L.$$

Напряжение между линейными проводами, называемое линейным напряжением (например, U_{AB}), оказывается в $\sqrt{3}$ раз больше, чем фазное напряжение источника питания U_A , U_B или U_C :

$$U_L = \sqrt{3} U_\phi.$$

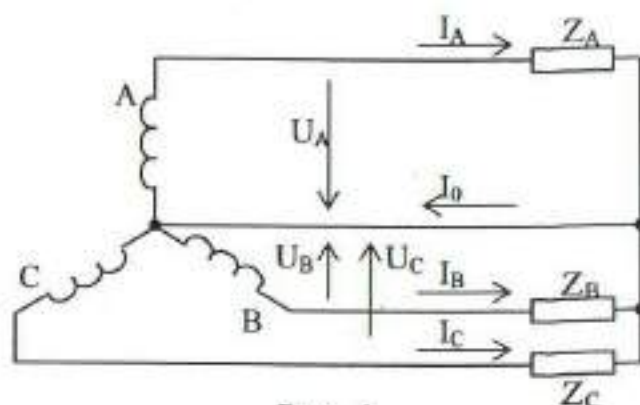
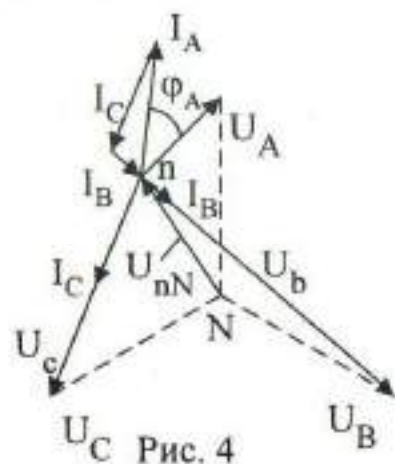
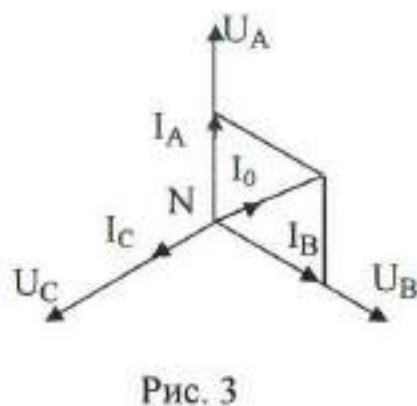
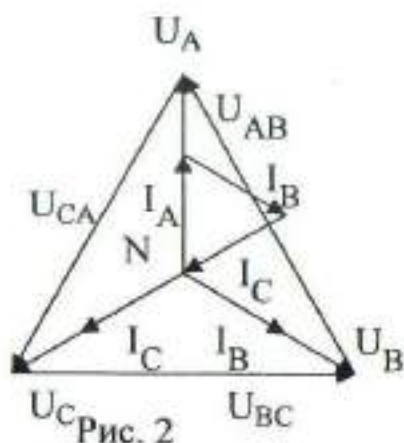


Рис. 1

Если трехфазная система симметричная (все сопротивления и мощности фазных потребителей одинаковы), то по всем трем фазам протекают одинаковые по величине токи, сдвинутые по фазе относительно друг друга на 120° . Ток в

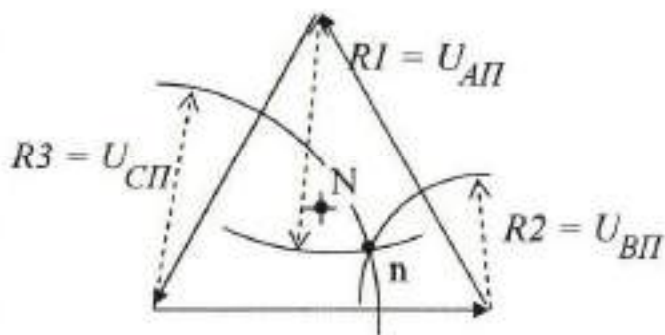


нейтральном проводе при этом равен нулю. Напряжения на всех фазах потребителя также отличаются друг от друга только по начальной фазе на 120° (рис. 2).

При включении в разных фазах различных по мощности потребителей (несимметричная нагрузка), токи каждой фазы (в каждом линейном проводе) отличаются друг от друга не только начальной фазой, но и величиной. По нейтральному проводу при этом протекает ток, вектор которого на основании первого закона Кирхгофа равен геометрической сумме векторов фазных токов (рис.3)

$$\vec{I}_A + \vec{I}_B + \vec{I}_C = \vec{I}_0.$$

Обрыв нейтрального провода (трехпроводная система) при несимметричной нагрузке приводит к изменению напряжений на всех фазах потребителей и появлению напряжения смещения нейтрали U_{Nn} (рис. 4). Положение точки «n» на векторной диаграмме при измеренных значениях напряжений на фазах потребителей U_{AB} , U_{BP} и U_{CP} может быть определено методом засечек (рис. 5) или рассчитано аналитически.



3. Порядок выполнения работы

3.1. Ознакомиться с лабораторной установкой (модуль питания, модуль мультиметров, набор минимодулей).

3.2. Включить модуль питания стенда (выключатель QF). Установить на одном из мультиметров режим измерения переменного напряжения. Включить источник постоянного и трехфазного напряжений и измерить линейные и фазные напряжения трехфазного источника на холостом ходу. Результаты измерений занести в табл. 1. Выключить источники трехфазного и постоянного напряжений.

Таблица.1

Измерено на клеммах источника питания						Вычислено		
Линейные напряжения			Фазные напряжения			U_{Δ} , В	U_{ϕ} , В	U_{Δ}/U_{ϕ}
U_{AB} , В	U_{BC} , В	U_{CA} , В	U_A , В	U_B , В	U_C , В			

3.3. Собрать симметричную трехфазную электрическую цепь (рис. 1). Замкнуть тумблеры SA1 и SA2. Предъявить схему для проверки преподавателю.

3.4. Включить источник постоянного и трехфазного напряжения. Измерить токи, фазные и линейные напряжения при включенном нейтральном проводе (тумблер SA2 замкнут). Результаты занести в табл. 2. Проверить соотношение между линейными и фазными напряжениями потребителей.

3.5. Разомкнуть тумблер SA2. Повторить те же измерения при отключенном нейтральном проводе. Результаты занести в табл. 2. Выключить источник трехфазного и постоянного напряжений.

3.6. Исследовать влияние обрыва линейного провода на режим работы цепи при наличии нейтрального провода. Для этого разомкнуть тумблер SA1 и замкнуть тумблер SA2. Включить источники постоянного и трехфазного напряжений. Измерить токи и напряжения. Результаты занести в табл. 2. Выключить источники постоянного и трехфазного напряжений.

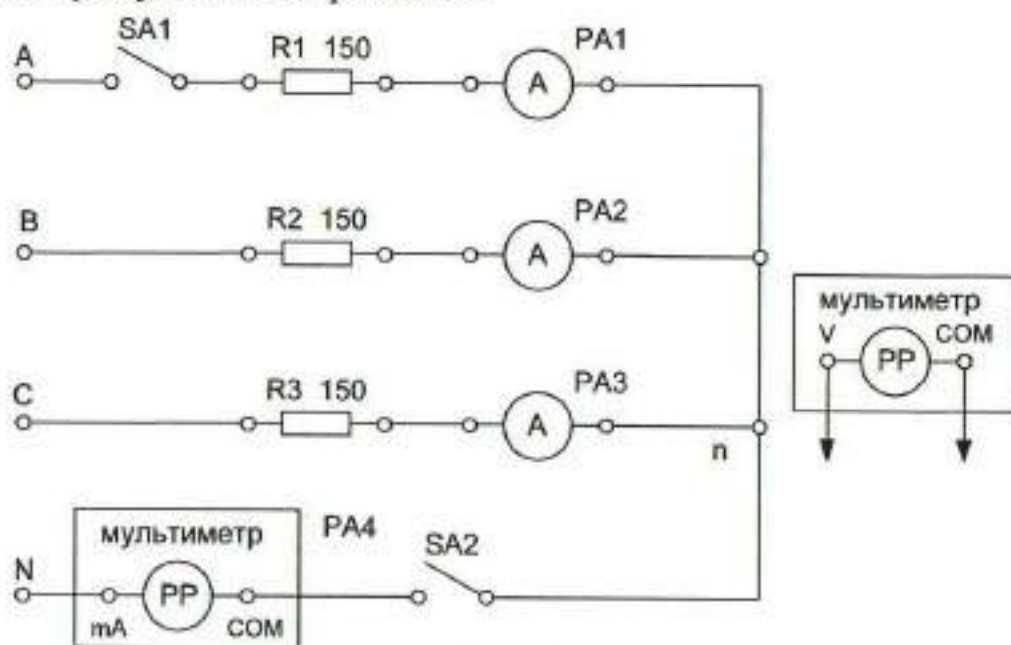


Рис. 1

3.7. Исследовать несимметричную трехфазную цепь. Для этого собрать схему по рис. 2. Предъявить схему для проверки преподавателю. Измерить токи, линейные и фазные напряжения в каждой фазе потребителя при наличии нейтрального провода. Результаты записать в табл. 2.

3.8. Разомкнуть цепь нейтрального провода с помощью тумблера SA2 и вновь измерить токи и напряжения. Результаты записать в табл. 2.

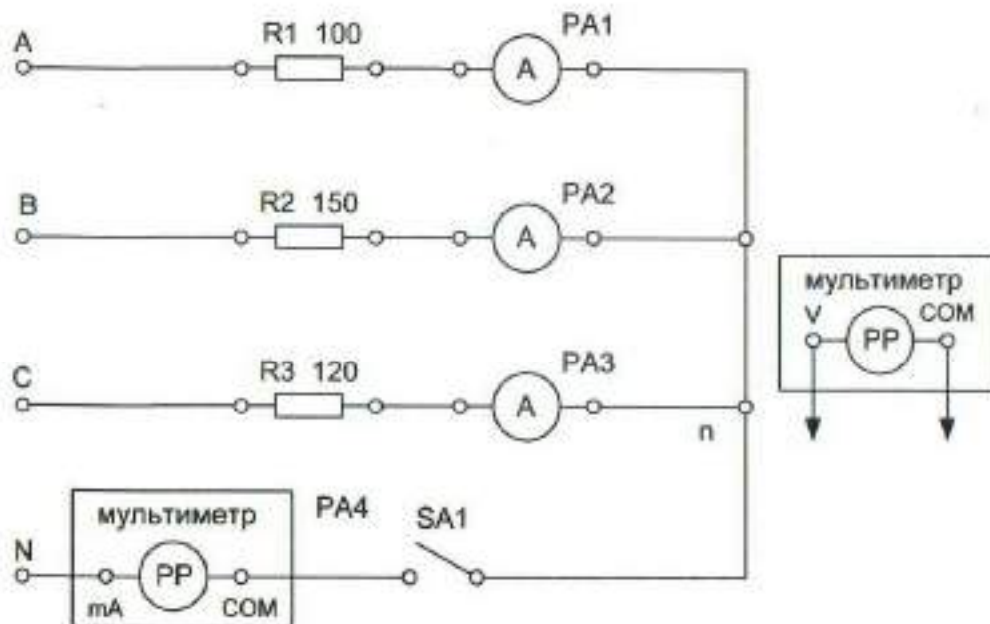


Рис. 2

3.9. По результатам измерений вычислить

- среднее значение линейных напряжений $U_{\text{Л}}$ источника питания;
- среднее значение фазных напряжений $U_{\text{Ф}}$ источника питания;
- отношение $U_{\text{Л}}/U_{\text{Ф}}$;
- среднее значение тока при симметричной нагрузке.

3.10. Для всех проведенных опытов методом засечек построить в масштабе векторные диаграммы.

3.11. Сравнить влияние нейтрального провода на работу трехфазной системы при симметричной и несимметричной нагрузке.

Таблица 2

Режим нагрузки	Токи, мА				Напряжения, В							
	I_A	I_B	I_C	I_0	Фазные			Линейные				
					$U_{\text{АП}}$	$U_{\text{ВП}}$	$U_{\text{СП}}$	U_{AB}	U_{BC}	U_{CA}	U_{nN}	
Нейтральный провод включен, нагрузка симметричная												
Нейтральный провод выключен, нагрузка симметричная												
Нейтральный провод включен, обрыв линейного провода												
Нейтральный провод включен, нагрузка несимметричная												
Нейтральный провод выключен, нагрузка несимметричная												

4. Содержание отчета

Отчет по работе должен содержать:

- а) наименование работы и цель работы;
- б) технические данные электроизмерительных приборов;
- в) схему эксперимента с включенными измерительными приборами;
- г) таблицы с результатами эксперимента;
- д) векторные диаграммы для всех проведенных опытов;
- е) вывод о роли нейтрального провода в трехфазной цепи при соединении потребителя по схеме звезда.

5. Контрольные вопросы

1. Какое соединение называется звездой?
2. Каково соотношение между фазным и линейным напряжениями трехфазного источника питания при соединении его обмоток по схеме звезда?
3. Какое соотношение между фазными и линейными токами при соединении в звезду?
4. Как определить величину тока в нейтральном проводе, если известны токи потребителя?
5. Для чего применяют нейтральный провод?
6. К каким зажимам следует подключить вольтметр, чтобы измерить фазное и линейное напряжение?
7. Какая трехфазная нагрузка называется симметричной?
8. Почему при несимметричной нагрузке обрыв нейтрального провода является аварийным режимом?

Работа № 2-5. ТРЕХФАЗНАЯ ЦЕПЬ ПРИ СОЕДИНЕНИИ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ ПО СХЕМЕ «ТРЕУГОЛЬНИК»

1. Цель работы

Исследовать особенности работы трехфазной цепи при соединении симметричного и несимметричного потребителей треугольником, усвоить построение векторных диаграмм по результатам эксперимента.

Перечень минимодулей

Наименование минимодуля	Количество
Резистор 2 Вт 150 Ом	3
Тумблер	2

2. Пояснения к работе

Потребители электрической энергии при питании от трехфазного источника, как и источники электрической энергии, могут быть соединены в треугольник (рис. 1).

Следует помнить, что схема включения обмоток трехфазного генератора не предопределяет схему соединения нагрузки. Так, при соединении фаз генератора в звезду нагрузка может быть соединена в звезду с нейтральным проводом, в звезду без нейтрального провода или в треугольник.

При соединении в треугольник симметричной трехфазной нагрузки линейные напряжения оказываются равными фазным напряжениям $U_{\phi} = U_{\text{л}}$, а линейные токи в $\sqrt{3}$ раз больше, чем токи в фазах потребителя:

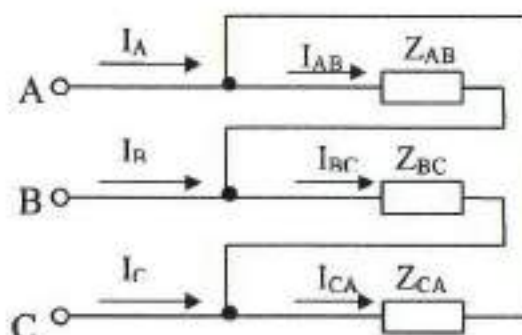
$$I_{\text{л}} = \sqrt{3} I_{\phi}.$$

При этом все фазные токи равны по величине и отличаются друг от друга по фазе на 120° . То же самое относится и к линейным токам (рис. 2).

При несимметричной нагрузке связь между линейными и фазными токами выражается уравнениями, записанными на основании первого закона Кирхгофа в комплексной или векторной форме:

$$\vec{I}_A = \vec{I}_{AB} - \vec{I}_{CA}, \quad \vec{I}_B = \vec{I}_{BC} - \vec{I}_{AB}, \quad \vec{I}_C = \vec{I}_{CA} - \vec{I}_{BC}.$$

При соединении в треугольник нулевой провод отсутствует, но все фазные потребители в этом случае должны быть рассчитаны на номинальное линейное напряжение.



№

Рис. 1

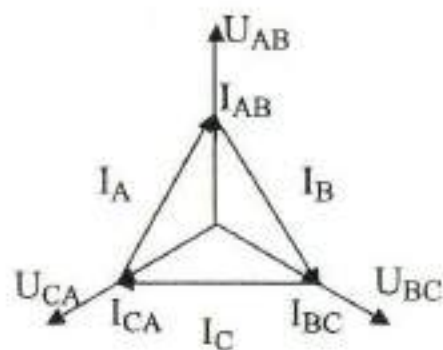


Рис. 1

3. Порядок выполнения работы

3.1. Ознакомиться с лабораторной установкой (модуль питания, модуль мультиметров, стрелочные измерительные приборы, набор минимодулей, наборное поле).

3.2. Включить модуль питания стенда (выключатель QF1) и источник трехфазного напряжения. Установить на мультиметре режим измерения переменного напряжения и измерить мультиметром линейные напряжения источника питания на холостом ходу. Результаты измерений занести в табл. 1. Выключить электропитание. Вычислить среднее значение линейного напряжения $U_{л}$.

Таблица 1

$U_{AB}, В$	$U_{BC}, В$	$U_{CA}, В$	$U_{л}, В$

3.3. В соответствии с рис. 1. собрать схему симметричной трехфазной цепи при соединении потребителей в треугольник. Предъявить схему для проверки.

3.4. Включить электропитание (выключатель QF1) и источники постоянного и трехфазного напряжений. Измерить фазные токи I_{AB}, I_{BC}, I_{CA} и линейный ток I_A , а также напряжения на потребителях. Результаты занести в табл. 2.

3.5. Разомкнуть с помощью тумблера SA1 линейный провод фазы «В» и измерить фазные токи I_{AB}, I_{BC}, I_{CA} и линейный ток I_A , а также напряжения на потребителях. Результаты занести в табл. 2.

3.6. Выключить с помощью тумблера SA2 нагрузку в фазе потребителя «СА» и провести измерения. Результаты занести в табл. 2.

3.7. Разомкнуть с помощью тумблера SA1 линейный провод фазы «В», и с помощью тумблера SA2 нагрузку в фазе потребителя «СА». Измерить фазные токи I_{AB}, I_{BC}, I_{CA} и линейный ток I_A , а также напряжения на потребителях. Результаты занести в табл. 2. Выключить источники трехфазного и постоянного напряжений.

Таблица 2

Режим нагрузки	Ток нагрузки, мА						Напряжение на фазах потребителя, В		
	I_A	I_B	I_C	I_{AB}	I_{BC}	I_{CA}	U_{ab}	U_{bc}	U_{ca}
Симметричная нагрузка									
Обрыв линейного провода «В»									
Обрыв фазы потребителя «СА»									
Обрыв фазы потребителя «СА» и обрыв линейного провода «В»									

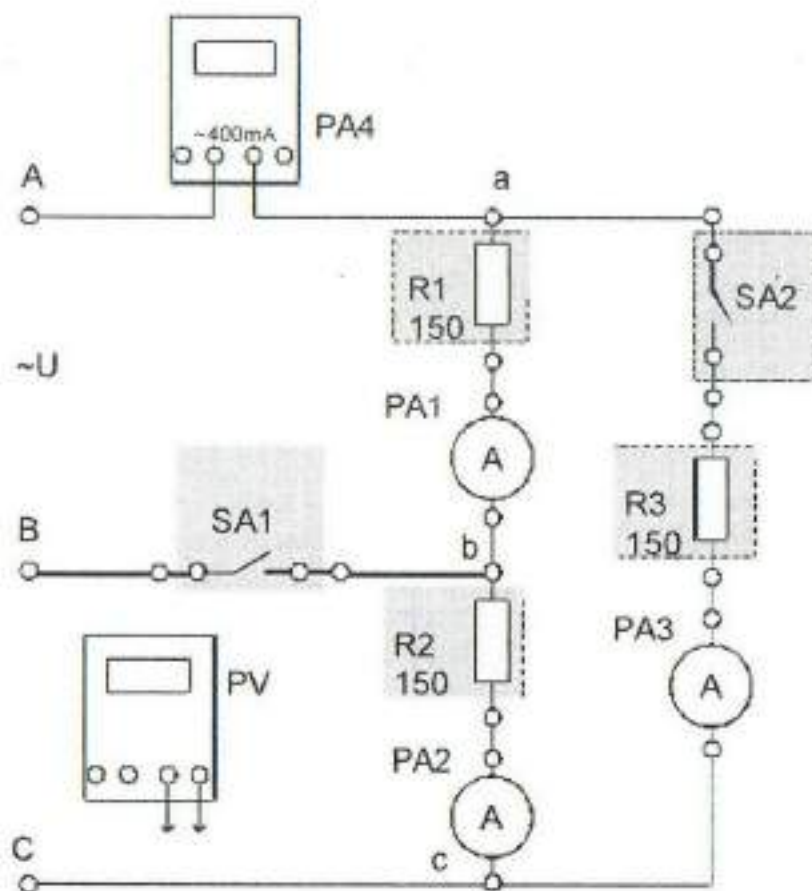


Рис. 1

3.8. Для всех опытов построить в масштабе векторные диаграммы.

3.9. По векторным диаграммам определить для исследованных режимов линейные токи I_B и I_C .

3.10. Сравнить результаты измерений линейных и фазных токов при соединении потребителя в треугольник для исследованных режимов.

3.11. Проанализировать влияние обрывов линейного и фазного проводов на режимы работы потребителей.

Выключить электропитание стенда (автоматический выключатель QF модуля питания).

4. Содержание отчета

Отчет по работе должен содержать:

- наименование работы и цель работы;
- технические данные электроизмерительных приборов;
- схему эксперимента с включенными измерительными приборами;
- таблицы с результатами эксперимента;
- векторные диаграммы для всех проведенных опытов;
- выводы по работе.

5. Контрольные вопросы

- Каким образом три однофазных потребителя соединяют в треугольник?
- Куда следует подключать вольтметр, чтобы измерить фазное и линейное

напряжения трехфазного потребителя?

3. В каком соотношении находятся фазные и линейные напряжения симметричного потребителя, соединенного в треугольник?

4. Какое соотношение между фазными и линейными токами симметричного потребителя, соединенного в треугольник?

5. Всегда ли справедливы при соединении в треугольник соотношения

$$\bar{I}_A = \bar{I}_{AB} - \bar{I}_{CA}, \quad \bar{I}_B = \bar{I}_{BC} - \bar{I}_{AB}, \quad \bar{I}_C = \bar{I}_{CA} - \bar{I}_{BC}.$$

6. Всегда ли при соединении в треугольник справедливо соотношение

$$\bar{I}_A + \bar{I}_B + \bar{I}_C = 0?$$

7. Как отразится отключение одной фазы потребителя на режим работы других фаз и на режим работы всей трехфазной цепи, соединенной в треугольник?

8. Как повлияет обрыв линейного провода на режим работы потребителей при их соединении по схеме треугольник?

Работа № 2-6. НЕЛИНЕЙНАЯ ЦЕПЬ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

1. Цель работы

Экспериментальное исследование вольтамперных характеристик катушки индуктивности с ферромагнитным сердечником и конденсатора. Изучение формы кривой тока в катушке с сердечником. Сравнение экспериментальных результатов с расчетными результатами. Знакомство с работой двустороннего ограничителя уровня напряжения.

Перечень минимодулей

Наименование минимодуля	Количество
Резистор 2 Вт 1 Ом	1
Резистор 2 Вт 22 Ом	1
Резистор 2 Вт 680 Ом	1
Катушка индуктивности	1
Батарея конденсаторов	1
Двуханодный стабилитрон	1

2. Пояснения к работе

Важным элементом конструкции различных электрических машин и аппаратов, устройств электроавтоматики является катушка индуктивности. При протекании тока по виткам катушки создается магнитное поле, интенсивность которого характеризуется магнитной индукцией B и магнитным потоком Φ , который пропорционален намагничивающей (магнитодвижущей) силе $F=I\omega$, равной произведению тока I катушки на число её витков ω . Зависимость $\Phi(I)$ при отсутствии ферромагнитного магнитопровода (сердечника) является линейной.

При наличии сердечника магнитный поток, создаваемый такой катушкой при прочих равных условиях значительно возрастает, так как в этом случае магнитный поток создается не только проводниками с током (источником внешнего магнитного поля), но и соответствующим ферромагнитным веществом магнитопровода (источником внутреннего магнитного поля).

Магнитная индукция B катушки индуктивности связана с напряженностью H магнитного поля и магнитной проницаемостью μ известным соотношением $B = \mu H$, магнитный поток $\Phi = BS = \mu HS$, где S – поперечное сечение катушки.

Отсюда следует, что магнитный поток пропорционален магнитной проницаемости среды μ , которая для ферромагнитных материалов значительно больше, чем магнитная проницаемость других материалов. Поэтому для уменьшения намагничивающей силы F , а следовательно, и для уменьшения тока, необходимого для создания требуемого магнитного потока, катушки индуктивности снабжаются магнитопроводом (сердечником) из ферромагнитного материала, чаще всего из электротехнической стали.

Так как зависимость магнитной

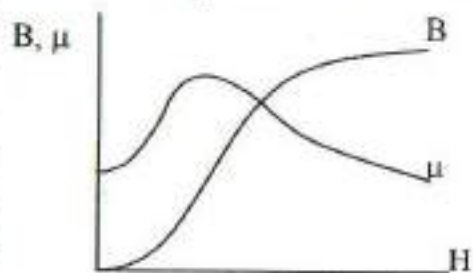


Рис. 1

проницаемости ферромагнитных материалов $\mu(H)$ является нелинейной (рис. 1), то и зависимость $\Phi(H)$ или $B(H)$ при наличии магнитопровода оказывается тоже нелинейной. Зависимость $B(H)$ – кривая намагничивания – является одной из важнейших характеристик ферромагнитных материалов (рис. 2). Кривая, проходящая через начало координат, является основной кривой намагничивания. Она снимается при одностороннем намагничивании ненамагниченного предварительно материала.

При питании катушки переменным током ферромагнитный магнитопровод из-за переменного магнитного потока циклически, с частотой тока перемагничивается по кривой гистерезиса, обусловленной наличием остаточной магнитной индукции B_0 и коэрцитивной силы H_C (рис. 2). За несколько полупериодов переменного тока в процессе циклического перемагничивания устанавливается замкнутая симметричная петля гистерезиса.

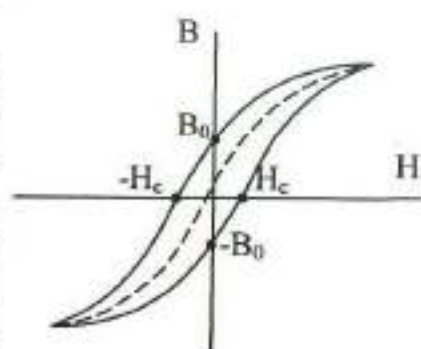


Рис. 2

На циклическое перемагничивание магнитопровода затрачивается мощность, выделяемая в виде теплоты, которая относится к потерям мощности в магнитопроводе. Потери мощности в магнитопроводе (потери мощности в стали) $P_{СТ}$ включают в себя потери на гистерезис P_H и потери от вихревых токов $P_{ВТ}$, наводимых переменным магнитным потоком в металле магнитопровода, :

$$P_{СТ} = P_H + P_{ВТ}.$$

Для уменьшения потерь мощности на гистерезис в качестве материала для магнитопровода используют ферромагнитные материалы с узкой петлей гистерезиса. Уменьшение потерь мощности на вихревые токи достигается применением для магнитопровода металлов с большим удельным электрическим сопротивлением за счет повышенного содержания кремния в металле. При этом магнитопровод собирается из тонких электрически изолированных друг от друга пластин, что способствует уменьшению наводимых в каждой пластине вихревых токов и снижению потерь мощности от этих токов.

При питании синусоидальным напряжением ток в катушке с ферромагнитным сердечником искажает свою форму и является несинусоидальным во времени. На рис. 3 показано построение кривой тока в катушке с ферромагнитным сердечником с учетом магнитного гистерезиса. Из рисунка видно, что начальные фазы магнитного потока и тока не совпадают (угол сдвига δ).

В связи с этим первая гармоника тока (или эквивалентный ток) отстает от приложенного напряжения на угол $\varphi < 90^\circ$. Наличие сдвига по фазе между напряжением и током меньшего, чем 90° указывает на то, что активная мощность в цепи не равна нулю даже

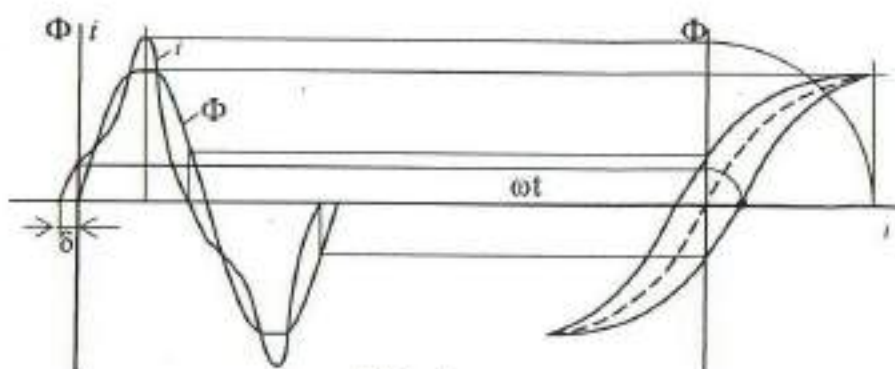


Рис. 3

если активное сопротивление обмотки катушки равно нулю. Поэтому ток катушки из-за потерь на гистерезис имеет активную составляющую I_A , а средняя мощность за период не равна нулю. Эта активная мощность характеризует расход энергии на перемагничивание ферромагнитного сердечника.

При наличии несинусоидальных токов для упрощения расчетов обычно переходят к эквивалентному синусоидальному току $I_{ЭК}$, имеющему одинаковое с соответствующим несинусоидальным током действующее значение при одинаковой частоте и развивающему одинаковую с ним активную мощность при одинаковом значении коэффициента мощности

$$I = \sqrt{1/T \int_0^T i^2 dt} = I_{ЭК} = I_{mЭК} / \sqrt{2};$$

$$\cos \varphi = P/UI = \cos \varphi_{ЭК} = P/U I_{ЭК}$$

Полное сопротивление катушки индуктивности с магнитопроводом при расчетах находят по закону Ома

$$Z_{ЭК} = U/I.$$

Эквивалентное активное сопротивление катушки определяют при этом по значению активной мощности P , потребляемой катушкой из питающей сети, и её току или по значению потерь мощности в сердечнике $P_{СТ}$ и активному сопротивлению R проводов катушки

$$R_{ЭК} = P/I^2 = P_{СТ}/I^2 + R.$$

Эквивалентное индуктивное сопротивление катушки

$$X_{ЭК} = \sqrt{Z_{ЭК}^2 - R_{ЭК}^2}.$$

При этом индуктивность катушки $L = X_{ЭК}/\omega = X/2\pi f$.

При увеличении амплитуды напряжения на катушке индуктивности с ферромагнитным сердечником амплитуда и действующее значение тока в ней будут возрастать быстрее. В результате вольтамперная характеристика катушки с ферромагнитным сердечником оказывается нелинейной (рис. 4). По форме она повторяет кривую намагничивания сердечника $B(H)$.

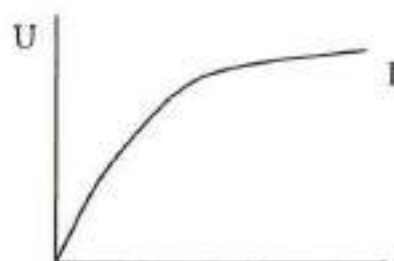


Рис. 4

В цепях, содержащих катушку с ферромагнитным сердечником и конденсатор, резонансные явления, связанные с нелинейным характером индуктивности, называются феррорезонансом. В отличие от линейной цепи феррорезонанс может наступить в такой цепи при изменении тока в цепи или приложенного напряжения без какой-либо регулировки катушки или конденсатора. На рис. 5 показана вольтамперная характеристика последовательной цепи, в которой возможен феррорезонанс напряжений.

Вольтамперная характеристика емкости (2) пересекает вольтамперную характеристику катушки (1). Точка пересечения А является точкой резонанса. В этой точке U_L и U_C одинаковы, а их разность равна нулю. При непрерывном увеличении напряжения источника ток плавно

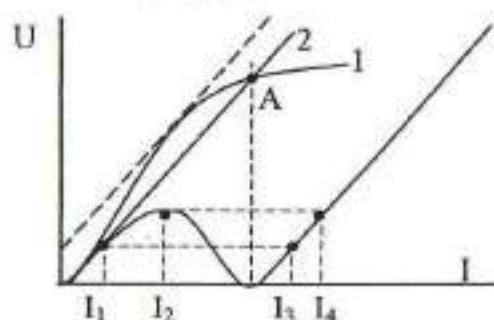


Рис. 5

растет до I_2 , затем скачком увеличивается до I_4 и далее плавно растет. При уменьшении напряжения ток плавно уменьшается до I_3 , затем скачком до I_1 и снова плавно падает. Скачкообразное изменение тока сопровождается изменением на 180° фазы тока по отношению к напряжению (опрокидывание фазы).

Явление резкого изменения тока в цепи при незначительных изменениях напряжения на входе цепи иногда называют триггерным эффектом в последовательной феррорезонансной цепи. Он имеет место при малых значениях активного сопротивления цепи.

При напряжениях источника, больших напряжения опрокидывания фазы, напряжение на катушке изменяется мало, что связано с переходом по характеристике намагничивания в область магнитного насыщения. Это используется в практике для стабилизации напряжения.

Ограничители амплитуды – это устройства, у которых выходное напряжение изменяется пропорционально входному до некоторого значения, называемого уровнем ограничения. После этого значение выходного напряжения не

зависит от входного и остается постоянным (рис.6). В низкочастотных устройствах часто используют ограничители на стабилитронах (рис.7). Вольтамперная характеристика двуханодного стабилитрона показана на рис.7. С помощью этих устройств легко формировать трапецеидальное напряжение из синусоидального напряжения (рис.8). Если амплитуда $U_{вх} \gg U_{ст}$ можно получить напряжение, близкое по форме к прямоугольным импульсам.

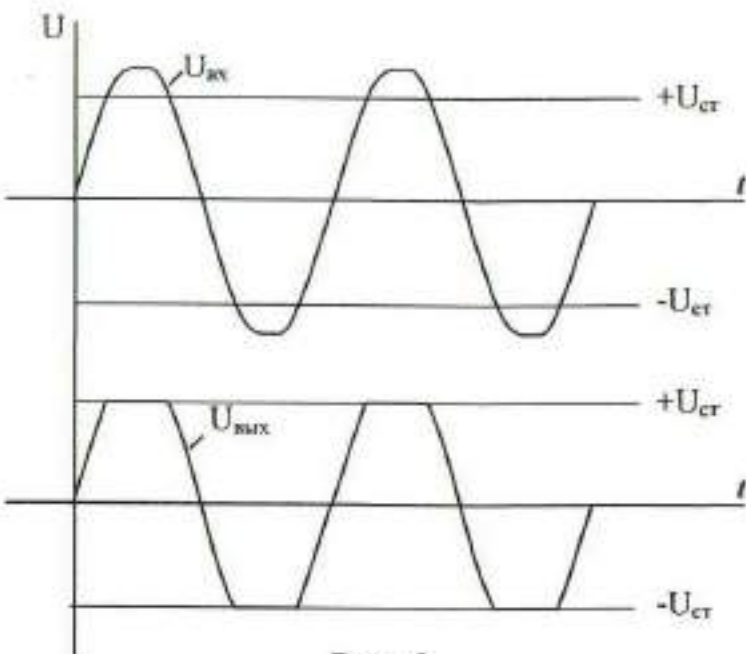


Рис. 6

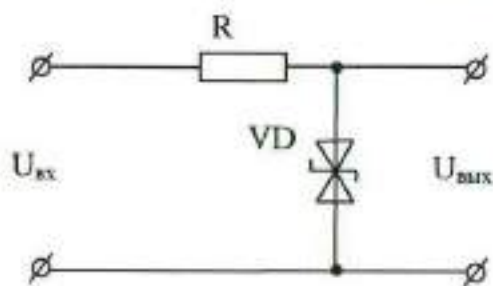


Рис. 7

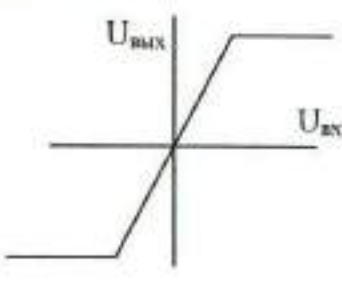


Рис. 8

3. Порядок выполнения работы

3.1. Ознакомиться с лабораторной установкой (модуль питания, функциональный генератор, модуль мультиметров, набор минимодулей, осциллограф).

3.2. Для снятия вольтамперной характеристики катушки индуктивности с ферромагнитным сердечником собрать электрическую цепь по рис. 1. В качестве амперметра и вольтметра использовать мультиметры в соответствующих режимах работы. В качестве регулируемого источника синусоидального

напряжения использовать модуль **ФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ ГЕНЕРАТОР** на частоте 50 Гц. Подключить параллельно добавочному резистору R1 выводы осциллографа. Представить схему для проверки преподавателю.

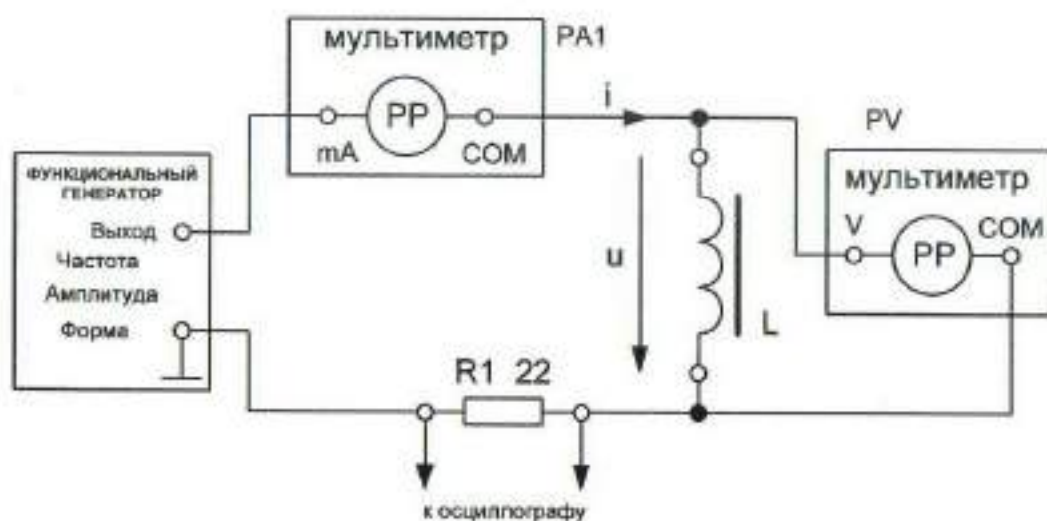


Рис. 1

3.3. Снять вольтамперную характеристику $U_k=f(I_k)$ катушки индуктивности L. Установить ручку потенциометра **Амплитуда** в крайнее левое положение. Включить модуль питания (выключатель QF) и ФГ. Плавно увеличивая от нуля напряжение потенциометром **Амплитуда**, измерять напряжения на катушке U_k и ток I_k . Результаты измерений занести в табл. 1. При проведении измерений наблюдать с помощью осциллографа форму кривой тока в цепи. Зарисовать вид кривой тока. Выключить ФГ.

Таблица 1

$U_k, \text{В}$	0						
$I_k, \text{А}$							

3.4. Для снятия вольтамперной характеристики конденсатора подключить вместо катушки с сердечником батарею конденсаторов C (минимодуль батареи конденсаторов). Установить переключатель минимодуля батареи конденсаторов в заданную преподавателем позицию. Включить ФГ и снять вольтамперную характеристику конденсатора. Выполнять аналогично п. 2.3. Результаты измерений занести в табл. 2. Выключить электропитание.

Таблица 2

$U_c, \text{В}$	0						
$I_c, \text{А}$							

3.5. Используя полученные экспериментальные результаты, построить в одной системе координат вольтамперные характеристики катушки с ферромагнитным сердечником и конденсатора. Для случая последовательного соединения катушки с ферромагнитным сердечником и исследованного конденсатора построить вольтамперную характеристику такой цепи.

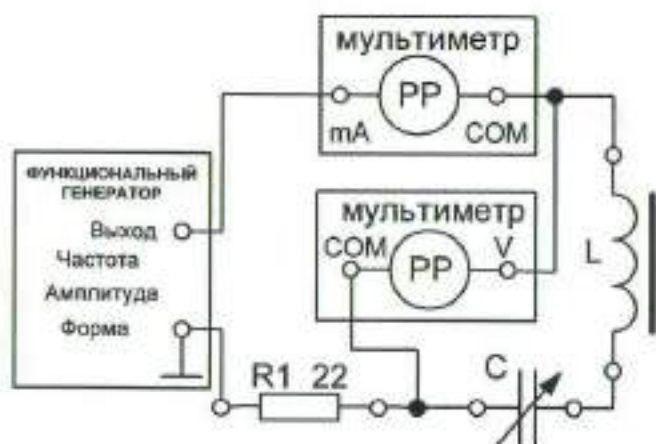


Рис. 2

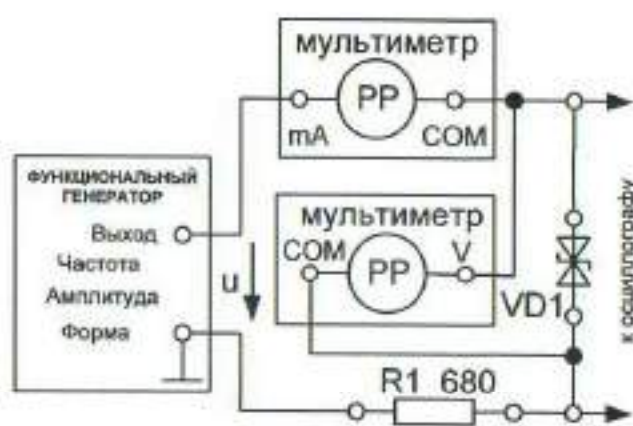


Рис. 3

3.6. Собрать электрическую цепь с последовательным соединением катушки с ферромагнитным сердечником и конденсатора (рис. 2).

После проверки схемы преподавателем включить ФГ. Плавно увеличивая потенциометром **Амплитуда** входное напряжение U от нуля, снять вольтамперную характеристику всей цепи. Результаты измерений занести в табл. 3.

Таблица 3

U, В	0					
I, А						

3.7. По экспериментальным результатам построить ВАХ цепи с последовательным соединением катушки с ферромагнитным сердечником и конденсатора. Сравнить полученную характеристику с расчетной характеристикой.

3.8. Ознакомиться с работой ограничителя уровня напряжения. Для этого собрать схему по рис. 3. Подключить параллельно двуханодному стабилитрону VD1 осциллограф.

Плавно увеличивая от нуля напряжение потенциометром **Амплитуда** наблюдать по осциллографу форму выходного напряжения. Измерить осциллографом амплитуду напряжения на стабилитроне и мультиметром значение тока, при которых начинается ограничение амплитуды выходного напряжения и сравнить их с паспортными данными стабилитрона 2С162А. Зарисовать осциллограммы наибольшего входного и соответствующего выходного напряжений, измерить амплитуду выходного напряжения и величину тока через стабилитрон.

Выключить электропитание.

4. Содержание отчета

Отчет по работе должен содержать:

- наименование и цель работы;
- схемы экспериментов и таблицы с результатами измерений;
- расчетные и экспериментальные вольтамперные характеристики;
- осциллограммы напряжений и токов;
- сравнение результатов расчета с экспериментальными данными;
- выводы о свойствах исследованных цепей.

5. Контрольные вопросы

1. Объяснить назначение ферромагнитного сердечника катушки индуктивности.
2. Пояснить влияние сердечника на величину индуктивности катушки.
3. Как изменится вольтамперная характеристика катушки индуктивности при наличии воздушного зазора в сердечнике?
4. Почему сердечник обычно выполняется из изолированных друг от друга пластин электротехнической стали?
5. Объяснить причину искажения синусоидальной формы тока при питании катушки индуктивности синусоидальным напряжением.
6. Как определить параметры схемы замещения катушки с ферромагнитным сердечником?
7. Каким образом в цепи с последовательным соединением линейной катушки индуктивности и конденсатора можно обеспечить возникновение резонанса напряжений?
8. В чем особенности явления феррорезонанса напряжений?
9. Почему с увеличением емкости конденсатора возможно изменение величины питающего напряжения, при котором происходит триггерный эффект?
10. Каково практическое применение феррорезонансных явлений?
11. Объяснить причину изменения формы выходного напряжения ограничителя уровня напряжения.

Работа № 2-7. ПЕРЕХОДНЫЕ ПРОЦЕССЫ В R-L И R-C ЦЕПИ

1. Цель работы

Целью лабораторной работы является экспериментальное исследование переходных процессов в цепи с одним накопителем энергии электрического или магнитного полей.

Перечень минимодулей

Наименование минимодуля	Количество
Дроссель	1
Конденсатор 1мкФ	1
Резистор 10 Ом	1
Резистор 150 Ом	1
Резистор 330 Ом	1
Резистор 680 Ом	1
Резистор 1 кОм	1

2. Пояснения к работе

Процесс перехода режима работы электрической цепи от одного к другому называется *переходным*.

В общем случае в электротехнике принято, что возникновение переходного процесса связано с явлением *коммутации*. Принимается допущение, что коммутация начинается в момент времени $t = 0$ и совершается мгновенно: $\Delta t_k = 0$. При этом различают два момента времени: момент времени непосредственно предшествующий коммутации $t(-0)$, или $t(0-)$ и момент времени непосредственно после коммутации $t(0+)$, или $t(+0)$. Предположение $\Delta t_k = 0$ приводит к законам коммутации.

В момент коммутации ток в ветви с индуктивностью не изменяется, т. е. $i_L(+0) = i_L(-0) = i_L(0)$. Напряжение на емкости в момент коммутации не изменяется, т. е. $u_C(+0) = u_C(-0) = u_C(0)$.

Значения $u_C(0)$ и $i_L(0)$ называются *независимыми начальными условиями*. Для идеальных элементов R, C ток в момент коммутации может меняться скачком, т. е. $i_R(-0) \neq i_R(+0)$; $i_C(-0) \neq i_C(+0)$. Для идеальных элементов R и L в момент коммутации скачком могут меняться напряжения, т. е. $u_R(-0) \neq u_R(+0)$; $u_L(-0) \neq u_L(+0)$. Значения $i_R(+0)$; $i_C(+0)$; $u_R(+0)$; $u_L(+0)$ называются *зависимыми начальными условиями*.

В переходном процесса мгновенные значения напряжений и токов не являются периодическими функциями времени. Если положительные направления напряжения и тока на элементе одинаковы, то уравнения идеальных элементов имеют вид:

$$u_R(t) = Ri_R(t); u_L(t) = L \frac{di_L}{dt}; i_C(t) = C \frac{du_C}{dt}.$$

Переходный процесс в цепи с одним накопителем энергии и источником постоянного напряжения (тока) описывают линейным неоднородным ($F \neq 0$)

дифференциальным уравнением вида

$$\frac{dx(t)}{dt} + ax(t) = bF.$$

В этом уравнении $x(t) = u_C(t)$ для $R-C$ цепи, $x(t) = i_L(t)$ для $R-L$ цепи. F – постоянная, зависящая от величин напряжения или тока источников, a и b не зависящие от времени коэффициенты.

Общее решение этого уравнения имеет вид $x(t) = x_{св}(t) + X_{пр}$. Свободная составляющая решения $x_{св}(t)$ определяется как общее решение однородного дифференциального уравнения

$$\frac{dx_{св}(t)}{dt} + ax_{св}(t) = 0$$

и имеет вид: $x_{св}(t) = Ae^{pt}$. Здесь: A – постоянная интегрирования; $p = -a$ корень характеристического уравнения $p + a = 0$. Величина $\tau = 1/|p|$ имеет размерность времени и называется постоянной времени. За интервал времени $\Delta t = \tau$ свободная составляющая решения уменьшается в e раз. Выражение $x_{св}(t) = Ae^{-t/\tau}$ позволяет оценить длительность T_{mn} переходного процесса. Можно принять T_{mn} от 4τ до 5τ .

Величина $X_{пр}$ является частным решением уравнения

$$\frac{dX_{пр}}{dt} + aX_{пр} = bF.$$

Величина $X_{пр} = \frac{b}{a}F$ не зависит от времени и может быть рассчитана в установившемся режиме после коммутации.

Общее решение приобретает вид $x(t) = Ae^{pt} + X_{пр}$. Постоянная интегрирования A определяется из независимых начальных условий. При $t = 0$ $A + X_{пр} = x(0)$ и $A = x(0) - X_{пр}$.

3. Содержание и порядок выполнения работы

В лабораторной работе источником напряжения является модуль **ФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ ГЕНЕРАТОР**. Для наблюдения зависимостей от времени используют **ОСЦИЛЛОГРАФ**. Пассивные элементы электрической схемы выбирают из минимодулей: дроссель, конденсатор 1 мкФ и резисторы. Активное сопротивление R_x катушки измеряют мультиметром. Индуктивность L определяют расчетным способом, подключив дроссель к функциональному генератору на частоте 50 Гц и измерив напряжение и ток.

Электронный осциллограф позволяет наблюдать периодические процессы. Поэтому в работе исследуется переходный процесс при включении цепи на напряжение в форме знакопеременных импульсов прямоугольной формы (рис. 1). Если интервал времени $0,5T = T_{\text{ин}}$ и принять $T_{\text{ин}} = 5\tau$, то частота следования импульсов $f = 1/T = 1/10\tau$.

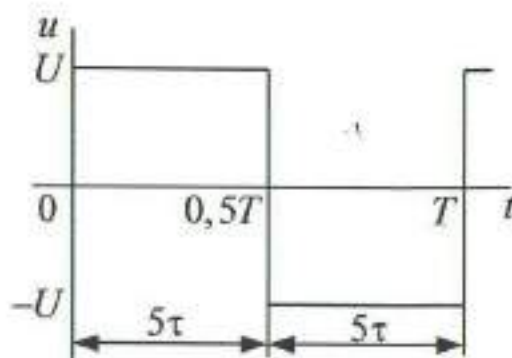


Рис. 1

Переходный процесс в $R-C$ цепи

- Собрать электрическую цепь по схеме, показанной на рис. 2. Подключить к выходу модуля **ФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ ГЕНЕРАТОР** цепь $R-C$.

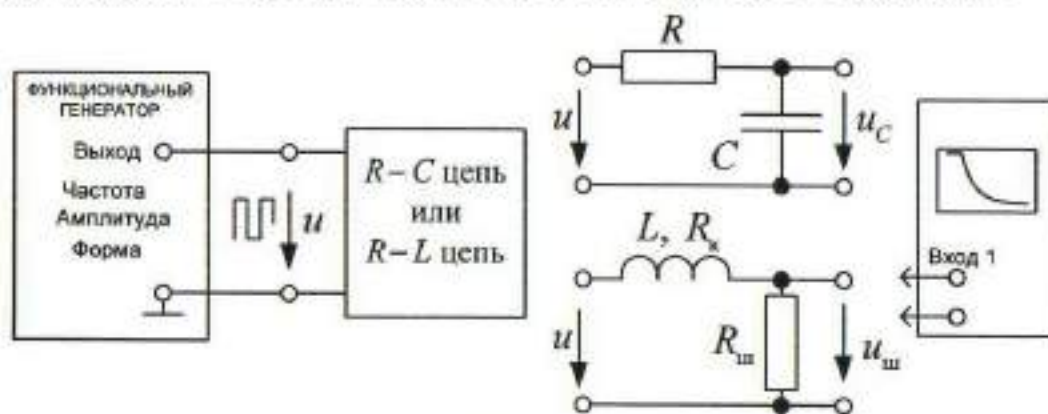


Рис. 2

- Проверить собранную электрическую цепь в присутствии преподавателя.
- Занести в протокол заданное преподавателем включение исследуемых цепей на напряжение $+U$ или $-U$.
- Установить заданные преподавателем параметры элементов. Выполнить предварительные расчеты, указанные в протоколе наблюдений.
- Включить автоматический выключатель **QF** блока **МОДУЛЬ ПИТАНИЯ** и тумблер **Сеть** модуля **ФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ ГЕНЕРАТОР**. Переключатель **Форма** включить в положение \square . Регулятором **Частота** установить на выходе модуля рассчитанную в протоколе частоту f . Регулятором **Амплитуда** установить величину действующего значения напряжения $U = 5$ В.
- Включить **ОСЦИЛЛОГРАФ**. Настроить линию нуля. Ручку регулятора вертикальной развертки повернуть по ходу часовой стрелки до упора.
- Подключить **Вход 1** осциллографа к источнику. Настроить переключатель усиления по напряжению так, чтобы максимально использовалась площадь экрана. Используя масштаб m_U на переключателе усиления по напряжению убедиться, что амплитуда входного напряжения $U_m = 5$ В. В остальных опытах использовать указанный порядок настройки осциллографа.
- Подключить **Вход 1** осциллографа к конденсатору C . Срисовать на кальку с экрана **ОСЦИЛЛОГРАФА** кривую зависимости $u_C(t)$. На рисунке написать

масштаб m_U .

Переходный процесс в $R-L$ цепи

- Подключить к выходу модуля **ФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ ГЕНЕРАТОР** цепь $R-L$. Измерить мультиметром сопротивление R_x катушки. Резистор $R_{ш} = 10$ Ом взять из комплекта минимодулей.
- Проверить собранную электрическую цепь в присутствии преподавателя.
- Установить заданные преподавателем параметры элементов. Выполнить предварительные расчеты, указанные в протоколе измерений.
- Подключить **Вход 1** осциллографа к резистору $R_{ш}$. Срисовать на кальку с экрана **ОСЦИЛЛОГРАФА** кривую зависимости $u_{ш}(t)$. На рисунке написать масштаб m_U .
- Прикрепить осциллограммы сигналов к протоколу измерений.
- Протокол измерений утвердить у преподавателя.
- Выключить автоматический выключатель **QF** блока **МОДУЛЬ ПИТАНИЯ**, тумблер **Сеть** модуля **ФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ ГЕНЕРАТОР** и **ОСЦИЛЛОГРАФ**.

4. Содержание отчета

Отчет по работе должен содержать:

- а) наименование работы и цель работы;
- б) схему экспериментов с включенными измерительными приборами;
- в) расчет переходных процессов;
- г) осциллограммы, полученные экспериментально;
- д) вывод по работе.

5. Контрольные вопросы

1. Поясните термин «переходные процессы»?
2. Какое влияние оказывают величины емкости и индуктивности элементов на вид переходных процессов?
3. Что такое накопитель электрической энергии? Какие элементы могут выполнять данную функцию?

Работа № 2-8. РАЗРЯД КОНДЕНСАТОРА С НА ЦЕПЬ R-L

1. Цель работы

Целью данной работы является экспериментальное исследование свободного процесса в цепи с двумя независимыми накопителями энергии электрического и магнитного полей.

Перечень минимодулей

Наименование минимодуля	Количество
Диод	1
Дроссель	1
Конденсатор 1мкФ	1
Резистор 150 Ом	2
Резистор 330 Ом	1
Резистор 680 Ом	1
Резистор 1 кОм	1

2. Пояснения к работе

Свободный процесс в цепи с двумя независимыми накопителями энергии (рис. 1) возникает при отключении цепи от источника напряжения.

Уравнение Кирхгофа

$$u_C + u_L + iR = 0$$

и уравнения элементов:

$$i = C \frac{du_C}{dt}; \quad u_L = L \frac{di}{dt}$$

определяют однородную систему двух линейных дифференциальных уравнений:

$$\begin{cases} \frac{di}{dt} = -\frac{R}{L}i - \frac{1}{L}u_C \\ \frac{du_C}{dt} = \frac{1}{C}i \end{cases} \rightarrow \begin{pmatrix} \frac{di}{dt} \\ \frac{du_C}{dt} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -\frac{R}{L} & -\frac{1}{L} \\ \frac{1}{C} & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} i \\ u_C \end{pmatrix} \rightarrow \begin{pmatrix} \frac{di}{dt} \\ \frac{du_C}{dt} \end{pmatrix} = \mathbf{A} \begin{pmatrix} i \\ u_C \end{pmatrix}.$$

Общее решение однородной системы имеет только свободные составляющие $i = i_{св}(t)$, $u_C = u_{св}(t)$. Для определения их вида необходимо найти корни характеристического уравнения $\det(\mathbf{A} - p\mathbf{1}) = 0$, где $\mathbf{1}$ – единичная матрица. В результате получаем $p^2 + \frac{R}{L}p + \frac{1}{LC} = 0$.

Корни характеристического уравнения

$$p_{1,2} = -\delta \pm \sqrt{\delta^2 - \omega_0^2},$$

где $\delta = R/2L$, $\omega_0 = 1/\sqrt{LC}$ – резонансная частота контура R-L-C.

Характер свободного процесса зависит от вида корней $p_{1,2}$, которые могут

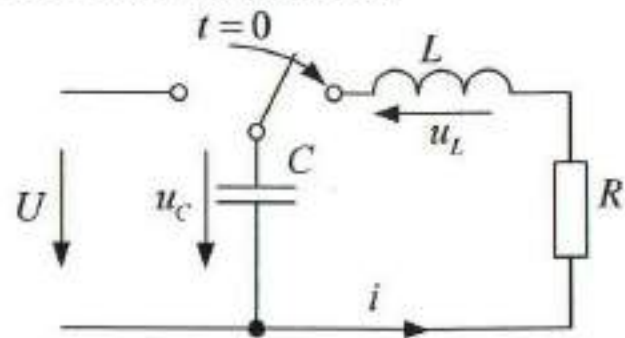


Рис. 1

быть:

- 1) отрицательными вещественными разными, если $\delta^2 > \omega_0^2$;
- 2) комплексными сопряженными с отрицательной вещественной частью, если $\delta^2 < \omega_0^2$: $p_{1,2} = -\delta \pm j\omega_c$, где $\omega_c = \sqrt{\omega_0^2 - \delta^2}$ частота затухающих колебаний;
- 3) отрицательными вещественными равными, если $\delta^2 = \omega_0^2$.

В случае разных корней общее решение имеет вид:

$$i_{\text{св}}(t) = B_1 e^{p_1 t} + B_2 e^{p_2 t}, \quad u_{\text{св}}(t) = A_1 e^{p_1 t} + A_2 e^{p_2 t}.$$

При $\delta^2 > \omega_0^2$, процесс называется аperiodическим; $\delta^2 < \omega_0^2$, – колебательным.

Смена характера переходного процесса происходит при $R_{\text{кр}} = 2\rho$, где $\rho = \sqrt{L/C}$ характеристическое сопротивление контура.

Корни характеристического уравнения позволяют оценить продолжительность переходного процесса. Временем переходного процесса обычно считают промежуток, в течение которого свободная составляющая уменьшается в $e^3 \dots e^5$ раз. Время аperiodического процесса можно оценить как $T = 3/|p_{\text{min}}|$, где $|p_{\text{min}}|$ – модуль меньшего из корней характеристического уравнения. Время колебательного переходного процесса $T \approx 3/(|\text{Re}(p_1)|)$.

Зависимости токов и напряжений показаны на рис. 2 для аperiodического и на рис. 3 для колебательного переходного процесса.

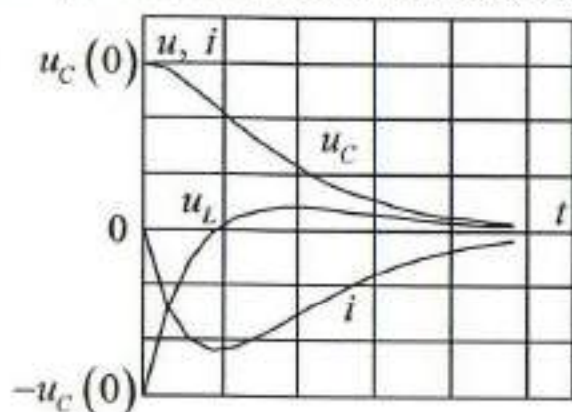


Рис. 2

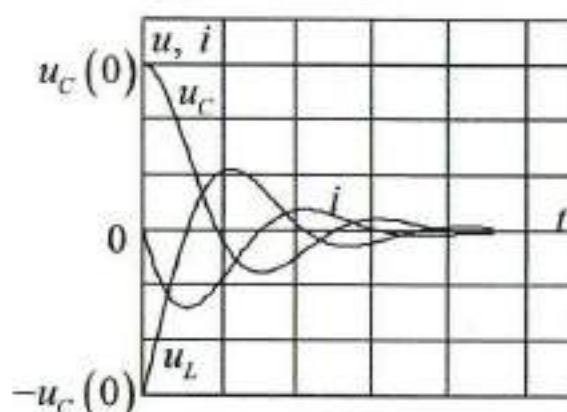


Рис. 3

При расчете постоянных интегрирования используют независимые начальные условия. К независимым начальным условиям относятся напряжение на конденсаторе и ток через катушку. Эти величины сохраняют свои значения в момент коммутации.

Для расчета двух постоянных A_1, A_2 необходимо два уравнения, в которых присутствуют значение функции и ее производной в момент коммутации:

$$u_C(t) = A_1 e^{p_1 t} + A_2 e^{p_2 t}; \quad i(t) = C \frac{du_C(t)}{dt} = C(A_1 p_1 e^{p_1 t} + A_2 p_2 e^{p_2 t}).$$

При $t = 0$ получаем $u_C(0) = A_1 + A_2$, $i(0) = C(A_1 p_1 + A_2 p_2)$. Учитывая, что

$$u_C(0) = U_m \text{ (рис. 13.4), } i(0) = 0, \text{ получаем } A_1 = \frac{U_m p_2}{p_2 - p_1} \text{ и } A_2 = -\frac{U_m p_1}{p_2 - p_1}.$$

3. Содержание и порядок выполнения работы

3.1. Описание эксперимента

Процесс разряда конденсатора C на цепь R, L в лабораторной работе исследуют в цепи по схеме, приведенной на рис. 1.

В лабораторной работе используют модуль ФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ ГЕНЕРАТОР. Для наблюдения зависимостей от времени используют ОСЦИЛЛОГРАФ. Пассивные элементы электрической схемы выбирают из минимодулей: диод, дроссель, конденсатор 1 мкФ и резисторы. Активное сопротивление R_x катушки измеряют мультиметром.

Конденсатор C в интервале времени от 0 до $T/2$ заряжается через диод $VD1$ и резистор R_1 до напряжения U_m с выхода модуля ФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ ГЕНЕРАТОР. В момент времени $t = T/2$ напряжение на выходе модуля становится равным $-U_m$ и диод $VD1$ закрывается. Емкость C разряжается на цепь $R-L$ (рис. 4). Далее процесс повторяется, что дает возможность наблюдать временные зависимости на экране осциллографа.

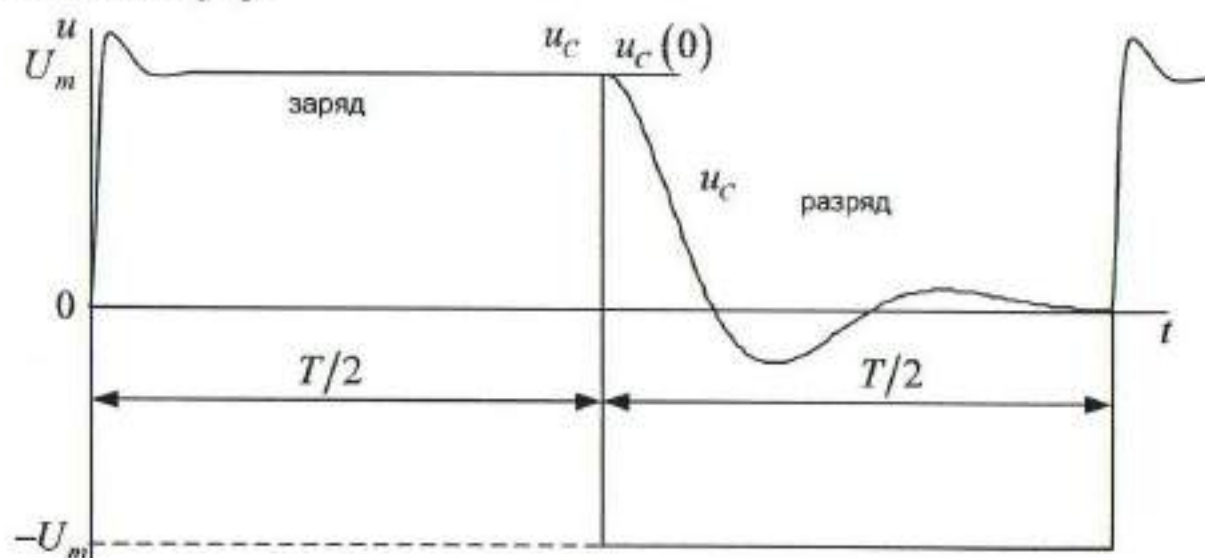


Рис. 4

Собрать электрическую цепь по схеме, показанной на рис. 5. Конденсатор C взять 1 мкФ, индуктивность L - дроссель, резисторы R, R_1 и диод $VD1$ - из минимодулей.

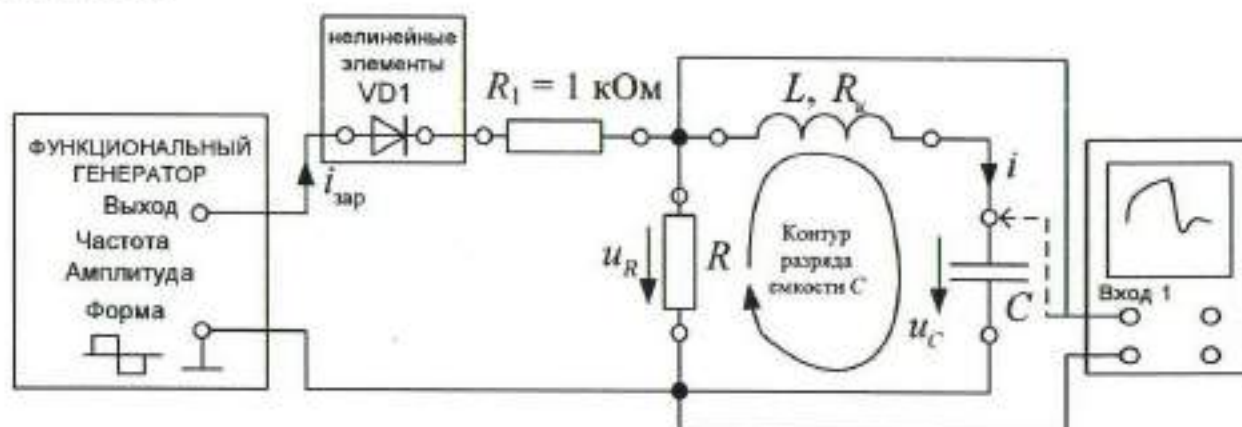


Рис. 5

Проверить собранную электрическую цепь в присутствии преподавателя.

Установить резистор R_1 величиной 1 кОм. Измерить мультиметром активное сопротивление R_k катушки. Записать значения в протокол измерений.

Включить автоматический выключатель QF блока МОДУЛЬ ПИТАНИЯ и тумблер Сеть модуля ФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ ГЕНЕРАТОР. Переключатель Форма включить в положение \square . Регулятором Частота установить на выходе модуля ФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ ГЕНЕРАТОР частоту $f = 20 \dots 50$ Гц. Регулятором Амплитуда установить величину действующего значения напряжения $U = 5$ В. Значение f и U записать в протокол измерений.

Включить ОСЦИЛЛОГРАФ. Настроить нулевое значение сигнала, повернуть ручку регулятора вертикальной развертки до упора по ходу часовой стрелки.

Подключить Вход 1 осциллографа к источнику. Настроить ручки горизонтальной развертки осциллографа таким образом, чтобы на экране полностью укладывался один период колебаний. Настроить переключатель усиления по напряжению так, чтобы максимально использовалась площадь экрана. Используя масштаб m_U на переключателе усиления по напряжению убедиться, что амплитуда входного напряжения $U_m = 5$ В. В остальных опытах использовать указанный порядок настройки осциллографа.

3.2. Аперриодический разряд емкости C на цепь $R-L$

Установить величину сопротивления $R = 1$ кОм. Рассчитать в протоколе измерений величину сопротивления $R_{кр}$. Убедиться, что $R + R_k > R_{кр}$.

Подключить Вход 1 осциллографа к резистору R . Срисовать на кальку с экрана ОСЦИЛЛОГРАФА кривую зависимости $u_R(t)$. На рисунке написать масштаб m_U .

Подключить Вход 1 осциллографа к конденсатору C . Срисовать на кальку с экрана ОСЦИЛЛОГРАФА кривую зависимости $u_C(t)$. На рисунке написать масштаб m_U .

3.3. Колебательный разряд емкости C на цепь $R-L$

Установить величину сопротивления $R = 680$ Ом (330 Ом, 150 Ом – по указанию преподавателя). Убедиться, что $R + R_k < R_{кр}$.

Подключить Вход 1 осциллографа к резистору R . Срисовать на кальку с экрана ОСЦИЛЛОГРАФА кривую зависимости $u_R(t)$. На рисунке написать масштаб m_U .

Подключить Вход 1 осциллографа к конденсатору C . Срисовать на кальку с экрана ОСЦИЛЛОГРАФА кривую зависимости $u_C(t)$. На рисунке написать масштаб m_U .

Выполнить расчеты корней характеристического уравнения.

Функции тока и напряжения и их производные для случая разных корней:

$$i(t) = i_{св}(t) = B_1 e^{p_1 t} + B_2 e^{p_2 t}, \quad u_C(t) = u_{св}(t) = A_1 e^{p_1 t} + A_2 e^{p_2 t};$$

$$u_L(t) = L \frac{di(t)}{dt} = L(B_1 p_1 e^{p_1 t} + B_2 p_2 e^{p_2 t}), \quad i(t) = C \frac{du_C(t)}{dt} = C(A_1 p_1 e^{p_1 t} + A_2 p_2 e^{p_2 t}).$$

4. Содержание отчета

Отчет по работе должен содержать:

- а) наименование работы и цель работы;
- б) схему экспериментов с включенными измерительными приборами;
- в) расчеты переходного процесса при апериодическом и колебательном разряде конденсатора классическим методом;
- г) расчетные графики напряжений на конденсаторе и на шунте, и сравнение их с зависимостями, полученными экспериментально;
- д) вывод по работе.

5. Контрольные вопросы

1. Поясните термин «переходные процессы»?
2. Какое влияние оказывают величины емкости и индуктивности элементов на вид переходных процессов?
3. Что такое накопитель электрической энергии? Какие элементы могут выполнять данную функцию?
4. Что такое апериодический переходный процесс?
5. Когда возникает колебательный переходный процесс? Сформулируйте условия его возникновения.
6. Что такое критическое сопротивление?

Работа № 2-9. ОДНОФАЗНЫЙ ТРАНСФОРМАТОР

1. Цель работы

Ознакомиться с назначением и основными характеристиками однофазного трансформатора, работой трансформатора при различном характере нагрузки.

Перечень используемых минимодулей

Наименование минимодуля	Количество
Трансформатор	1
Резистор 2 Вт 22 Ом	1
Тумблер	3
Батарейка конденсаторов	1
Потенциометр ППБ-3А-150	1

2. Пояснения к работе

Трансформатор – статический электромагнитный аппарат, преобразующий параметры электрической энергии переменного тока и передающий эту энергию из одной цепи в другую. С помощью трансформатора можно преобразовывать основные параметры электрической энергии переменного тока (ток, напряжение). Электрическая мощность при этом остается почти неизменной. В зависимости от соотношения номинальных напряжений у трансформатора различают обмотку высшего напряжения и обмотку низшего напряжения.

Коэффициент трансформации по напряжению показывает, как соотносится число витков первичной обмотки к числу витков вторичной обмотки, а также э.д.с., индуцируемые в обмотках

$$K_{12} = \omega_1 / \omega_2 = E_1 / E_2.$$

Коэффициент трансформации можно определить с достаточной точностью, измерив при холостом ходе трансформатора (вторичная обмотка разомкнута) напряжения на зажимах первичной и вторичной обмоток.

В режиме холостого хода трансформатор потребляет из сети электрическую энергию, которая идет на потери в стали (из-за вихревых токов и перемагничивания магнитопровода). Опыт холостого хода позволяет определить состояние стали трансформатора.

Подключение потребителей электрической энергии к трансформатору позволяет передавать им энергию, повышая или понижая напряжение. В данной работе исследуется однофазный понижающий трансформатор, который одновременно в таком же соотношении увеличивает силу тока

$$K_{12} = \omega_1 / \omega_2 \approx U_1 / U_2 \approx I_2 / I_1.$$

Так как первичная и вторичная обмотки трансформатора электрически не соединены, электрическая мощность из первичной обмотки во вторичную обмотку передается при помощи магнитного потока, замыкающегося по магнитопроводу (сердечнику) трансформатора.

Мощность, потребляемая трансформатором, больше мощности, отдаваемой трансформатором потребителю, на величину потерь в самом трансформаторе. Потери мощности в обмотках и сердечнике трансформатора невелики. Полная номинальная мощность трансформатора обычно определяется как $S_H = U_H I_H$,

где U_H – номинальное напряжение на вторичной обмотке трансформатора;
 I_H – номинальный ток вторичной обмотки трансформатора.

С увеличением нагрузки от холостого хода до номинальной напряжение на зажимах вторичной обмотки понижается из-за увеличения падения напряжения на внутреннем сопротивлении трансформатора. При этом увеличивается и ток, потребляемый трансформатором из сети, а общий магнитный поток в сердечнике трансформатора остается практически постоянным. Зависимость величины вторичного напряжения U_2 от тока нагрузки I_2 при неизменном первичном напряжении U_1 и частоте называется внешней характеристикой. Наклон внешней характеристики зависит от коэффициента мощности потребителя (характера потребителя).

Работа трансформатора описывается также рабочими характеристиками, к которым относятся зависимости I_1 , U_2 , $\cos\varphi_1$, $\eta = f(P_2)$ при $U_{1H} = \text{const}$, $\cos\varphi_2 = \text{const}$, где $P_2 = U_2 I_2 \cos\varphi_2$ – активная мощность трансформатора, отдаваемая нагрузке. Рабочие характеристики снимаются для выбора оптимальной зоны работы трансформатора.

3. Порядок выполнения работы

Ознакомиться с лабораторной установкой (модуль питания, комплект минимодулей, модуль мультиметров, измеритель мощности).

Собрать электрическую цепь (рис. 1).

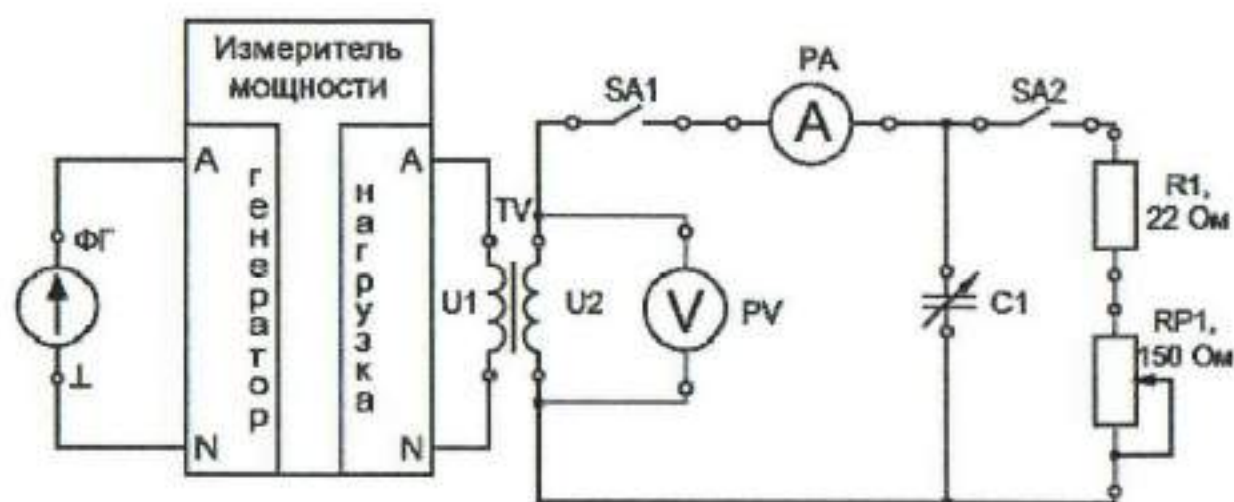


Рис. 1

В качестве источника первичного напряжения использовать модуль функционального генератора. В качестве вольтметра на вторичной стороне трансформатора использовать мультиметр в режиме измерения переменного напряжения. В качестве емкостной нагрузки C использовать минимодуль батареи конденсаторов. В качестве активной нагрузки использовать постоянный резистор $R=22$ Ом и потенциометр $RP1$ с сопротивлением 150 Ом, включенный по схеме переменного сопротивления. Предъявить схему для проверки преподавателю.

Включить электропитание стенда, модуль функционального генератора, мультиметр и измеритель мощности. Установить переключатель «Форма» на модуле функционального генератора в положение «~10 В», выставить частоту сигнала 50 Гц и установить величину выходного напряжения примерно 10 В.

Установить переключатель батареи конденсаторов в позицию «1». Измерить величину первичного U_{10} и вторичного U_{20} напряжения в режиме холостого хода трансформатора. Результаты измерений занести в табл. 1. По результатам измерений рассчитать коэффициент трансформации трансформатора K_{12} .

Таблица 1

$U_{10}, \text{В}$	$U_{20}, \text{В}$	K_{12}

Исследовать трансформатор в рабочем режиме при активном характере нагрузки. Для этого замкнуть тумблеры SA1 и SA2 и, изменяя величину сопротивления нагрузки RP1, измерить величины, указанные в табл. 2. По результатам исследования вычислить активную мощность вторичной цепи и коэффициент полезного действия трансформатора η , построить внешнюю характеристику трансформатора $U_2 = f(I_2)$ при активном характере нагрузки, зависимость первичного тока от величины вторичного тока $I_1 = f(I_2)$, зависимости коэффициента полезного действия трансформатора и его коэффициента мощности от активной мощности вторичной цепи P_2 .

Таблица 2

Измерено						Вычислено	
Вторичная цепь			Первичная цепь			$P_2, \text{Вт}$	η
$I_2, \text{мА}$	$U_2, \text{В}$	$U_1, \text{В}$	$I_1, \text{мА}$	$P_1, \text{Вт}$	$\cos \varphi_1$		

Снять внешнюю характеристику трансформатора при емкостном характере нагрузки. Для этого разомкнуть тумблер SA2. Величину емкости батареи конденсаторов С изменять с помощью переключателя минимодуля батареи конденсаторов С. Результаты измерений занести в табл. 3. По результатам исследования построить внешнюю характеристику трансформатора при емкостной нагрузке, сравнить ее с характеристикой, полученной при активной нагрузке. Выключить электропитание стенда.

Таблица 3

$U_2, \text{В}$									
$I_2, \text{А}$									

4. Содержание отчета

Отчет по работе должен содержать:

- наименование работы и цель работы;
- схему экспериментов с включенными измерительными приборами;
- таблицы с результатами экспериментов;
- экспериментальные характеристики;
- вывод по работе.

5. Контрольные вопросы

- Для чего предназначен трансформатор?
- Каков принцип действия трансформатора?
- Как опытным путем определить коэффициент трансформации?
- Почему при увеличении тока нагрузки увеличивается ток, потребляемый трансформатором из сети?
- Почему при изменении нагрузки изменяется КПД трансформатора?

6. Какие процессы характеризует активная мощность, потребляемая трансформатором в режиме холостого хода и в режиме короткого замыкания?

7. Почему при активной нагрузке увеличение тока ведет к уменьшению вторичного напряжения?

8. Почему внешняя характеристика трансформатора зависит от характера нагрузки?

ОГЛАВЛЕНИЕ

1 ОПИСАНИЕ СТЕНДА И ОБЩИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ОСУЩЕСТВЛЕНИЮ ЛАБОРАТОРНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА.....	5
1.1 Назначение и состав стенда	5
1.1.1 Модуль питания	5
1.1.2 Модуль функционального генератора.....	6
1.1.3 Модуль мультиметров	7
1.1.4 Наборное поле	8
1.1.5 Исследуемые минимодули.....	8
1.2 Порядок выполнения работ.....	9
1.3 Рекомендации по работе с осциллографом	9
1.4 Рекомендации по обеспечению техники безопасности при работе с осциллографом	10
1.5 Оформление отчетов по лабораторным работам.....	10
2 МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ПРОВЕДЕНИЮ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ	12
Работа № 1. ИССЛЕДОВАНИЕ ДИОДОВ.....	12
Работа № 2. ИССЛЕДОВАНИЕ БИПОЛЯРНОГО ТРАНЗИСТОРА	16
Работа № 3. ИССЛЕДОВАНИЕ УСИЛИТЕЛЬНОГО КАСКАДА НА БИПОЛЯРНОМ ТРАНЗИСТОРЕ	19
Работа № 4. ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ БИПОЛЯРНОГО ТРАНЗИСТОРА В КЛЮЧЕВОМ РЕЖИМЕ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ВИДАХ НАГРУЗКИ	22
Работа № 5. ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛЕВОГО ТРАНЗИСТОРА	25
Работа № 6. ИССЛЕДОВАНИЕ УСИЛИТЕЛЬНОГО КАСКАДА НА ПОЛЕВОМ ТРАНЗИСТОРЕ	29
Работа № 7. ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ ПОЛЕВОГО ТРАНЗИСТОРА В КЛЮЧЕВОМ РЕЖИМЕ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ВИДАХ НАГРУЗКИ	33
Работа № 8. ИССЛЕДОВАНИЕ ТИРИСТОРОВ	37
Работа № 9. ИССЛЕДОВАНИЕ САМОВОССТАНАВЛИВАЮЩЕГОСЯ ПРЕДОХРАНИТЕЛЯ	40
Работа № 10. ИССЛЕДОВАНИЕ ИНВЕРТИРУЮЩЕГО И НЕИНВЕРТИРУЮЩЕГО УСИЛИТЕЛЯ.....	44
Работа № 11. ИССЛЕДОВАНИЕ ИНТЕГРАТОРА И АКТИВНОГО ФИЛЬТРА.....	49
Работа № 12. ИССЛЕДОВАНИЕ КОМПАРАТОРОВ	53
Работа № 13. ИССЛЕДОВАНИЕ МУЛЬТИВИБРАТОРОВ	56
Работа № 14. ИССЛЕДОВАНИЕ ЦИФРОВЫХ ИНТЕГРАЛЬНЫХ МИКРОСХЕМ	59

Работа № 15. ИССЛЕДОВАНИЕ ОДНОПОЛУПЕРИОДНОГО НЕУПРАВЛЯЕМОГО ВЫПРЯМИТЕЛЯ.....	63
Работа № 16. ИССЛЕДОВАНИЕ ОДНОПОЛУПЕРИОДНОГО УПРАВЛЯЕМОГО ВЫПРЯМИТЕЛЯ.....	66
Работа № 17. ИССЛЕДОВАНИЕ ОДНОФАЗНОЙ МОСТОВОЙ СХЕМЫ ВЫПРЯМЛЕНИЯ.....	70
Работа № 18. ИССЛЕДОВАНИЕ ТРЕХФАЗНЫХ СХЕМ ВЫПРЯМЛЕНИЯ.....	74
Работа № 19. ИССЛЕДОВАНИЕ СГЛАЖИВАЮЩИХ ФИЛЬТРОВ.....	79
Работа № 20. ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО СТАБИЛИЗАТОРА НАПРЯЖЕНИЯ.....	83
Работа № 21. ИССЛЕДОВАНИЕ ПОНИЖАЮЩЕГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ПОСТОЯННОГО НАПРЯЖЕНИЯ.....	86

1 ОПИСАНИЕ СТЕНДА И ОБЩИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ОСУЩЕСТВЛЕНИЮ ЛАБОРАТОРНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА

1.1 Назначение и состав стенда

Методические указания предназначены для проведения лабораторно-практических занятий по электронике.

Элементы лабораторного стенда, используемые при проведении лабораторных работ по разделу «Основы электроники»:

– модуль питания, обеспечивающий подачу однофазного напряжения 220 В, низковольтного трехфазного переменного напряжения ~ 9 В (А, В, С) и низковольтных напряжений питания ± 15 В, а также защищающий стенд от короткого замыкания;

– модуль функционального генератора, обеспечивающего подачу измерительных сигналов различной формы к исследуемому устройству;

– модуль мультиметров, с помощью которого выполняются измерения значений тока и напряжения в цепях постоянного и переменного тока, а также величины сопротивлений;

– наборное поле с измерительными приборами служит для установки минимодулей. После сборки соответствующей схемы исследуются электрические и электронные цепи. Измерительные приборы наборного поля позволяют выполнять измерения стрелочными приборами напряжений и токов в электрических и электронных цепях;

– комплекты лабораторных минимодулей, позволяющие набрать схемы для проведения лабораторных работ по электрическим цепям и электронике.

1.1.1 Модуль питания

Модуль питания предназначен для ввода в лабораторный стенд однофазного переменного напряжения ~ 220 В и подачи с помощью соединительных проводов низковольтных постоянных напряжений ± 15 В, $0 \dots +12$ В и линейного трехфазного переменного напряжения ~ 15 В.

Внешний вид лицевой панели модуля представлен на рис. 1. На лицевой панели модуля кроме ручки автоматического выключателя QF установлен выключатель «Сеть» для подачи на выходные гнезда постоянного напряжения ± 15 В, постоянного регулируемого напряжения $+0 \dots 12$ В,

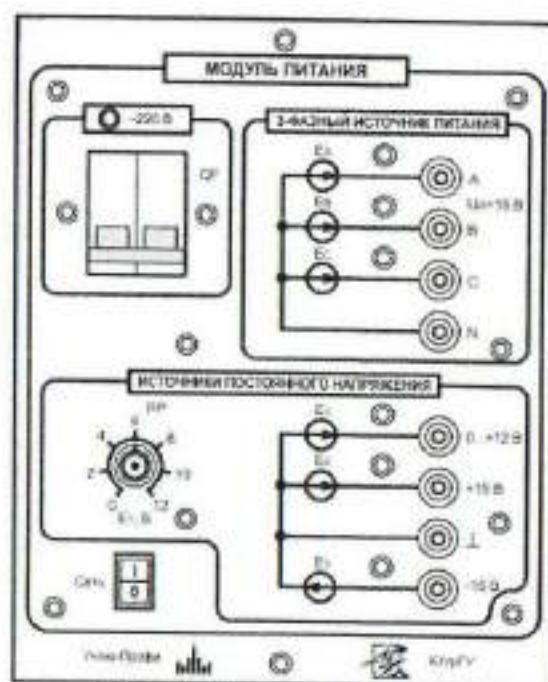


Рис. 1. Модуль питания

линейного трехфазного переменного напряжения ~ 15 В. Источники постоянного и трехфазного переменного напряжения содержат встроенную электронную защиту от перегрузок и коротких замыканий и световую индикацию (зеленого цвета) рабочего режима источника.

На лицевой панели установлены гнезда для подачи постоянного и переменного напряжений.

Характеристики источников постоянного и переменного напряжения приведены в таблицах 1 и 2 соответственно.

Таблица 1

$=U_{\text{вых}}, \text{В}$	$=I_{\text{вых}}, \text{А}$
+0...12	0 – 0,5
+15	0 – 0,3
-15	0 – 0,3

Таблица 2

$\sim U, \text{В}$	$\sim I_{\text{вых}}, \text{мА}$
A $\sim 9 \pm 10\%$	0 - 250
B $\sim 9 \pm 10\%$	0 - 250
C $\sim 9 \pm 10\%$	0 - 250

1.1.2 Модуль функционального генератора

Модуль функционального генератора (см. рис. 2) предназначен для получения измерительных сигналов с плавно регулируемой амплитудой и частотой следующих форм: однополярный меандр, двухполярный меандр, постоянный электрический сигнал, сигнал треугольной формы, синусоидальный сигнал.

Форма выходного сигнала устанавливается с помощью переключателя «Форма». Установка поддиапазона генерируемой частоты выполняется с помощью кнопки «Множитель», плавная установка частоты в поддиапазоне – с помощью регулятора «f, Гц».

Индикация в модуле выполнена:

- текущей частоты на 4-символьном индикаторе;
- поддиапазона «Гц» и «кГц» с помощью светодиодов в левой части индикатора.

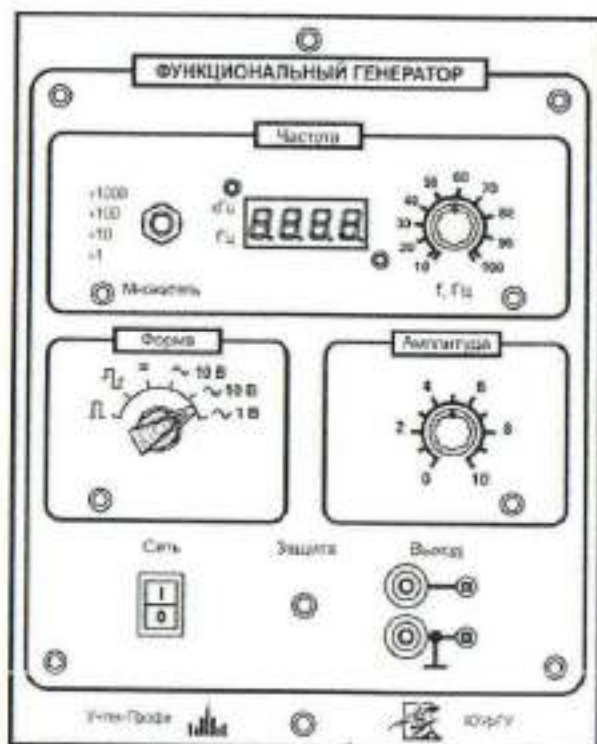


Рис. 2. Модуль функционального генератора

Плавная регулировка величины выходного напряжения проводится регулятором «Амплитуда».

Технические характеристики генератора приведены в табл. 3.

Таблица 3

Наименование параметра	Значение
Напряжение питания	$\sim 220 \text{ В} \pm 10\%$
Максимальный ток нагрузки, не менее	0,4 А
Диапазон регулирования амплитуды выходного напряжения, не менее	0,1...11 В
Частотный диапазон, не менее	10...100 000 Гц
Погрешность измерения частоты, не более	$\pm 5\%$
Выходное сопротивление, не более	2 Ом

Модуль содержит встроенную электронную защиту от перегрузок и коротких замыканий и световую индикацию срабатывания защиты красного цвета. В случае срабатывания защиты модуль возвращается в рабочее состояние самостоятельно после устранения перегрузки или короткого замыкания в исследуемой цепи.

1.1.3 Модуль мультиметров

Модуль мультиметров предназначен для выполнения измерений электрических величин. Внешний вид модуля представлен на рис. 3.

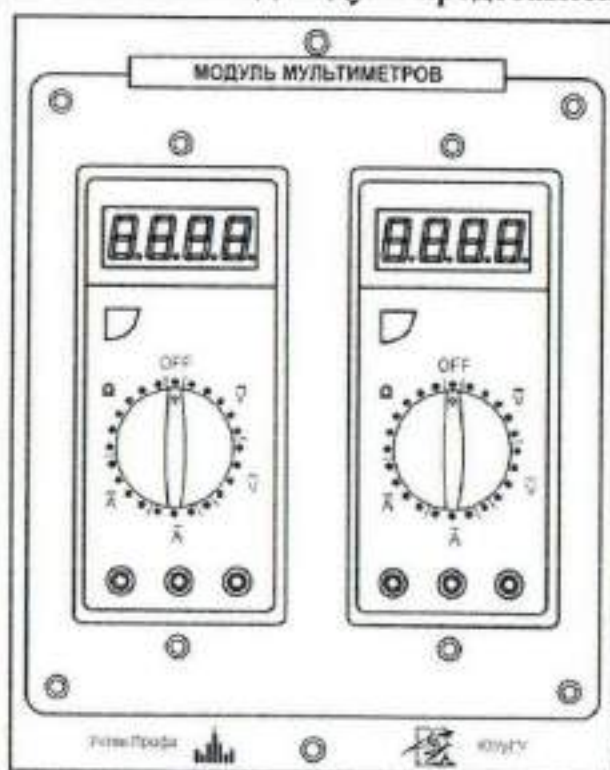


Рис. 3. Модуль мультиметров

1.1.4 Наборное поле

Наборное поле служит для установки минимодулей при сборке исследуемых электрических и электронных цепей. Гнезда соединены согласно мнемосхеме (рис. 4).

Для измерения токов в электрических и электронных цепях на наборном поле установлены стрелочные измерительные приборы: три миллиамперметра переменного тока типа Ц42302 с пределом измерений 100 мА, три миллиамперметра постоянного тока типа М42301 с пределом измерений 100 мА у двух приборов и 1 мА у одного прибора.

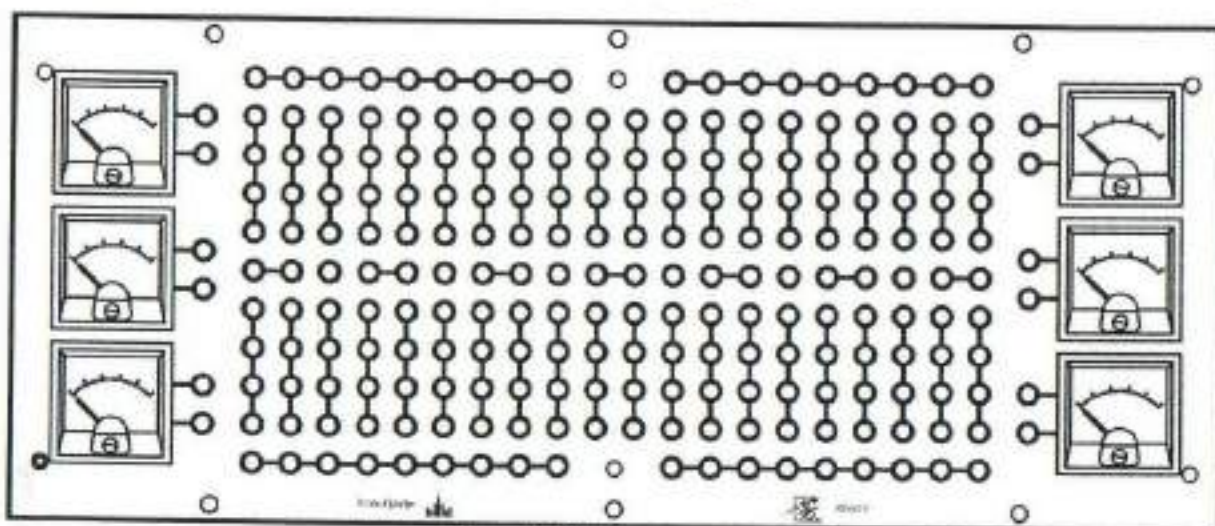


Рис. 4. Наборное поле

1.1.5 Исследуемые минимодули

№	Элемент	Кол-во, шт.
1.	Диод выпрямительный	2
2.	Диод Шоттки	1
3.	Стабилитрон	1
4.	Двуханодный стабилитрон	1
5.	Светодиод	1
6.	Самовосстанавливающийся предохранитель	1
7.	Резисторы	21
8.	Резистор переключаемый	1
9.	Потенциометры	3
10.	Конденсаторы	5
11.	Конденсатор переключаемый	1
12.	Операционный усилитель	2
13.	Транзистор p-p-p	1
14.	Транзистор полевой MOSFET с каналом n-типа	1
15.	Тиристор	1
16.	Диодный мост	1
17.	Логическая микросхема	2
18.	Дроссель	1
19.	Тумблер	3

1.2 Порядок выполнения работ

Перед выполнением работ все студенты должны изучить правила техники безопасности применительно к лаборатории промышленной электроники, для чего преподавателем проводится инструктаж. Краткий инструктаж проводится также на каждом занятии.

При подготовке к лабораторной работе необходимо:

- 1) ознакомиться с ее содержанием и, пользуясь рекомендованной литературой и конспектом лекций, изучить теоретические положения, на которых базируется работа;
- 2) изучить схему лабораторной установки и продумать методику выполнения лабораторной работы;
- 3) ответить на контрольные вопросы.

Перед выполнением каждой лабораторной работы необходимо сдать коллоквиум и представить отчет по предыдущей работе. Вопросы коллоквиума составлены на основе контрольных вопросов пособия.

При выполнении лабораторной работы необходимо:

- 1) ознакомиться с рабочим местом, проверить наличие необходимых приборов и соединительных проводов;
- 2) проверить положение стрелок электроизмерительных приборов и если требуется, установить на нуль; приборы с несколькими пределами измерения включить на наибольший предел;
- 3) провести сборку схемы;
- 4) после разрешения преподавателя включить питание и приступить к выполнению работы;
- 5) в начале каждого опыта качественно оценить характер зависимости, изменяя напряжения и токи в допустимых пределах, а затем провести требуемые измерения. При снятии характеристик надо обязательно снять крайние точки. Наибольшее число измерений следует проводить на участках резкого изменения наклона характеристик, а на линейных участках независимо от их протяженности достаточно снимать по три точки. Характеристики строятся непосредственно во время проведения эксперимента;
- 6) в ходе работы и по ее окончанию полученные данные представлять на проверку преподавателю;
- 7) схему разбирать только после проверки преподавателем результатов опыта (перед разборкой выключить источник питания!);
- 8) по окончании работы привести в порядок рабочее место.

1.3 Рекомендации по работе с осциллографом

Масштабы по напряжению m_u каналов ввода сигналов соответствует указанным на осциллографе около регуляторов 7 и 22, если ручки 9 и 21 установлены в крайние правые положения (до щелчка). При определении масштаба нужно учитывать наличие делителя.

При измерении напряжения на шунте масштаб по току:

$$m_i = \frac{m_u}{R_{ш}} \frac{A}{\text{дел.}}, \quad (1)$$

где $R_{ш}$ – сопротивление шунта.

1.4 Рекомендации по обеспечению техники безопасности при работе с осциллографом

При применении двухканального осциллографа возникает опасность коротких замыканий в схеме через два провода входов, связанных с корпусом осциллографа.

Осциллограф должен быть специально подготовлен к работе на стенде. Сетевой шнур следует подключать только в розетку с заземленным контактом (евророзетку).

От осциллографа в исследуемую схему должен идти только один провод, связанный с корпусом « \perp ». При подключении двух проводов оба сигнала будут измеряться относительно точки, к которой подсоединен корпус осциллографа (« \perp »).

Аналогично, сигнал внешней синхронизации должен подаваться на вход внешней синхронизации только одним проводом. При этом сигнал подается относительно точки, к которой подключен корпус осциллографа (« \perp »).

Целесообразно, чтобы не менять (мало менять) масштабы, подавать сигналы напряжения на один канал (например, $CH1$), а тока – на другой (например, $CH2$).

Эти рекомендации являются обязательными! Их невыполнение может привести к выходу из строя модулей стенда.

1.5 Оформление отчетов по лабораторным работам

В отчете должна быть сформулирована цель проведенной работы и представлены следующие материалы:

- 1) схемы экспериментов;
- 2) таблицы экспериментальных данных;
- 3) экспериментальные характеристики;
- 4) обработанные осциллограммы;
- 5) выводы (анализ экспериментальных данных, вида кривых, причин погрешностей и т. д.).

Отчет выполняется шариковой ручкой. Схемы вычерчиваются карандашом. Графики строятся на листах миллиметровой бумаги карандашом и вклеиваются в отчет. Отчет может быть напечатан на принтере.

Опытные точки могут иметь разброс. Экспериментальные кривые проводят плавно, максимально приближая к экспериментальным точкам. На графиках приводят название, обозначают, к какому опыту они относятся, и указывают постоянные величины, определяющие условия опыта. На осях координат надо обязательно указать, какая величина по ним отложена, в каких единицах она измеряется, и нанести деления. Цена деления должна быть удобной для работы.

Пример обработки осциллограммы приведен на рис. 5.

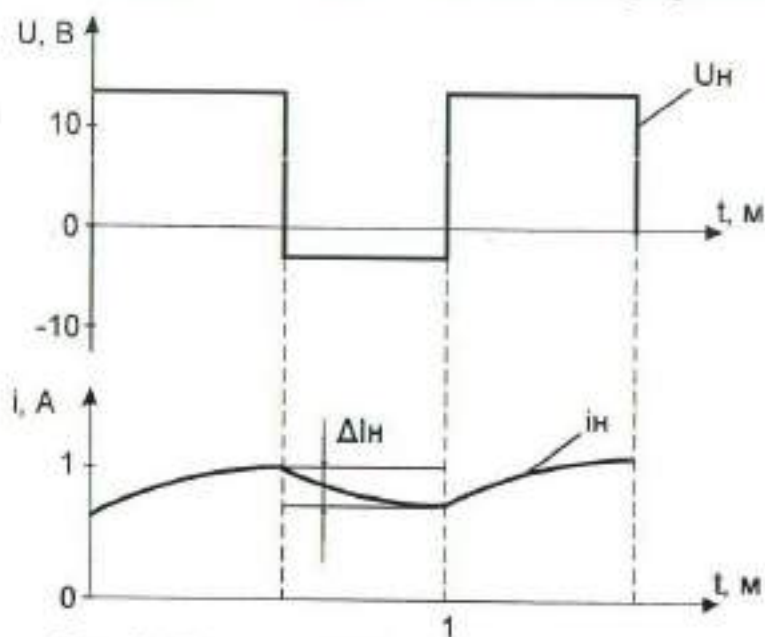


Рис. 5. Пример обработки осциллограмм

2 МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ПРОВЕДЕНИЮ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

Работа № 1. ИССЛЕДОВАНИЕ ДИОДОВ

1. Цель работы

Изучение характеристик и параметров диодов – выпрямительных, Шоттки, стабилитронов и светодиодов.

Перечень используемых в работе минимодулей:

Наименование минимодуля	Количество
Выпрямительный диод 1 А	1
Диод Шоттки 1 А	1
Стабилитрон 4,7 В	1
Светодиод 20 мА	1
Резистор 10 Ом	1
Резистор 150 Ом	1
Резистор 1,0 кОм	1

2. Задание и методические указания

1) Предварительное домашнее задание:

а) изучить темы курса «р-п переход», «Диоды» и содержание данной работы, быть готовым ответить на все контрольные вопросы;

б) пользуясь принципиальными схемами, приведенными в руководстве, начертить схемы соединений для проведения экспериментов, перечисленных в лабораторной работе;

2) Экспериментальное исследование выпрямительного диода:

а) Собрать схему для исследования выпрямительного диода на постоянном токе в соответствии с принципиальной схемой (см. рис. 1). В качестве источника электропитания использовать регулируемый источник постоянного напряжения $E1$ (0...12 В) с модуля питания. Для

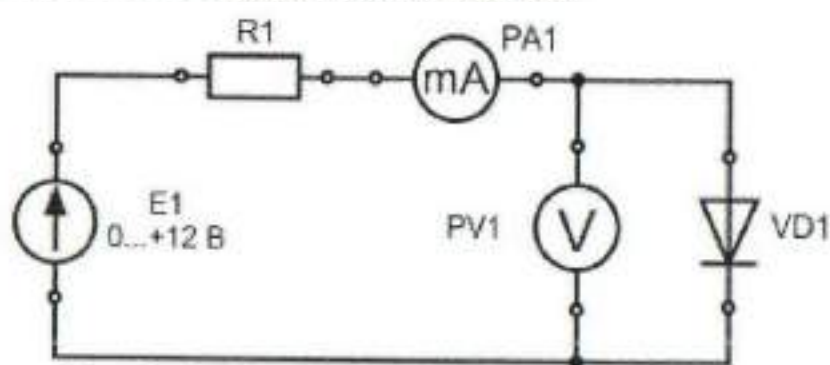


Рис. 1. Схема для снятия прямой ветви ВАХ выпрямительного диода

измерения анодного тока включить миллиамперметр постоянного тока с пределом 100 мА. Для измерения анодного напряжения использовать мультиметр. Последовательно с диодом включить токоограничивающий резистор $R1=150$ Ом.

Снять вольтамперную характеристику выпрямительного диода на постоянном токе для прямой ветви (рис. 1) – для снятия характеристик регулировать напряжение на выходе источника питания; результаты измерений занести в таблицу, по которой построить прямую ветвь ВАХ;

б) собрать схему для снятия обратной ветви ВАХ диода VD1 (см. рис. 2); снять обратную ветвь ВАХ диода;

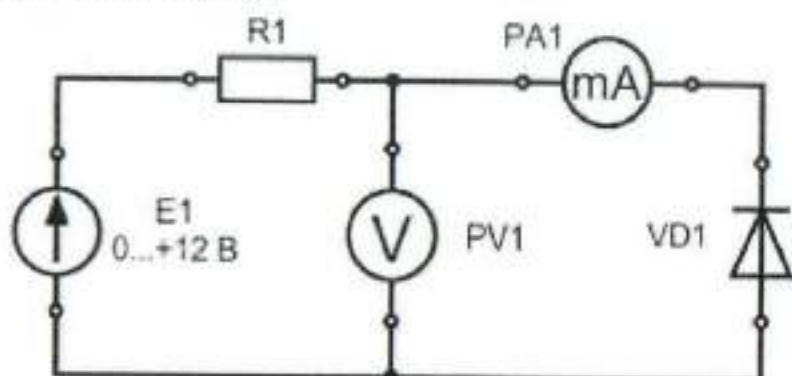


Рис. 2. Схема для снятия обратной ветви ВАХ выпрямительного диода

в) определить параметры диода: максимальное напряжение между анодом и катодом в открытом состоянии U_{am} при максимальном анодном токе I_{amax} , пороговое напряжение U_0 и дифференциальное сопротивление r_D ;

г) собрать схему для получения ВАХ диода на экране осциллографа. Включить токоограничивающий резистор $R1=150\ \text{Ом}$. Исследование выпрямительного диода выполняется на переменном токе в соответствии с принципиальной схемой (см. рис. 3). Вход Y (CH2) осциллографа подключить к шунту $R_{ш}=10\ \text{Ом}$, а корпус осциллографа соединить с общим проводом (\perp). Вход X (CH1) осциллографа подключить к аноду диода. При этом переключатель развертки осциллографа должен быть переведен в положение X/Y. Светящуюся точку на экране осциллографа поместить в начало координат. Подать питание. Зарисовать ВАХ диода, определить масштабы по току и напряжению;

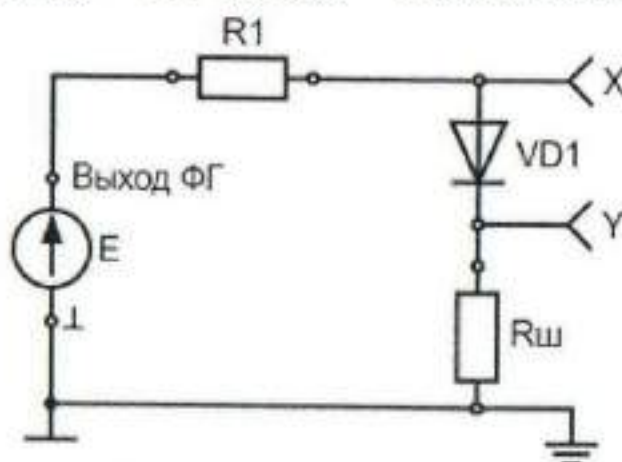


Рис. 3. Схема для снятия ВАХ диода на осциллографе

д) определить по осциллограмме параметры диода: максимальное напряжение между анодом и катодом в открытом состоянии U_{am} при максимальном анодном токе I_{amax} , пороговое напряжение U_0 и дифференциальное сопротивление r_D , сравнить с результатами, полученными на постоянном токе;

3) Экспериментальное исследование диода Шоттки:

Выполнить пункты 2а, в для диода Шоттки, используя схему на рис. 1. ВАХ построить на том же рисунке, что и в п.2. Сравнить ВАХ и параметры диода Шоттки с параметрами и ВАХ обычного выпрямительного диода.

4) Экспериментальное исследование стабилитрона:

Выполнить пункты 2а, б, г для стабилитрона, включив в схему резистор $R_1=150 \text{ Ом}$. ВАХ построить на том же рисунке, что и в п.2. Сравнить ВАХ стабилитрона и ВАХ обычного выпрямительного диода. По ВАХ, снятой на постоянном и переменном токе, определить напряжение стабилизации $U_{ст}$ и дифференциальное сопротивление $r_{дст}$ (на участке стабилизации), сравнить результаты.

5) Экспериментальное исследование светодиода:

Собрать схему для исследования прямой ветви ВАХ светодиода на постоянном токе (рис. 1), установив токоограничивающий резистор $R=1 \text{ кОм}$; снять ВАХ и построить ее на том же рисунке, что и в п.2. Определить ток, при котором становится заметным свечение.

3. Содержание отчета

Отчет по работе должен содержать:

- а) наименование и цель работы;
- б) схемы соединений для выполненных экспериментов;
- в) результаты экспериментальных исследований и проведенных по ним расчетов, помещенные в соответствующие таблицы;
- г) экспериментально снятые и построенные характеристики;
- д) обработанные осциллограммы;
- е) выводы по работе; в выводах обязательно ответить на контрольные вопросы 11 – 13.

4. Контрольные вопросы

1. Каковы свойства $p-n$ перехода?
2. Объясните вид ВАХ $p-n$ перехода?
3. Как влияет температура на различные участки ВАХ диода?
4. Как снять по точкам ВАХ диода?
5. Почему на схемах рис. 1 и 2 по-разному включены измерительные приборы?
6. Как снять ВАХ диода с помощью осциллографа?
7. Какие погрешности можно ожидать при осциллографировании по схеме рис. 3?
8. Поясните вид ВАХ стабилитрона.
9. Где рабочий участок на ВАХ стабилитрона?
10. Как зависит напряжение стабилизации от температуры?

11. В чем отличие ВАХ выпрямительного диода, диода Шоттки и светодиода?
12. От чего зависит яркость свечения светодиода?
13. Какой элемент обязателен в схеме индикатора на светодиоде?
14. Каким образом на экране осциллографа получают изображение функциональной зависимости двух напряжений?
15. Каким образом на экране осциллографа получается изображение периодической функции времени?

Работа № 2. ИССЛЕДОВАНИЕ БИПОЛЯРНОГО ТРАНЗИСТОРА

1. Цель работы

Изучение характеристик и параметров биполярного транзистора, включенного по схеме с общим эмиттером.

Перечень используемых в работе минимодулей

Наименование минимодуля	Количество
Транзистор 1 А	1
Потенциометр 10 кОм	1
Резистор 10 Ом	1
Резистор 22 Ом	1
Резистор 150 Ом	1
Резистор 330 Ом	1
Резистор 10 кОм	2
Конденсатор 22 мкФ	1
Диод 1 А	1

2. Задание и методические указания

1) Предварительное домашнее задание:

а) Изучить тему курса “Транзисторы” и содержание данной работы, быть готовым ответить на все контрольные вопросы;

б) Пользуясь принципиальными схемами, приведенными в руководстве начертить схемы соединений для проведения экспериментов, перечисленных в лабораторной работе.

2) Экспериментальное исследование характеристик биполярного транзистора:

а) собрать схему для снятия характеристик прямой передачи по току биполярного транзистора (см. рис. 1).

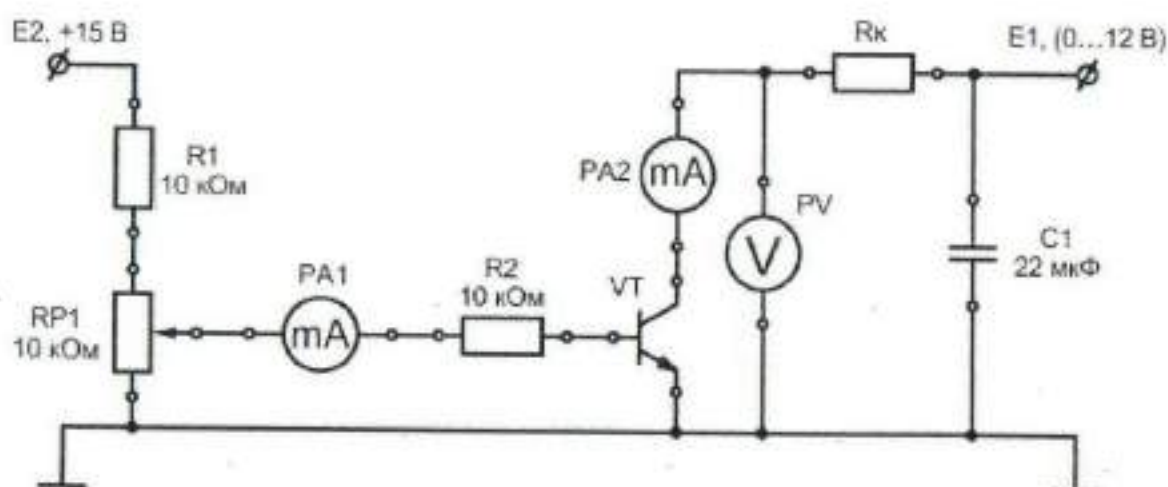


Рис. 1. Схема для снятия характеристик прямой передачи по току биполярного транзистора

Для измерения тока базы включить миллиамперметр PA1 на 1 мА, а тока коллектора – PA2 на 100 мА. Для измерения напряжения на коллекторе использовать мультиметр; в качестве резистора R_k использовать минимодули $R=150$ или $R=330$ Ом (по указанию преподавателя);

б) снять статическую характеристику прямой передачи по току $I_k=f(I_b)$ при U_k , равном заданному значению E_k ($=2...10$ В) и $R_k=0$. Экспериментальные точки здесь и далее записывать в таблицу и наносить на график. При снятии характеристики следить за постоянством напряжения U_k ; и не допускать ток коллектора более 80 мА (максимальная мощность транзистора 800 мВт);

в) снять характеристику прямой передачи по току при наличии заданного сопротивления нагрузки R_k (рис. 1). С помощью потенциометра RP1 установите ток базы, равный нулю, а с помощью регулятора источника питания E1 ($+0...12$ В) установите заданное значение E_k . В дальнейшем ручку регулятора не трогать. В области вблизи насыщения точки снимать чаще;

г) по построенной в п.2в характеристике определить области активного усиления, отсечки и насыщения. Определить максимальный ток $I_{b\max}$, при котором еще обеспечивается линейное усиление;

д) снять выходные статические ВАХ с помощью осциллографа. Собрать схему в соответствии с рис. 2.

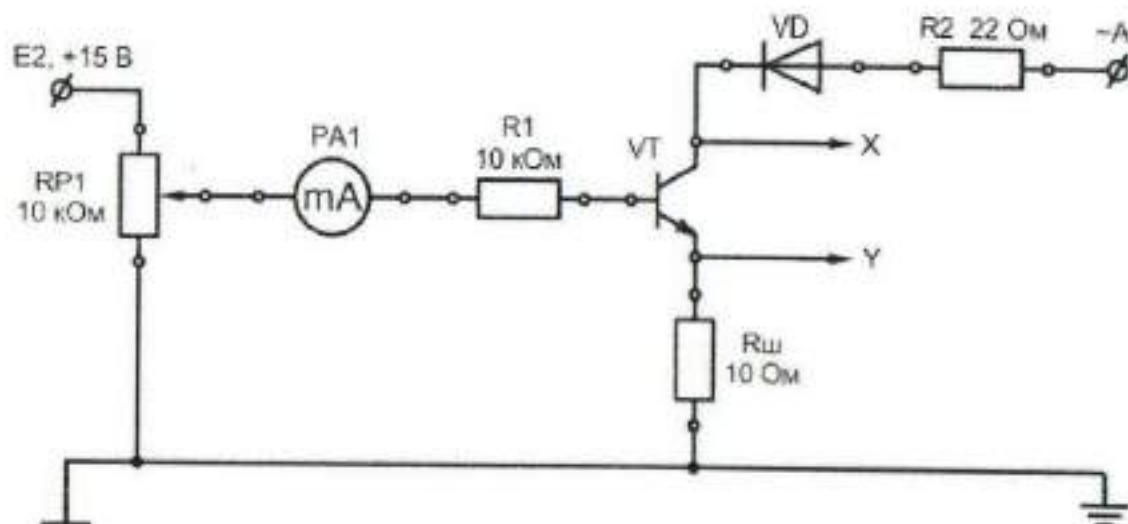


Рис. 2. Схема для снятия выходных статических ВАХ биполярного транзистора с помощью осциллографа.

Вход Y (CH2) осциллографа подключить к шунту $R_{ш}$, а корпус осциллографа соединить с общим проводом (\perp). Вход X (CH1) осциллографа подключить к коллектору. При этом переключатель должен быть приведен в положение X/Y. Установить потенциометр RP1 в крайнее левое положение. Включить питание модуля. Изменять ток базы от 0 до максимума (но не более 1 мА), пронаблюдать семейство выходных характеристик; зарисовать на одном рисунке выходные характеристики для трех значений тока базы: $I_{b1}=0$; $I_{b2}=0,5I_{b\max}$; $I_{b3}=I_{b\max}$. Записать масштабы по напряжению и току. Выключить питание модуля.

3. Содержание отчета

Отчет по работе должен содержать:

- а) наименование и цель работы;
- б) схемы соединений для выполненных экспериментов;
- в) результаты экспериментальных исследований и проведенных по ним расчетов, помещенные в соответствующие таблицы; определить по экспериментальным характеристикам прямой передачи по току статический коэффициент передачи тока β и коэффициент усиления каскада по току K_i при заданной нагрузке вблизи рабочей точки покоя для класса А:

$$\beta = \frac{\Delta I_c}{\Delta I_b}, \quad K_i = \frac{\Delta I_c'}{\Delta I_b};$$

- г) экспериментально снятые и построенные характеристики;
- д) обработанные осциллограммы;
- е) рассчитать потери в транзисторе в рабочей точке покоя в классе А ($P_{кр} = U_{кр} I_{кр}$), в режиме насыщения $P_{кн}$, отсечки $P_{ко}$ и средние потери в ключевом режиме при относительной длительности импульса 0,5 ($P_{кр.ср} = 0,5P_{кн} + 0,5P_{ко}$), воспользовавшись экспериментально снятыми выходными характеристиками. Сравнить потери в классе А и в ключевом режиме. Указать, какие потери в ключевом режиме не учтены.

4. Контрольные вопросы

1. Каков принцип действия транзистора?
2. Какие существуют схемы включения транзисторов?
3. Какова полярность постоянных напряжений, прикладываемых к транзистору типа *n-p-n* при различных схемах включения?
4. Как выглядят выходные и входные статические характеристики в схеме с общим эмиттером?
5. Что такое статическая характеристика прямой передачи по току? Как ее построить? Как она видоизменяется при наличии нагрузки? Как ее снять?
6. Как определить статический коэффициент передачи транзистора по току β ?
7. Как снять статические выходные характеристики?
8. Как построить линию нагрузки?
9. Что такое область активного усиления, насыщения, отсечки?
10. Что такое ключевой режим?
11. Каковы преимущества ключевого режима?

Работа № 3. ИССЛЕДОВАНИЕ УСИЛИТЕЛЬНОГО КАСКАДА НА БИПОЛЯРНОМ ТРАНЗИСТОРЕ

1. Цель работы

Изучение характеристик, параметров и режимов работы усилительного каскада на биполярном транзисторе, включенном по схеме с общим эмиттером.

Перечень используемых в работе минимодулей

Наименование минимодуля	Количество
Транзистор 1 А	1
Потенциометр 10 кОм	1
Конденсатор 22 мкФ	1
Конденсатор 1 мкФ	1
Резистор 150 Ом	1
Резистор 1 кОм	1
Резистор 1,5 кОм	1
Резистор 10 кОм	1

2. Задание и методические указания

1) Предварительное домашнее задание:

а) изучить темы курса «Транзисторы», «Усилительные каскады» и содержание данной работы, быть готовым ответить на все контрольные вопросы;

б) пользуясь принципиальной схемой, приведенной в руководстве начертить схемы соединений для проведения экспериментов, перечисленных в лабораторной работе.

2) Экспериментальное исследование усилительного каскада на биполярном транзисторе в классе А:

а) собрать схему для исследования усилительного каскада в соответствии с рис. 1. Подключить канал СН1 осциллографа ко входу усилителя, а канал СН2 к выходу усилителя. Включить временную развертку осциллографа. Включить функциональный генератор и установить синусоидальный сигнал частотой 50 Гц, уменьшить сигнал до нуля регулятором амплитуды. Переключить входы СН1 осциллографа на положение «вход закорочен». Включить питание стенда. При токе $I_{\theta}=0$ установить на модуле питания заданное значение E_k и далее не изменять его при всех экспериментах (не трогать ручку потенциометра RP на модуле питания!);

б) определить экспериментально максимальную амплитуду неискаженного выходного синусоидального напряжения $U_{\text{вых.тн}}$. Для этого при токе базы, равном нулю, проверьте положение линии на экране осциллографа. При закороченном входе осциллографа она должна совпадать с нулевой линией, а при разомкнутом – отклоняться примерно на три четверти от половины экрана. Нулевую линию можно сместить вниз для увеличения масштаба, но обязательно отметить ее положение. Плавно увеличивайте амплитуду входного

сигнала и постоянную составляющую тока базы до появления видимого уплощения вершин синусоиды выходного напряжения. Обратите внимание, одновременно ли начинают уплощаться положительная и отрицательная полуволны. При необходимости уточните положение рабочей точки покоя. Зарисуйте на кальке выходное напряжение с искажениями и предельное без искажения. При зарисовке осциллограмм не забудьте нанести положение нулевой линии. Определите масштабы по напряжению и по времени. Дальнейшие измерения выходного сигнала необходимо проводить в том же масштабе;

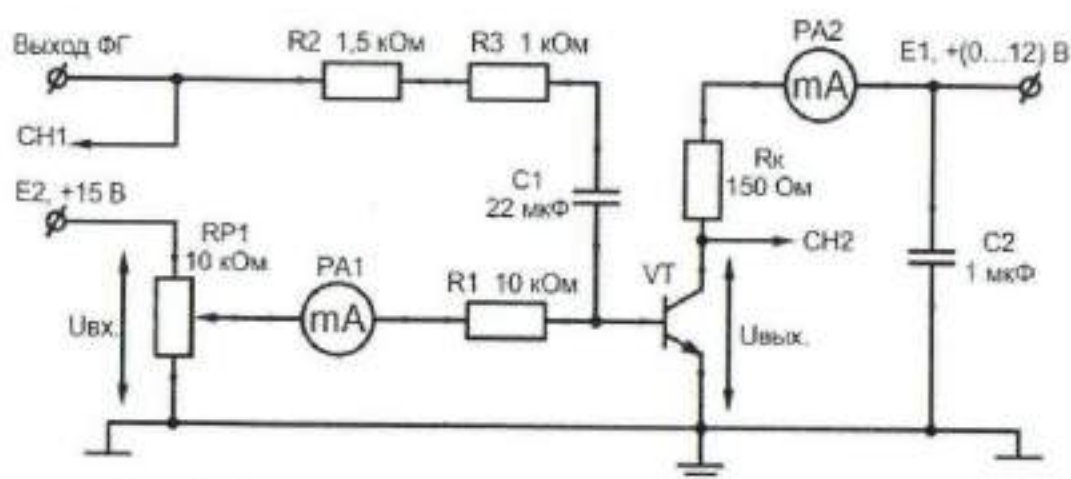


Рис. 1. Схема для исследования усилительного каскада

в) определить положение рабочей точки покоя. Для этого уменьшить входной синусоидальный сигнал до нуля и определить величины токов $I_{бр}$, $I_{кр}$; по осциллографу определить $U_{кр}$;

г) исследовать экспериментально влияние положения рабочей точки покоя на форму выходного напряжения. Для этого установите вновь рабочую точку $I_{бр}$, $I_{кр}$, $U_{кр}$ и максимальную амплитуду синусоидального неискаженного выходного напряжения. Зарисовать кривые выходного напряжения при изменении постоянной составляющей тока базы $I'_{бр}=0,5I_{бр}$ и $I''_{бр}=1,5I_{бр}$, при этом переменный входной сигнал изменять не следует;

д) определить коэффициент усиления каскада по напряжению K_u . Для этого установить $I_b=I_{бр}$, вход CH1 осциллографа, переключить на закрытый вход (АС). Изменяя переменный входной сигнал, добиться синусоидального по форме максимального выходного сигнала. Измерить с помощью осциллографа амплитуды выходного $U_{вых}$ и входного $U_{вх}$ сигналов. Определить коэффициент усиления, учесть масштабы.

3) Экспериментальное исследование усилительного каскада на биполярном транзисторе в классе В:

а) определить амплитуду выходного напряжения (полуволны) в классе В. Для этого с помощью потенциометра $RP1$ установить $I_b=0$, и регулируя амплитуду входного сигнала добиться максимальной неуплощенной полуволны синусоиды выходного напряжения; зарисовать и обработать осциллограмму;

б) если длительность полуволны меньше полупериода, повысьте потенциометром R_P на модуле питания постоянный ток I_b и изменяя переменный входной сигнал добейтесь воспроизведения усилителем ровно половины периода неискаженного синусоидального напряжения с максимальной амплитудой. Уменьшите $U_{вх}$ до нуля и запишите ток I_b , который пришлось установить в рабочей точке покоя, чтобы не было искажений. Эта рабочая точка покоя соответствует классу АВ.

4) Экспериментальное исследование усилительного каскада на биполярном транзисторе в классе D:

а) исследовать работу транзистора в ключевом режиме (класс D). Установите $I_b=0$ и увеличьте сигнал от функционального генератора ФГ до перехода транзистора в ключевой режим; зарисуйте и обработайте осциллограмму выходного напряжения;

б) повторите опыт при подаче на вход прямоугольного сигнала.

3. Содержание отчета

Отчет по работе должен содержать:

- а) наименование и цель работы;
- б) схемы соединений для выполненных экспериментов;
- в) результаты экспериментальных исследований и проведенных по ним расчетов, помещенные в соответствующие таблицы;

г) обработанные осциллограммы;

д) рассчитать потери в транзисторе в рабочей точке покоя в классе А ($P_{кр} = U_{кр} I_{кр}$), в режиме насыщения $P_{км}$, отсечки $P_{ко}$ (если ток $I_{ко}$ очень мал, принять $P_{ко} = 0$) и средние потери в ключевом режиме при относительной длительности импульса 0,5 ($P_{кр,ср} = 0,5P_{км} + 0,5P_{ко}$), воспользовавшись экспериментально снятыми осциллограммами. Сравнить потери в классе А и в ключевом режиме. Указать, какие потери в ключевом режиме не учтены;

4. Контрольные вопросы

1. Как построить линию нагрузки?
2. Как выбрать рабочую точку покоя в классах А, АВ, В, D?
3. Нарисуйте схему усилительного каскада с общим эмиттером.
4. Каково назначение элементов усилителя?
5. Как определить коэффициент усиления каскада по току и напряжению (графически и экспериментально)?
6. Что такое ключевой режим?
7. Каковы преимущества ключевого режима?

Работа № 4. ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ БИПОЛЯРНОГО ТРАНЗИСТОРА В КЛЮЧЕВОМ РЕЖИМЕ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ВИДАХ НАГРУЗКИ

1. Цель работы

Изучение работы усилительного каскада на биполярном транзисторе в ключевом режиме при различных видах нагрузки.

Перечень используемых в работе минимодулей

Наименование минимодуля	Количество
Транзистор 1 А	1
Диод 1 А	1
Дроссель 200 мГн	1
Резистор 10 Ом	1
Резистор 150 Ом	1
Резистор 1,5 кОм	1

2. Задание и методические указания

1) Предварительное домашнее задание:

а) изучить тему курса «Ключевой режим транзистора» и содержание данной работы, быть готовым ответить на все контрольные вопросы;

б) пользуясь принципиальной схемой, приведенной в руководстве начертить схемы соединений для проведения экспериментов, перечисленных в лабораторной работе.

2) Экспериментальное исследование биполярного транзистора в ключевом режиме при активной нагрузке:

а) собрать схему для исследования в соответствии с рис. 1. Подключить канал CH2 осциллографа ко входу усилительного каскада, а канал CH1 к выходу. Включить временную развертку осциллографа. Включить функциональный генератор и установить прямоугольный сигнал частотой 50 кГц. Включить питание стенда. Увеличивая сигнал регулятором амплитуды наблюдать изменение сигнала на выходе каскада; зарисовать осциллограммы напряжений на входе и на выходе;

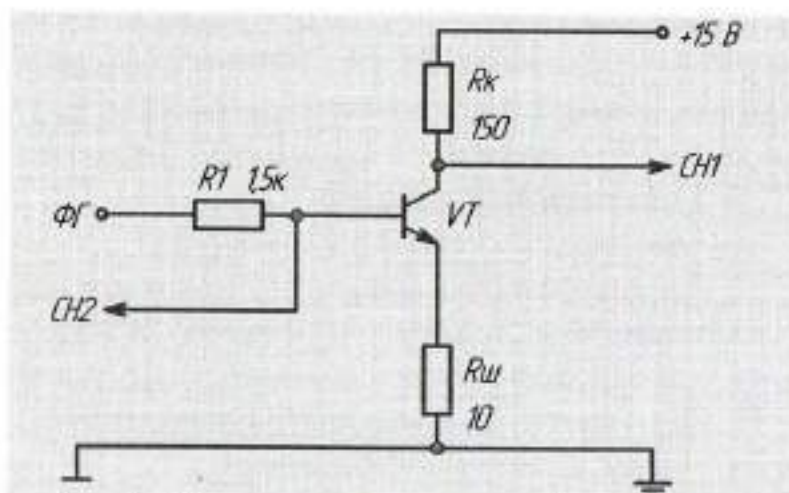


Рис. 1. Схема для исследования биполярного транзистора в ключевом режиме работы при активной нагрузке

б) в соответствии с рис. 2. переключить канал CH2 осциллографа на шунт; зарисовать осциллограммы напряжения на коллекторе u_k и тока коллектора i_k (тока эмиттера); при зарисовке осциллограмм не забудьте нанести положение нулевой линии. Определите масштабы по напряжению, току и времени. Дальнейшие измерения сигналов необходимо проводить в том же масштабе;

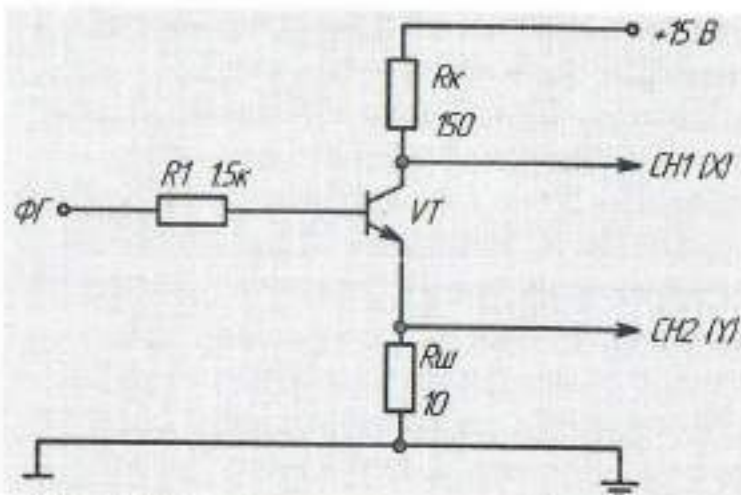


Рис. 2. Схема для исследования биполярного транзистора в ключевом режиме работы при активной нагрузке

в) снять с помощью осциллографа траекторию движения рабочей точки в ключевом режиме при активной нагрузке. Для этого переключатель осциллографа должен быть переведен в положение X/Y. Не забудьте при осциллографировании нанести оси координат; выключить питание модуля.

3) Экспериментальное исследование биполярного транзистора в ключевом режиме при активно-индуктивной нагрузке, шунтированной диодом:

а) собрать схему для исследования в соответствии с рис. 3. Чтобы не вывести из строя транзистор, обратите особое внимание на правильность включения диода. Подключить канал CH2 осциллографа ко входу усилительного каскада, а канал CH1 к выходу. Включить временную развертку осциллографа. Включить функциональный генератор и установить прямоугольный сигнал частотой 50 кГц. Включить питание стенда. Увеличивая сигнал регулятором амплитуды наблюдать изменение сигнала на выходе каскада; зарисовать осциллограммы напряжений на входе и на выходе;

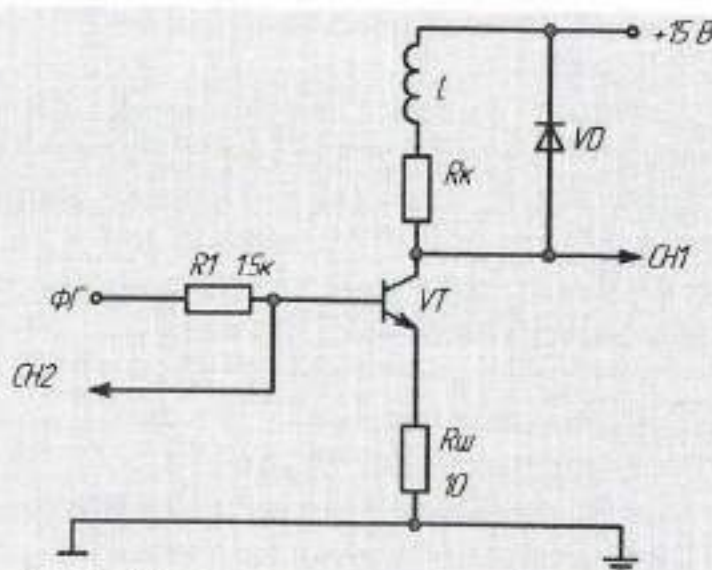


Рис. 3. Схема для исследования биполярного транзистора в ключевом режиме работы при активно-индуктивной нагрузке

б) в соответствии с рис. 4 переключить канал CH2 осциллографа на шунт; зарисовать осциллограммы напряжения на коллекторе u_k и тока коллектора i_k (тока эмиттера); при зарисовке осциллограмм не забудьте нанести положение

нулевой линии. Определите масштабы по напряжению, току и времени. Дальнейшие измерения сигналов необходимо проводить в том же масштабе;

в) снять с помощью осциллографа траекторию движения рабочей точки в ключевом режиме при активно-индуктивной нагрузке, шунтированной диодом. Для этого переключатель осциллографа должен быть переведен в положение X/Y. Не забудьте при осциллографировании нанести оси координат; Выключить питание модуля.

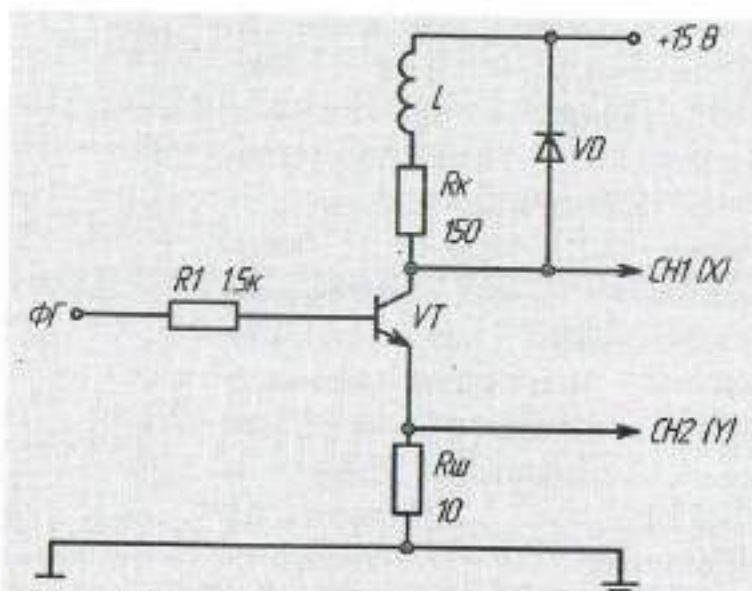


Рис. 4. Схема для исследования биполярного транзистора в ключевом режиме работы при активно-индуктивной нагрузке

3. Содержание отчета

- а) наименование и цель работы;
- б) схемы соединений для выполненных экспериментов;
- в) результаты экспериментальных исследований и проведенных по ним расчетов, помещенные в соответствующие таблицы;
- г) обработанные осциллограммы; сравнить осциллограммы при различных видах нагрузки;
- д) рассчитать потери в транзисторе в ключевом режиме при относительной длительности импульса $0,5(P_{кр.ср.} = 0,5P_{кн} + 0,5P_{ко})$, воспользовавшись экспериментально снятыми осциллограммами. Мощность определять перемножая ординаты осциллограмм i_k и u_k , и определив площадь под кривой мгновенной мощности p_k . Определить среднюю мощность за период. Сравнить потери при различных видах нагрузки.

4. Контрольные вопросы

1. Что такое ключевой режим?
2. Каковы преимущества ключевого режима?
3. Как влияет вид нагрузки на траекторию рабочей точки?
4. Как влияет вид нагрузки на потери?
5. Для чего включается диод, шунтирующий нагрузку?

Работа № 5. ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛЕВОГО ТРАНЗИСТОРА

1. Цель работы

Изучение характеристик и параметров полевого транзистора, включенного по схеме с общим истоком.

Перечень минимодулей

Наименование минимодуля	Количество
Транзистор полевой (МОП) с каналом n-типа	1
Диод выпрямительный	1
Потенциометр 10 кОм	1
Резистор 10 Ом	1
Резистор 47 Ом	1
Резистор 100 Ом	1
Резистор 150 Ом	1
Резистор 10 кОм	2
Конденсатор 22 мкФ	1
Конденсатор 1 мкФ	1

2. Задание и методические указания

1) Предварительное домашнее задание:

а) изучить тему курса «Транзисторы» и содержание данной работы, быть готовым ответить на все контрольные вопросы;

б) пользуясь принципиальными схемами, приведенными в руководстве начертить схемы соединений для проведения экспериментов, перечисленных в лабораторной работе;

2) Экспериментальное исследование характеристик полевого транзистора:

а) собрать схему для снятия статической передаточной (сток-затворной) характеристики полевого транзистора без нагрузки (рис. 1). В качестве вольтметров PV1 и PV2 использовать мультиметры в режиме измерения постоянного напряжения с пределом 20 В. Для измерения тока использовать

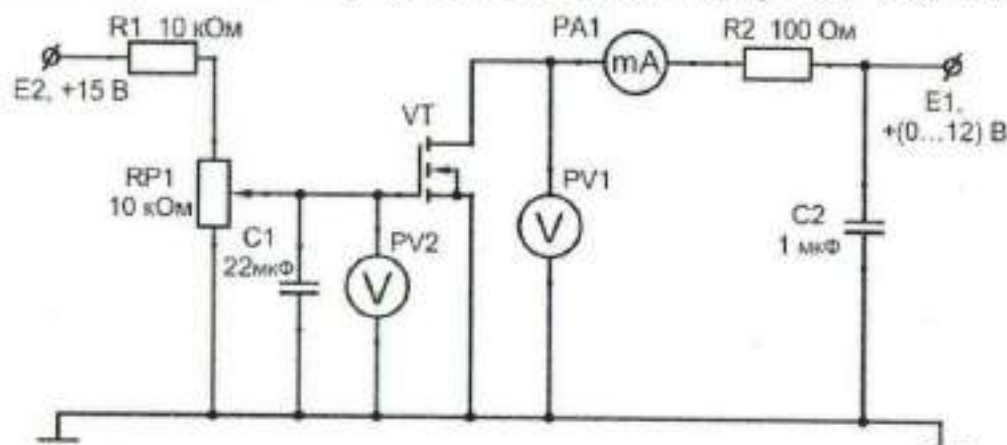


Рис. 1. Схема для снятия статической передаточной характеристики полевого транзистора без нагрузки

стрелочный миллиамперметр постоянного тока на 100 мА. Предъявить схему для проверки преподавателю;

б) снять статические передаточные характеристики транзистора $I_c=f(U_3)$ при заданном постоянном значении напряжения U_c , равном 2 или 3 В (по указанию преподавателя). Включить тумблер SA1 источника питания. С помощью потенциометра RP на модуле питания установите заданное значение U_c . Изменяя напряжение U_3 (начиная с «0») снять характеристику, не забывая поддерживать заданное U_c . Особо отметить точку отсечки $U_{зо}$, при которой начинает появляться ток стока. Экспериментальные точки здесь и далее записывать в таблицу и наносить на график. Выключить тумблер «Питание»;

в) снять передаточную характеристику при наличии заданного сопротивления нагрузки R_c и заданном преподавателем значении напряжения источника питания E_c (0...12 В). Собрать схему по рис. 2. В качестве резистора R_c использовать модули $R=150$ или $R=100$ Ом (по указанию преподавателя) С помощью потенциометра RP на модуле питания установите заданное значение напряжения E_c . В дальнейшем ручку регулировки RP на модуле питания не трогать. Изменяя напряжение U_3 (начиная с «0»), снять характеристику. В области вблизи насыщения (ток I_c перестает расти и U_c меньше 1 В) точки снимать чаще. Экспериментальные результаты записать в таблицу, а характеристику построить на том же графике, что и в п. 2б. Выключить тумблер «Питание»;

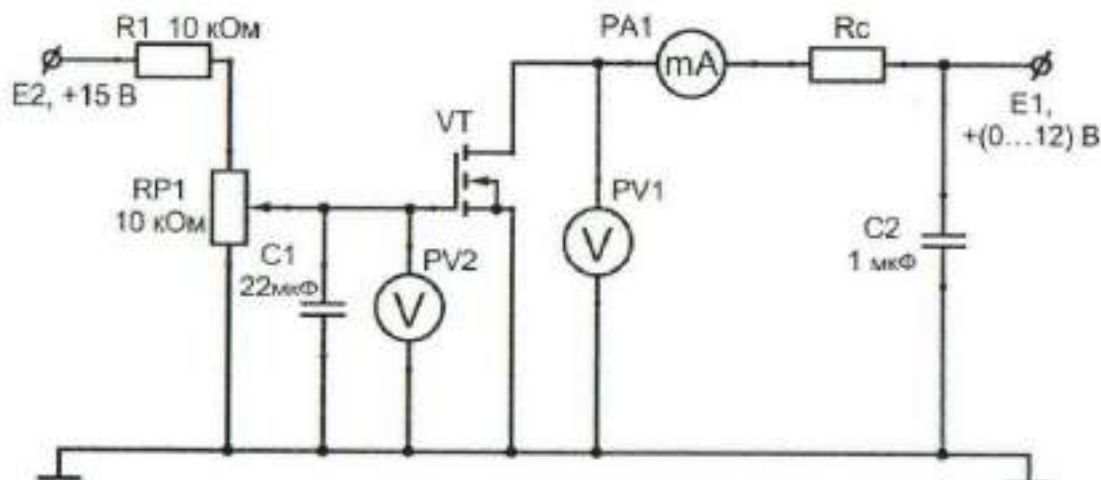


Рис. 2. Схема для снятия передаточной характеристики при заданном сопротивлении нагрузки R_c

г) по построенной в п. 2(в) характеристике определить области активного усиления, отсечки и насыщения. Определить максимальное напряжение $U_{3\max}$ при котором еще обеспечивается линейное усиление;

д) снять выходные статические ВАХ с помощью осциллографа. Собрать схему в соответствии с рис. 3. Вход X (CH1) осциллографа подключить к коллектору. Вход Y (CH2) осциллографа и корпус осциллографа подключить к шунту $R_{ш}$, как показано на рис. 3. При этом переключатель развертки осциллографа должен быть приведен в положение X/Y. Светящуюся точку на экране поместить в нижнем левом углу. Установить потенциометр $RP1$ в

крайнее левое положение. Включить источник питания. Изменяя напряжение на затворе от 0 до максимума пронаблюдать семейство выходных характеристик. Зарисовать на одном рисунке выходные характеристики для трех значений напряжения на затворе: $U_з = U_{з0}$; $U_з = U_{з.макс}$ и $U_з$, обеспечивающее

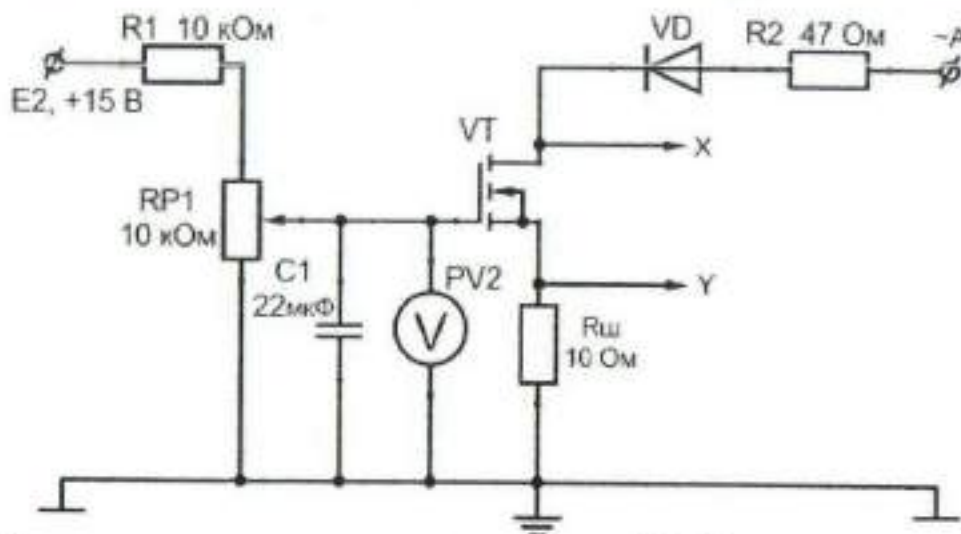


Рис. 3. Схема для снятия выходных статических ВАХ полевого транзистора с помощью осциллографа

расположение выходной характеристиками посередине между снятыми. Записать масштабы по напряжению и току. Выключить тумблер питания.

3. Содержание отчета

Отчет по работе должен содержать:

- наименование и цель работы;
- схемы соединений для выполненных экспериментов;
- результаты экспериментальных исследований и проведенных по ним расчетов, помещенные в соответствующие таблицы;
- экспериментально снятые и построенные характеристики; определить по экспериментальным передаточным характеристикам крутизну передаточной характеристики $S = (dI_d/dU_g)$ при отсутствии и наличии нагрузки;
- обработанную осциллограмму выходных характеристик; по полученным экспериментальным выходным характеристикам определить сопротивление сток-исток на участке насыщения $R_{си} = U_c/I_c$ при $U_{з.макс}$. (Это сопротивление будет завышенным, так как в U_c входит падение напряжения на сопротивлении шунта);
- расчет потерь в транзисторе в режиме насыщения $P_{си}$ при $U_з = U_{з.макс}$ и максимальном напряжении на стоке по экспериментально снятым выходным характеристикам.

4. Контрольные вопросы

- Какие разновидности полевых транзисторов вы знаете?
- Каковы основные преимущества и недостатки полевых транзисторов?

3. Почему ток транзистора достигает насыщения при изменении напряжения на стоке?

4. Какова полярность напряжений, прикладываемых к полевому транзистору с изолированным затвором и каналами «n» и «р» типов при схеме включения с общим истоком?

5. Как выглядят передаточные и выходные характеристики транзистора с индуцированным каналом?

6. Как снять статические выходные характеристики?

7. Что такое область активного усиления, насыщения, отсечки?

Работа № 6. ИССЛЕДОВАНИЕ УСИЛИТЕЛЬНОГО КАСКАДА НА ПОЛЕВОМ ТРАНЗИСТОРЕ

1. Цель работы

Изучение характеристик, параметров и режимов работы усилительного каскада на полевом транзисторе, включенном по схеме с общим истоком.

Перечень используемых в работе минимодулей

Наименование минимодуля	Количество
Транзистор полевой (МОП) с каналом n-типа	1
Потенциометр 10 кОм	1
Конденсатор 1 мкФ	1
Конденсатор 22 мкФ	1
Резистор 150 Ом	1
Резистор 10 кОм	3

2. Задание и методические указания

1) Предварительное домашнее задание:

а) изучить темы курса «Транзисторы», «Усилительные каскады» и содержание данной работы, быть готовым ответить на все контрольные вопросы;

б) пользуясь принципиальной схемой, приведенной в руководстве начертить схемы соединений для проведения экспериментов, перечисленных в лабораторной работе;

2) Экспериментальное исследование усилительного каскада на полевом транзисторе в классе А:

а) собрать схему для исследования усилительного каскада в соответствии с рис. 1.

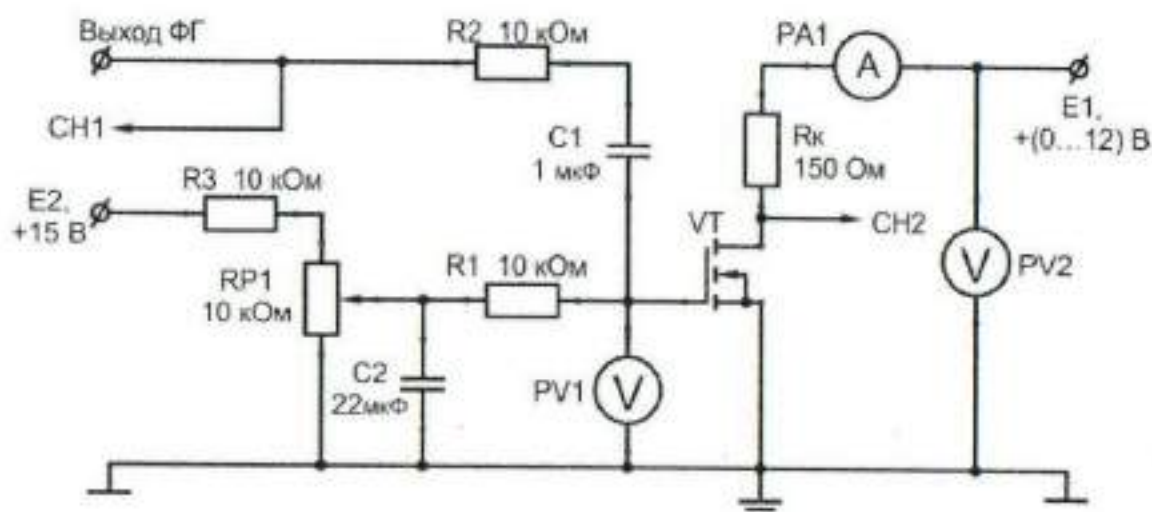


Рис. 1. Схема для исследования усилительного каскада

Ко входу усилителя подключить выход функционального генератора (ФГ). В качестве вольтметров PV1 и PV2 использовать мультиметр в режиме измерения постоянного напряжения с пределом 20 В. Для измерения тока использовать стрелочный миллиамперметр постоянного тока 100 мА. Подключить канал CH1 осциллографа к входу усилителя, а канал CH2 к выходу усилителя. Включить временную развертку осциллографа. Включить функциональный генератор и установить синусоидальный сигнал частотой 50 Гц, уменьшить сигнал до нуля регулятором амплитуды. Переключить вход CH1 осциллографа на положение «вход закорочен». Включить тумблер питания SA1. При напряжении на затворе $U_z=0$ установить с помощью потенциометра RP на модуле питания заданное значение E_c и далее не изменять его при всех экспериментах (не трогать ручку потенциометра RP на модуле питания!);

б) определить экспериментально максимальную амплитуду неискаженного выходного синусоидального напряжения $U_{\text{вых.п.}}$. Для этого при $U_z=0$, определите положение нулевой линии на экране осциллографа. Нулевую линию лучше сместить вниз для увеличения масштаба. Обязательно заметить ее положение. При размыкании входа осциллографа CH1 она должна отклоняться вверх примерно на три четверти от высоты экрана. Плавно увеличивайте напряжение на затворе. Линия должна опуститься на половину расстояния до нулевой линии. Плавно увеличивайте амплитуду входного сигнала. После появления на экране синусоиды продолжайте увеличивать входной сигнал до появления видимого уплощения вершин синусоиды выходного напряжения. Обратите внимание, одновременно ли начинают уплощаться положительная и отрицательная полуволны. При необходимости уточните положение рабочей точки покоя, изменяя напряжение на затворе потенциометром RP1. Зарисуйте на кальке выходное напряжение с искажениями и предельное без искажения. При зарисовке осциллограмм не забудьте нанести положение нулевой линии. Определите масштабы по напряжению и по времени. Дальнейшие измерения выходного сигнала необходимо проводить в том же масштабе;

в) определить положение рабочей точки покоя. Для этого уменьшить входной синусоидальный сигнал до нуля и определить величины напряжения на затворе $U_{zр}$, тока $I_{ср}$, и напряжения $U_{ср}$ в рабочей точке покоя; $U_{ср}$ определить с помощью осциллографа;

г) исследовать экспериментально влияние положения рабочей точки покоя на форму выходного напряжения. Для этого установите максимальную амплитуду синусоидального неискаженного выходного напряжения. Зарисовать кривые выходного напряжения при изменении постоянной составляющей напряжения на затворе $U'_{zр}=(U_{zр}+0,2 \text{ В})$ и $U''_{zр}=(U_{zр}-0,2 \text{ В})$, при этом переменный входной сигнал изменять не следует. Объяснить причины возникающих искажений выходного сигнала;

д) определить коэффициент усиления каскада по напряжению K_u . Для этого установить $U_z=U_{zр}$, вход CH1 осциллографа, переключить на закрытый вход (АС). Изменяя переменный входной сигнал, добиться синусоидального по форме максимального выходного сигнала. Измерить с помощью осциллографа

амплитуды выходного $U_{\text{вых}}$ и входного $U_{\text{вх}}$ сигналов. Определить коэффициент усиления, учесть масштабы;

3) Экспериментальное исследование усилительного каскада на полевом транзисторе в классе В:

а) определить амплитуду выходного напряжения (полуволны) в классе В. Для этого с помощью потенциометра $RP1$ установить U_3 близким к напряжению отсечки (ток стока приближается к нулю). Регулируя амплитуду входного сигнала добиться максимальной неуплощенной полуволны синусоиды выходного напряжения; зарисовать и обработать осциллограмму;

б) если длительность полуволны меньше полупериода, повысьте потенциометром $RP1$ напряжение на затворе U_3 и изменяя переменный входной сигнал добейтесь воспроизведения усилителем ровно половины периода неискаженного синусоидального напряжения с максимальной амплитудой. Уменьшите $U_{\text{вх}}$ до нуля и запишите напряжение на затворе U_3 , которое пришлось установить в рабочей точке покоя, чтобы не было искажений. Эта рабочая точка покоя соответствует классу АВ.

4) Экспериментальное исследование усилительного каскада на полевом транзисторе в классе D:

а) исследовать работу транзистора в ключевом режиме (класс D). Установите $U_3=0$ и увеличьте сигнал от функционального генератора ФГ до перехода транзистора в ключевой режим; зарисуйте и обработайте осциллограмму выходного напряжения;

б) повторите опыт при подаче на вход прямоугольного сигнала.

3. Содержание отчета

Отчет по работе должен содержать:

- а) наименование и цель работы;
- б) схемы соединений для выполненных экспериментов;
- в) результаты экспериментальных исследований и проведенных по ним расчетов, помещенные в соответствующие таблицы;

г) обработанные осциллограммы;

д) расчет потерь. Воспользовавшись осциллограммами и показаниями приборов, рассчитать потери в транзисторе в рабочей точке покоя в классе А ($P_{\text{ср}}=U_{\text{ср}}I_{\text{ср}}$) и в ключевом режиме потери при насыщении $P_{\text{сн}}$, отсечке $P_{\text{со}}$ (если ток $I_{\text{со}}$ очень мал, принять $P_{\text{со}}=0$) и средние потери в ключевом режиме $P_{\text{с.ср}}$ при относительной длительности импульса 0,5.

$$P_{\text{с.ср}}=0,5P_{\text{сн}}+0,5P_{\text{со}}$$

Сравнить потери в рабочей точке покоя в классе А и в ключевом режиме.

Указать, какие потери в ключевом режиме не учтены;

4. Контрольные вопросы

1. Как построить линию нагрузки?
2. Как выбрать рабочую точку покоя в классах А, АВ, В, D?
3. Чем отличаются классы усиления?
4. Нарисуйте схему усилительного каскада с общим истоком.
5. Каково назначение элементов усилителя?
6. Как экспериментально определить коэффициент усиления каскада по напряжению?
7. Как определить потери в транзисторе в рабочей точке покоя в классе А?
8. Что такое ключевой режим?
9. Каковы преимущества ключевого режима?
10. Как определить потери в транзисторе в ключевом режиме?

Работа № 7. ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ ПОЛЕВОГО ТРАНЗИСТОРА В КЛЮЧЕВОМ РЕЖИМЕ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ВИДАХ НАГРУЗКИ

1. Цель работы

Изучение работы полевого транзистора в ключевом режиме при активной и активно-индуктивной нагрузке и различных видах диодов, шунтирующих активно-индуктивную нагрузку.

Перечень используемых в работе минимодулей

Наименование минимодуля	Количество
Транзистор полевой MOSFET с каналом n-типа	1
Диод выпрямительный	1
Диод Шоттки	1
Дроссель 200 мГн	1
Резистор 10 Ом	1
Резистор 150 Ом	1
Резистор 1,5 кОм	1

2. Задание и методические указания

1) Предварительное домашнее задание:

а) изучить тему курса «Ключевой режим транзистора» и содержание данной работы, быть готовым ответить на все контрольные вопросы;

б) пользуясь принципиальной схемой, приведенной в руководстве, начертить схемы соединений для проведения экспериментов, перечисленных в лабораторной работе.

2) Экспериментальное исследование полевого транзистора в ключевом режиме при активной нагрузке:

а) собрать схему для исследования в соответствии с рис. 1. Подключить канал CH2 осциллографа ко входу усилительного каскада, а канал CH1 к выходу. Включить временную развертку осциллографа. Включить функциональный генератор и установить прямоугольный сигнал частотой 10 кГц. Включить питание стенда. Увеличивая сигнал регулятором амплитуды наблюдать

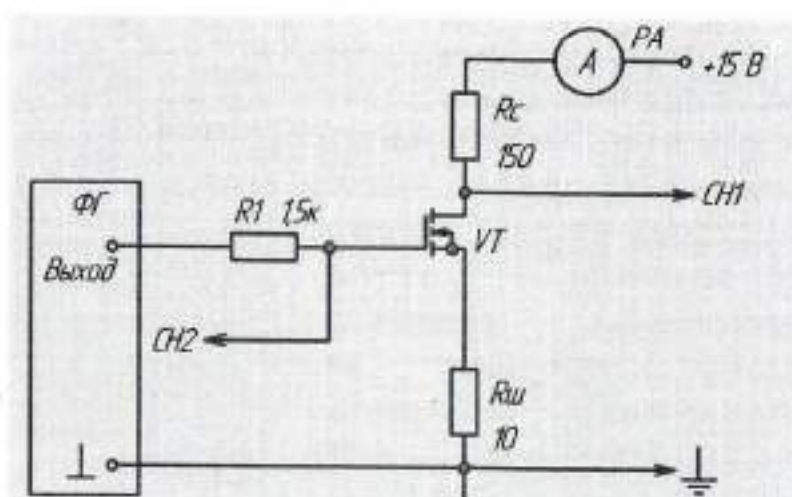


Рис. 1. Схема для исследования полевого транзистора в ключевом режиме при активной нагрузке

изменение сигнала на выходе каскада; зарисовать осциллограммы напряжений на входе и на выходе;

б) в соответствии с рис. 2. переключить канал CH2 осциллографа на шунт; зарисовать осциллограммы напряжения на стоке u_c и тока стока i_c (тока истока); при зарисовке осциллограмм не забудьте нанести положение нулевой линии. Определите масштабы по напряжению, току и времени. Дальнейшие измерения сигналов необходимо проводить в том же масштабе;

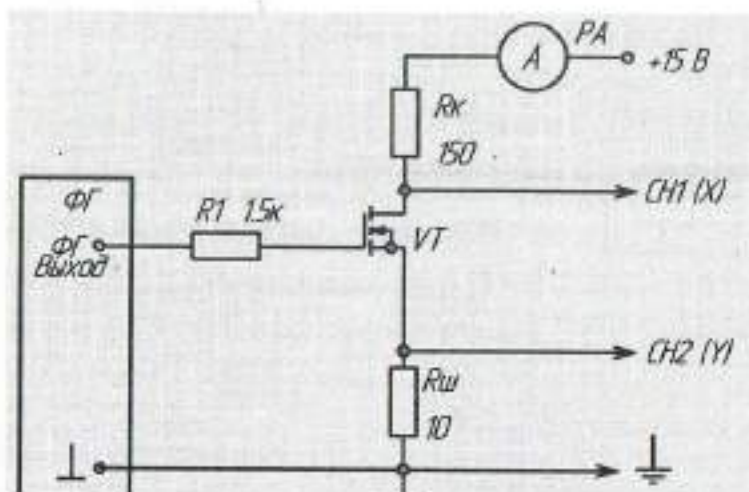


Рис. 2. Схема для исследования полевого транзистора в ключевом режиме при активной нагрузке

в) снять с помощью осциллографа траекторию движения рабочей точки в ключевом режиме при активной нагрузке. Для этого переключатель осциллографа должен быть переведен в положение X/Y. Закоротить входы каналов CH1, CH2. Светящуюся точку на экране поместить в левом нижнем углу. Не забудьте при осциллографировании нанести оси координат. Разомкнуть входы каналов CH1, CH2. Снять осциллограмму. Выключить питание модуля.

3) Экспериментальное исследование полевого транзистора в ключевом режиме при активно-индуктивной нагрузке, шунтированной низкочастотным диодом:

а) собрать схему для исследования в соответствии с рис. 3. В качестве диода используйте модуль «Диод выпрямительный». **Чтобы не вывести из строя транзистор, обратите особое внимание на правильность включения диода.** Подключить канал CH2 осциллографа ко входу усилительного каскада, а канал CH1 к выходу. Включить временную развертку осциллографа. Включить функциональный

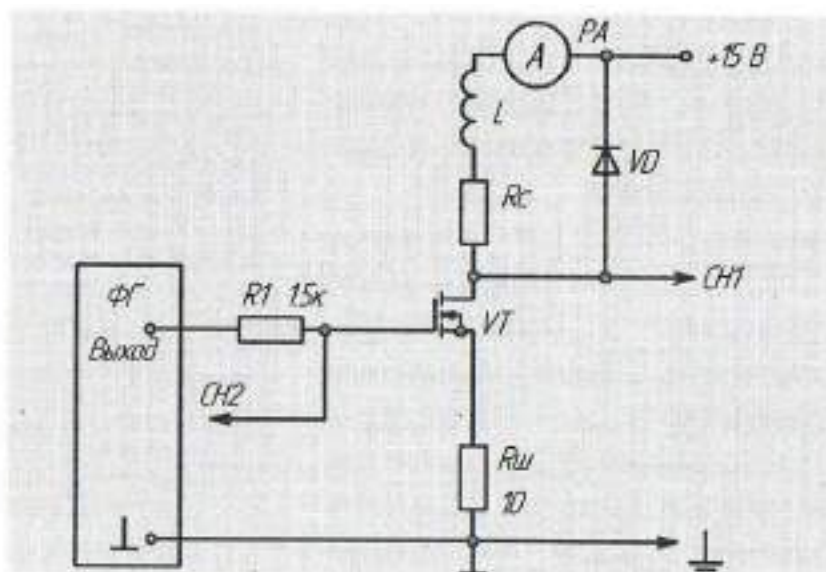


Рис. 3. Схема для исследования полевого транзистора в ключевом режиме при активно-индуктивной нагрузке

генератор и установить прямоугольный сигнал частотой 10 кГц при минимальном значении амплитуды. Включить источник питания. Увеличивая сигнал регулятором амплитуды наблюдать изменение сигнала на выходе каскада; зарисовать осциллограммы напряжений на входе и на выходе;

б) в соответствии с рис. 4. переключить канал CH2 осциллографа на шунт; зарисовать осциллограммы напряжения на стоке u_c и тока стока i_c (тока истока); при зарисовке осциллограмм не забудьте нанести положение нулевой линии. Определите масштабы по напряжению, току и времени. Дальнейшие измерения сигналов необходимо проводить в том же масштабе;

в) снять с помощью осциллографа траекторию движения рабочей точки в ключевом режиме при активно-индуктивной нагрузке, шунтированной диодом. Для этого переключатель осциллографа должен быть переведен в положение X/Y. Не забудьте при осциллографировании нанести оси координат. Выключить источник питания и функциональный генератор;

г) повторить опыт б) при частоте 400 Гц. В чем причины отличий?

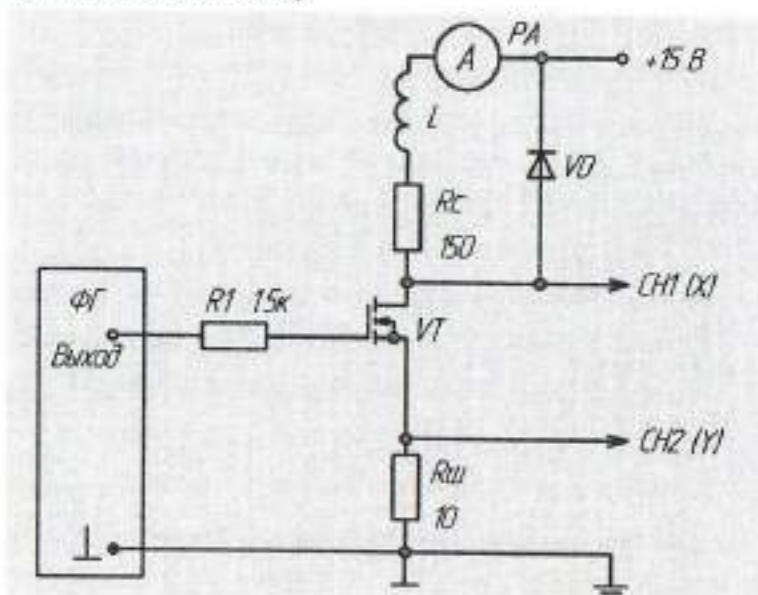


Рис. 4. Схема для исследования полевого транзистора в ключевом режиме при активно-индуктивной нагрузке

4) Экспериментальное исследование полевого транзистора в ключевом режиме при активно-индуктивной нагрузке, шунтированной высокочастотным диодом (диодом Шоттки).

Повторить пункты 3) а, б, в при частоте 10 кГц.

3. Содержание отчета

- наименование и цель работы;
- схемы соединений для выполненных экспериментов;
- результаты экспериментальных исследований и проведенных по ним расчетов, помещенные в соответствующие таблицы;
- обработанные осциллограммы; сравнение осциллограмм при различных видах нагрузки;

д) расчет потерь в транзисторе в ключевом режиме при насыщении $P_{сн}$, отсечке $P_{со}$ (если ток $I_{со}$ очень мал, принять $P_{со} = 0$) и средние потери в ключевом режиме $P_{с.ср}$ при относительной длительности импульса 0,5.

$$P_{с.ср} = 0,5P_{сн} + 0,5P_{со}$$

Указать, какие потери не учтены при расчете и при каком диоде погрешности расчета больше;

е) траектории движения рабочей точки и сравнение осциллограмм при различных видах диодов, шунтирующих нагрузку; объяснить причины различий; определить максимальные мгновенные потери в транзисторе по точке на траектории движения рабочей точки, в которой произведение тока на напряжение максимально;

4. Контрольные вопросы

1. Что такое ключевой режим?
2. Каковы преимущества ключевого режима?
3. Для чего включается диод, шунтирующий нагрузку?
4. От чего возникает бросок тока при включении активно-индуктивной нагрузки, шунтированной диодом?
5. На что влияет тип диода?
6. Что можно узнать по траектории движения рабочей точки?
7. Как влияет вид нагрузки на траекторию рабочей точки?
8. Как влияет вид нагрузки на потери?

Работа № 8. ИССЛЕДОВАНИЕ ТИРИСТОРОВ

1. Цель работы

Изучение характеристик и параметров тиристоров.

Перечень используемых в работе минимодулей

Наименование минимодуля	Количество
Тиристор 1 А	1
Резистор 10 Ом	1
Резистор 150 Ом	1
Резистор 10 кОм	1

2. Задание и методические указания

1) Предварительное домашнее задание:

- изучить тему курса «Тиристоры» и содержание данной работы, быть готовым ответить на все контрольные вопросы;
- пользуясь мнемосхемой начертить схемы для проведения экспериментов, перечисленных в лабораторной работе;

2) Экспериментальное исследование тиристора:

а) собрать схему для исследования тиристора на постоянном токе в соответствии с рис. 1. Для измерения тока управления I_y и анодного тока I_a включить миллиамперметры PA1 на пределе 1 мА, а PA2 на пределе 100 мА. Для измерения анодного напряжения U_a и напряжения управления U_y включить мультиметры.

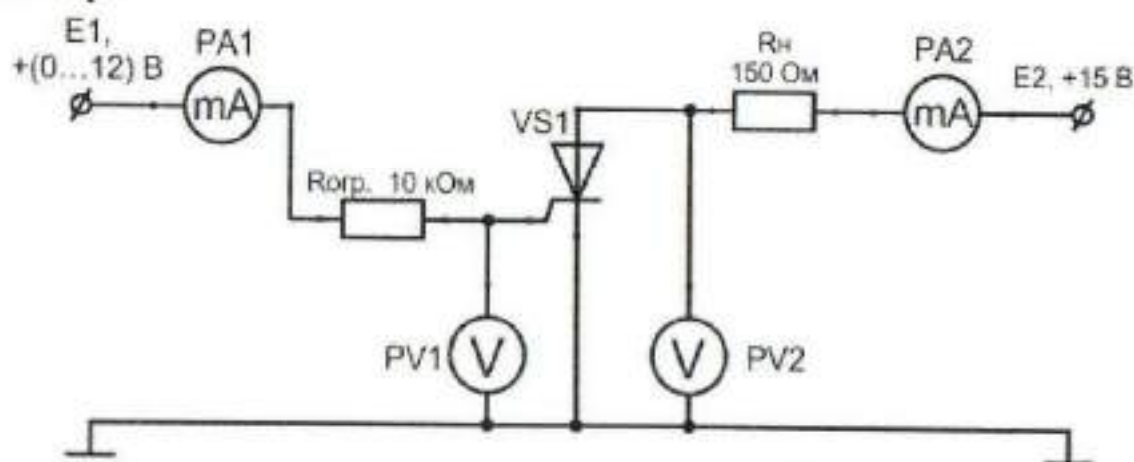


Рис. 1. Схема для исследования тиристора на постоянном токе

б) определить отпирающий постоянный ток управления I_{yo} и отпирающее постоянное напряжение управления U_{yo} , при которых происходит включение тиристора. Для этого плавно вращать ручку потенциометра RP на модуле питания, увеличивая ток управления I_y , зафиксировать, при каком значении тока управления I_{yo} и напряжения управления U_{yo} включится тиристор. О включении тиристора судить по резкому уменьшению напряжения на аноде U_a и увеличению анодного тока I_a ;

в) исследовать возможность выключения тиристора по цепи управления и по анодной цепи. Для этого, включив тиристор, уменьшать до нуля ток управления I_y . Выключить тиристор, разорвав цепь анода. Наблюдая за изменением анодного тока I_a и напряжения U_a , сделать вывод об управляемости тиристора, сформулировав условия включения и выключения тиристора. Выключить питание модуля;

г) снять и построить входную характеристику тиристора $U_y=f(I_y)$ (при разорванной анодной цепи), нанести на нее точку, соответствующую току I_{yo} ;

д) собрать схему для исследования тиристора на переменном токе для получения анодной ВАХ тиристора на экране осциллографа (рис. 2). Подключить к схеме общие точки « \perp » источников постоянного и переменного напряжений. Подать на вход CH2 (Y) осциллографа напряжение с шунта $R_{ш}$, пропорциональное току в анодной цепи i_a , а на вход CH1 (X) – анодное напряжение тиристора u_a (при этом переключатель развертки осциллографа должен быть переведен в положение X/Y). Корпус осциллографа присоединить к общему проводу (\perp). Зарисовать ВАХ тиристора при двух значениях тока управления I_y , определить масштабы по току и напряжению. Выключить питание;

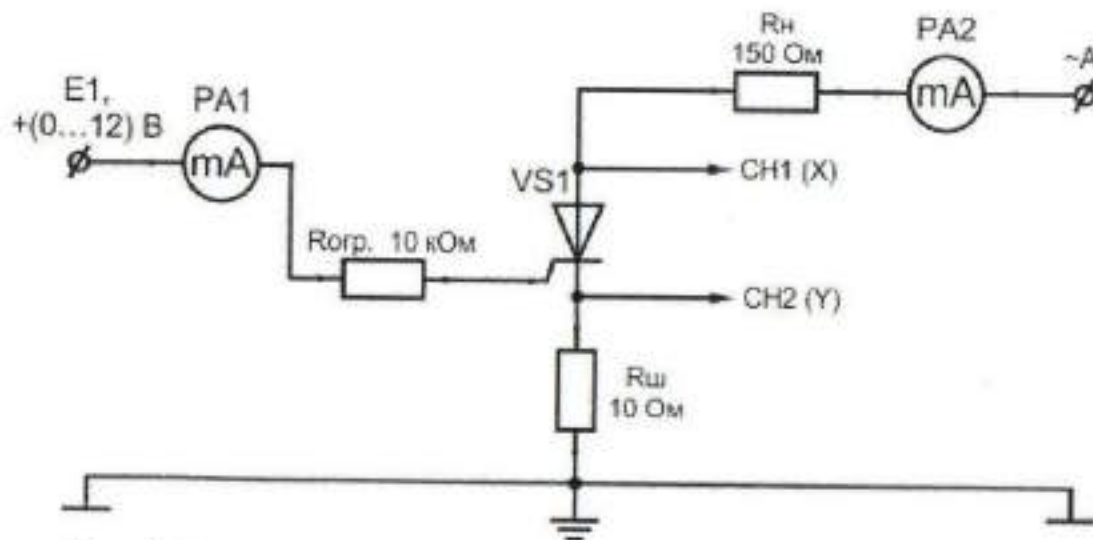


Рис. 2. Схема для исследования тиристора на переменном токе

е) определить по осциллограммам максимальное напряжение между анодом и катодом U_{FM} в открытом состоянии при максимальном анодном токе $I_{a,max}$, ток удержания I_{yd} , пороговое напряжение $U_{T(ro)}$ и дифференциальное сопротивление r_T .

3. Содержание отчета

Отчет по работе должен содержать:

- наименование и цель работы;
- принципиальные электрические схемы для выполненных экспериментов;
- результаты экспериментальных исследований и проведенных по ним расчетов, помещенные в соответствующие таблицы;

- г) экспериментально снятые и построенные характеристики;
- д) обработанные осциллограммы;
- е) выводы по работе.

4. Контрольные вопросы

1. Поясните вид выходной (анодной) ВАХ тиристора.
2. Поясните вид входной ВАХ тиристора.
3. Как определить пороговое напряжение и дифференциальное сопротивление тиристора во включенном состоянии?
4. Как снять выходную ВАХ тиристора?
5. Сравните свойства тиристорov и транзисторов по управляемости.
6. Объясните назначение диаграммы управления тиристора.

Работа № 9. ИССЛЕДОВАНИЕ САМОВОССТАНАВЛИВАЮЩЕГОСЯ ПРЕДОХРАНИТЕЛЯ

1. Цель работы

Ознакомиться с работой, основными характеристиками и применением самовосстанавливающегося предохранителя.

Перечень используемых в работе минимодулей

Наименование минимодуля	Количество
Самовосстанавливающийся предохранитель	1
Потенциометр 150 Ом	1
Резистор 100 Ом	1
Резистор 150 Ом	1
Резистор 1,5 кОм	1

2. Краткие теоретические сведения

Терморезистор (от греч. *thérme* — тепло, жар; от лат. *resisto* — сопротивляюсь), термистор — полупроводниковый резистор, электрическое сопротивление которого существенно убывает или возрастает с ростом температуры. Для терморезистора характерны большой температурный коэффициент сопротивления (ТКС) (в десятки раз превышающий этот коэффициент у металлов), простота устройства, способность работать в различных климатических условиях при значительных механических нагрузках, стабильность характеристик во времени. Терморезистор изготавливают в виде стержней, трубок, дисков, шайб, бусинок и тонких пластинок преимущественно методами порошковой металлургии; их размеры могут варьироваться в пределах от 1—10 мкм до 1—2 см. Основными параметрами терморезистора являются: номинальное сопротивление, температурный коэффициент сопротивления, интервал рабочих температур, максимально допустимая мощность рассеяния.

Различают терморезисторы с отрицательным и положительным ТКС. Вольтамперная характеристика терморезистора с положительным ТКС приведена на рис. 1.

Режим работы терморезисторов зависит от того, на каком участке статической вольтамперной характеристики (ВАХ) выбрана рабочая точка. Терморезисторы с рабочей точкой на начальном (линейном) участке ВАХ используются для измерения и

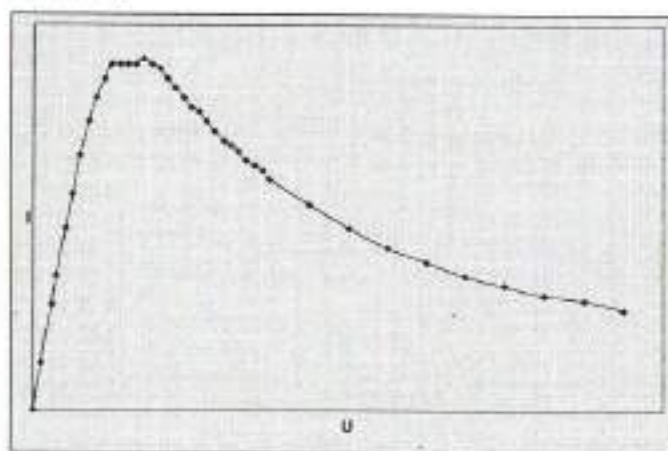


Рис. 1. ВАХ терморезистора с положительным ТКС.

контроля температуры и компенсации температурных изменений параметров

электрической цепей и электронных приборов. Терморезисторы с рабочей точкой на нисходящем участке ВАХ (с отрицательным сопротивлением) применяются в качестве пусковых реле, реле времени, измерителей мощности электромагнитного излучения на СВЧ, стабилизаторов, температуры, напряжения и т.д. Примером терморезистора с положительным ТКС является самовосстанавливающийся предохранитель.

Самовосстанавливающиеся предохранители предназначены для защиты электронных узлов от перегрузки по току и перегрева. Устройство представляет собой резистор с положительным температурным коэффициентом сопротивления, изготовленный из специального полимерного материала. Принцип действия основан на свойстве резко увеличивать свое сопротивление под воздействием проходящего тока или температуры окружающей среды и автоматически восстанавливать свои первоначальные свойства после устранения причин срабатывания.

В работе исследуется самовосстанавливающийся предохранитель, параметры которого приведены в табл. 1, а условное графическое обозначение на принципиальных электрических схемах – на рис. 2.

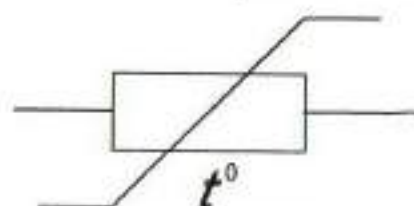


Рис. 2. УГО самовосстанавливающегося предохранителя

Таблица 1

Тип самовосстанавливающегося предохранителя	RXE005
Рабочий ток, который не изменяет характеристик предохранителя I_n , А	0,05
Максимальное сопротивление в открытом состоянии R_{max} , Ом	11,1
Максимальное рабочее напряжение U_{max} , В	60

3. Задание и методические указания

1) Ознакомиться с лабораторной установкой.

2) Экспериментальное исследование работы самовосстанавливающегося предохранителя:

а) собрать схему для снятия вольтамперной характеристики самовосстанавливающегося предохранителя (рис. 3). В качестве вольтметра PV1 использовать мультиметр в режиме измерения постоянного напряжения с пределом 20 В. Для измерения тока использовать цифровой амперметр в режиме измерения постоянного тока (тумблер «=I/-I» установить в положение «=I»). Показать схему для проверки преподавателю.

б) снять вольтамперную характеристику самовосстанавливающегося предохранителя $I=f(U)$. Включить тумблер «Сеть» источника питания. Изменяя напряжение U с помощью потенциометра RP на модуле питания, снять характеристику. На начальном участке (до 1,5 В) желательно снять 5-10 точек с примерным шагом 0,1...0,2 В, на участке выше 2 В снимать данные примерно через 1 В. Экспериментальные результаты записать в табл. 2. Выключить тумблер «Сеть». Построить полученную экспериментальную характеристику.

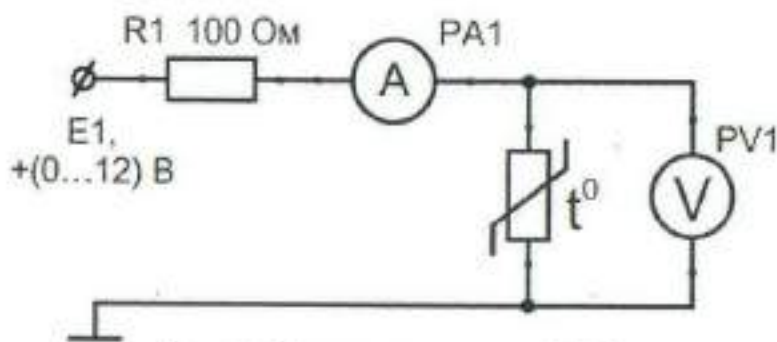


Рис. 3. Схема для снятия ВАХ самовосстанавливающегося предохранителя

Таблица 2

$U, В$	0						
$I, мА$							

По полученным экспериментальным характеристикам определить максимальное сопротивление в открытом состоянии R_{max} при I_n .

3) Экспериментальное исследование работы самовосстанавливающегося предохранителя при перегрузке:

а) собрать схему для экспериментального исследования работы самовосстанавливающегося предохранителя при перегрузке (рис. 4). В качестве вольтметра PV1 использовать стрелочный прибор на 15 В или мультиметр в режиме измерения постоянного напряжения с пределом 20 В. Для измерения тока использовать цифровой амперметр в режиме измерения постоянного тока. Показать схему для проверки преподавателю.

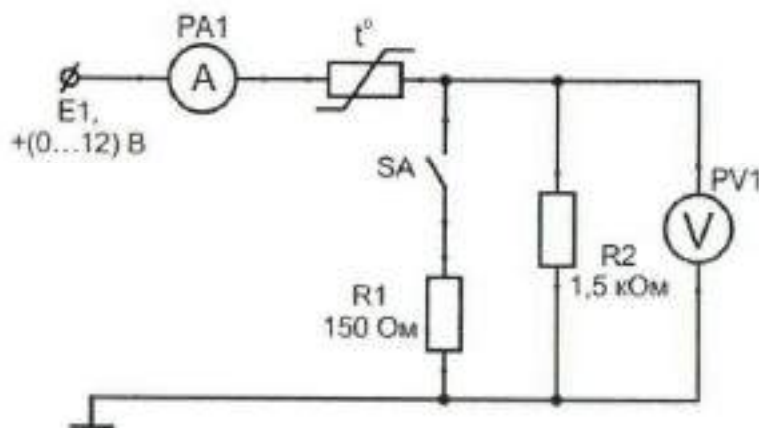


Рис. 4. Схема для исследования работы самовосстанавливающегося предохранителя при перегрузке

б) включить тумблер «Сеть» источника питания. Записать значения тока и напряжения в цепи при разомкнутом положении (0) переключателя SA. Переключить SA в положение «1». Наблюдать за током и напряжением в течение 20 секунд. Записать значения тока и напряжения. Выключить тумблер «Питание». Построить полученную экспериментальную характеристику.

4. Содержание отчета

- а) наименование работы и цель работы;
- б) электрические схемы проведенных экспериментов;
- в) таблицы с результатами эксперимента;
- г) результаты экспериментальных исследований и проведенных по ним расчетов, помещенные в соответствующие таблицы;
- д) выводы по работе: линейная или нелинейная статическая характеристика самовосстанавливающегося предохранителя, сколько участков на характеристике можно выделить и какой из них является рабочим, может ли предохранитель находиться в состоянии, отличном от статической характеристики, насколько долго.

5. Контрольные вопросы

1. Какие разновидности терморезисторов вы знаете?
2. Каковы основные области применения терморезисторов?
3. Почему меняется сопротивление терморезистора при изменении температуры?
4. Как выглядят вольтамперные характеристики терморезисторов с отрицательным и положительным ТКС?

Работа № 10. ИССЛЕДОВАНИЕ ИНВЕРТИРУЮЩЕГО И НЕИНВЕРТИРУЮЩЕГО УСИЛИТЕЛЯ

1. Цель работы

Изучение схем включения операционного усилителя с обратными связями в качестве инвертирующего и неинвертирующего усилителя.

Перечень используемых в работе минимодулей

Наименование минимодуля	Количество
ОУ	1
Потенциометр 2,2 кОм	1
Резистор 10 кОм	3
Резистор с переключателем 10 – 470 кОм	1

Таблица переключений

Таблица 1

Положение переключателя	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Сопротивление	10к	20к	30к	52к	74к	96к	152к	208к	264к	364к	470к

2. Задание и методические указания

1) Предварительное домашнее задание:

а) изучить темы курса "Характеристики и параметры усилителей", "Обратные связи в усилителях", "Аналоговые интегральные схемы", "Схемы включения операционного усилителя"; изучить содержание данной работы, быть готовым ответить на все контрольные вопросы;

б) пользуясь принципиальными схемами, приведенными в руководстве начертить схемы соединений для проведения экспериментов, перечисленных в лабораторной работе;

в) для инвертирующего усилителя нарисовать в масштабе временные диаграммы $u_{вх}(t)$ и $u_{вых}(t)$ при заданных преподавателем значениях входного синусоидального напряжения и резисторов. Коэффициент усиления инвертирующего усилителя по напряжению

$$K_u = -\frac{R_3}{R_1};$$

г) для неинвертирующего усилителя нарисовать в масштабе временные диаграммы $u_{вх}(t)$ и $u_{вых}(t)$ при заданных преподавателем значениях входного синусоидального напряжения и резисторов. Коэффициент усиления неинвертирующего усилителя по напряжению

$$K_u = 1 + \frac{R_3}{R_1};$$

2) Экспериментальное исследование инвертирующего усилителя.

а) собрать схему согласно рис. 1; в качестве R3 включить минимодуль резистор с переключением 10...470 кОм; установить заданное преподавателем значение R3; в качестве вольтметров использовать мультиметры;

б) снять амплитудную характеристику усилителя на постоянном токе

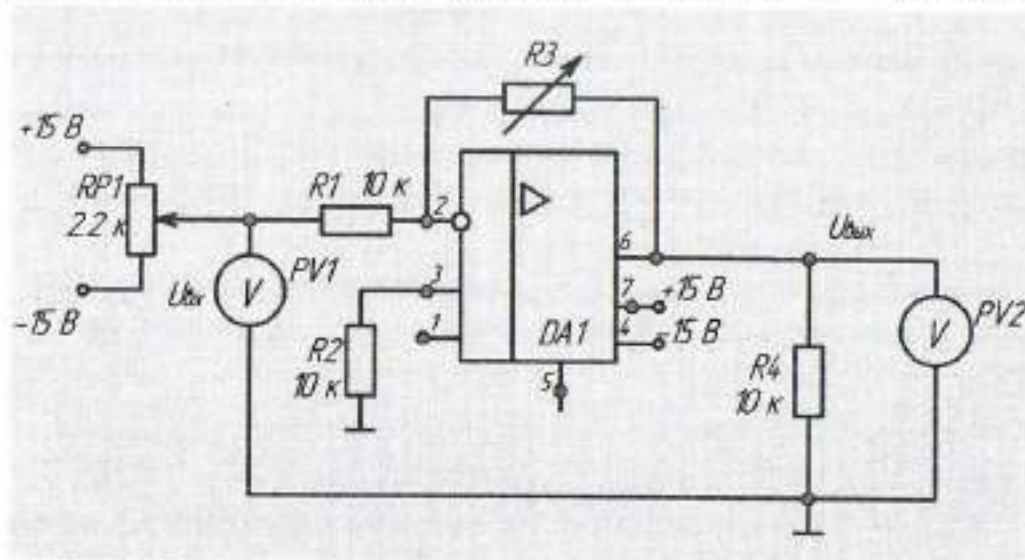


Рис. 1. Схема для исследования инвертирующего усилителя

$U_{\text{вых}} = F(U_{\text{вх}})$. В качестве источника сигнала использовать напряжение, регулируемое потенциометром RP1.

По амплитудной характеристике определить коэффициент усиления по напряжению $K_{\text{иос}}$; выключить питание;

в) снять амплитудные характеристики усилителя при помощи осциллографа для двух значений $R_{\text{ос}}(R3)$. Для опыта необходимо подавать питание на схему с модуля функциональный генератор (рис. 2). Для снятия зависимости одной величины от другой надо использовать два входа осциллографа X и Y. Вход Y (один вывод) подключается к выходу усилителя, вход X – к входу усилителя, а корпус подключается к общему проводу (\perp). Развертка луча переключается в положение X/Y. Установить на выходе функционального генератора напряжение частотой порядка 100...200 Гц; определить по характеристикам коэффициенты усиления;

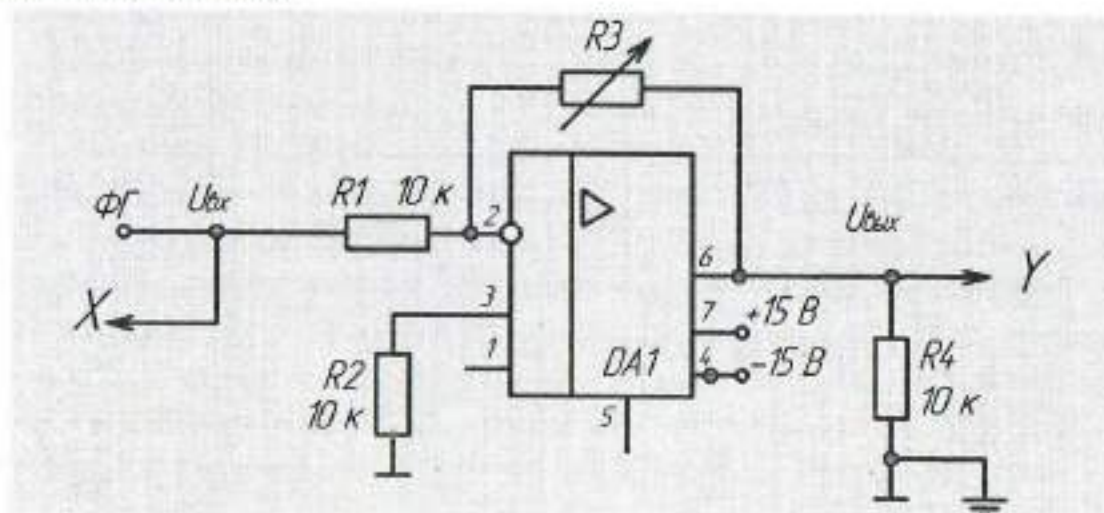


Рис. 2. Схема для снятия амплитудных характеристик усилителя с помощью осциллографа

г) снять амплитудно-частотную характеристику (АЧХ) усилителя $K_u = F(f)$ при $u_{вх} = \text{const}$ для заданного преподавателем значения $R_{oc}(R3)$. Переключатель развертки осциллографа установить на временную развертку. Выходной сигнал усилителя должен находиться на линейном участке амплитудной характеристики. Амплитуды сигналов $u_{вх}$, $u_{вых}$ измерять осциллографом.

По АЧХ определить полосу пропускания усилителя для коэффициента частотных искажений на высоких частотах $M_B = \sqrt{2}$;

д) по результатам опыта построить характеристики усилителя, определить его параметры, обработать осциллограммы, сравнить расчет и опыт.

3) Экспериментальное исследование неинвертирующего усилителя.

а) собрать схему согласно рис. 3. Установить заданное преподавателем значение $R3$;

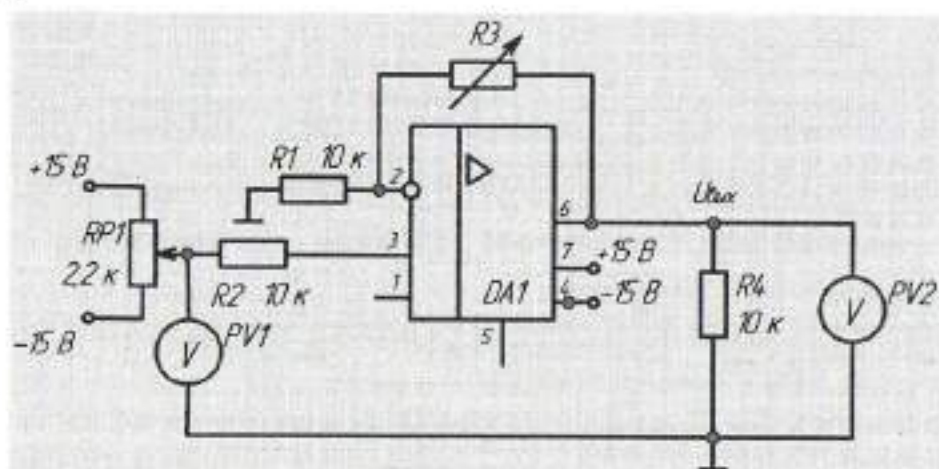


Рис. 3. Схема для исследования неинвертирующего усилителя

б) снять амплитудную характеристику усилителя на постоянном токе $U_{вых} = F(U_{вх})$. В качестве источника сигнала использовать напряжение, регулируемое потенциометром RP1.

По амплитудной характеристике определить коэффициент усиления по напряжению K_u ; выключить питание;

в) снять амплитудные характеристики усилителя при помощи осциллографа для двух значений R_{oc} ($R3$). Для опыта необходимо подавать питание на схему с модуля функциональный генератор (рис. 4). Для снятия зависимости одной величины от другой надо использовать два входа осциллографа X и Y. Вход Y (один вывод) подключается к выходу усилителя, вход X – к входу усилителя, а корпус – к общему проводу (\perp). Развертка луча переключается в положение X/Y. Установить на выходе функционального генератора напряжение частотой порядка 100...200 Гц; определить по характеристикам коэффициенты усиления;

г) снять амплитудно-частотную характеристику (АЧХ) усилителя $K_u = F(f)$ при $u_{вх} = \text{const}$ для заданного значения R_{oc} . Переключатель развертки осциллографа установить на временную развертку. Выходной сигнал усилителя

должен находиться на линейном участке амплитудной характеристики. Амплитуды сигналов $u_{вх}$, $u_{вых}$ измерять осциллографом.

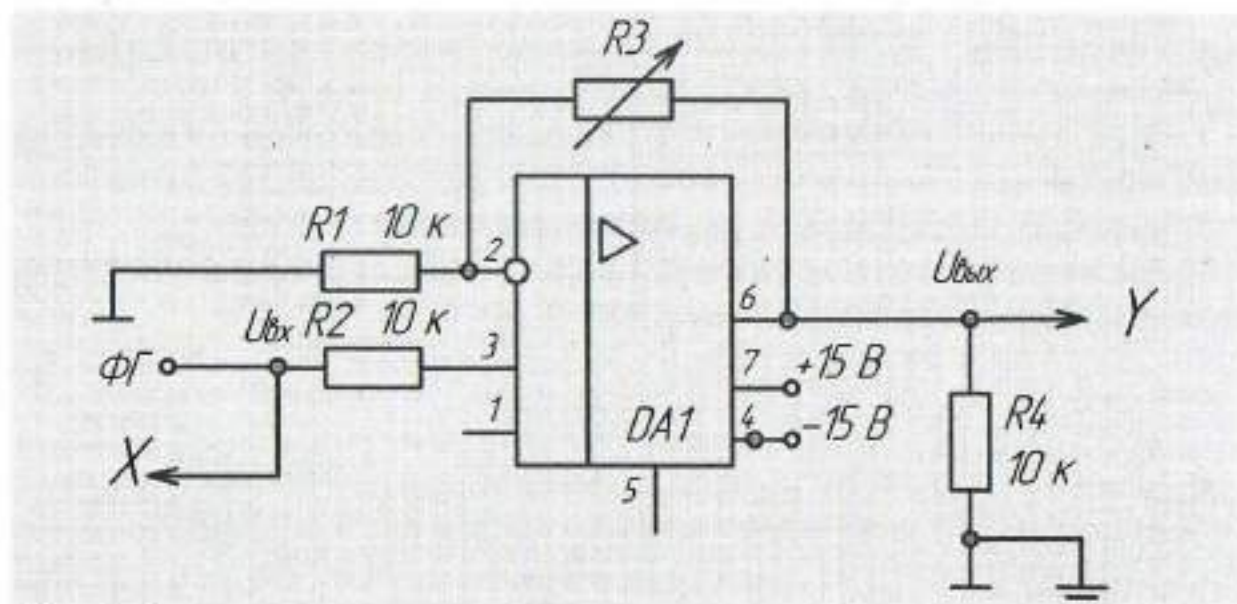


Рис. 4. Схема для снятия амплитудных характеристик усилителя при помощи осциллографа

По АЧХ определить полосу пропускания усилителя для коэффициента частотных искажений на высоких частотах $M_B = \sqrt{2}$;

д) по результатам опыта построить характеристики усилителя, определить его параметры, обработать осциллограммы, сравнить расчет и опыт.

3. Содержание отчета

Отчет по работе должен содержать:

- а) наименование и цель работы;
- б) пользуясь принципиальными схемами, приведенными в руководстве начертить схемы соединений для проведения экспериментов, перечисленных в лабораторной работе;
- в) результаты экспериментальных исследований и проведенных по ним расчетов, помещенные в соответствующие таблицы;
- г) экспериментально снятые и построенные характеристики;
- д) обработанные осциллограммы.
- е) выводы по работе: сделать выводы о влиянии сопротивления обратной связи на коэффициенты усиления инвертирующего и неинвертирующего усилителя и их амплитудные характеристики.

4. Контрольные вопросы

1. Что называется операционным усилителем?
2. Каковы основные параметры операционного усилителя?
3. Почему операционный усилитель, включенный без обратной связи, работает как релейный элемент?

4. Какие допущения принимаются для операционного усилителя при выводе коэффициента усиления с различными обратными связями?
5. Для чего применяется отрицательная обратная связь в усилителях?
6. Какой знак будет иметь выходное напряжение инвертирующего усилителя, если на вход подано отрицательное напряжение?
7. Что такое амплитудная и амплитудно-частотная характеристики усилителя?
8. Как определить полосу пропускания усилителя?
9. Как снять амплитудную характеристику инвертирующего усилителя или компаратора при помощи осциллографа?

Работа № 11. ИССЛЕДОВАНИЕ ИНТЕГРАТОРА И АКТИВНОГО ФИЛЬТРА

1. Цель работы

Изучение схем включения операционного усилителя (ОУ) с обратными связями в качестве интегратора и активного фильтра.

Перечень используемых в работе минимодулей

Наименование минимодуля	Количество
ОУ	1
Конденсатор 100 нФ	1
Конденсатор 10 нФ	1
Потенциометр 10 кОм	1
Резистор 10 кОм	3
Резистор с переключателем 10 - 470 кОм	1

Таблица переключений

Таблица 1

Положение переключателя	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Сопротивление	10к	20к	30к	52к	74к	96к	152к	208к	264к	364к	470к

2. Задание и методические указания

1) Предварительное домашнее задание:

а) изучить темы курса "Схемы включения операционного усилителя", содержание данной работы и быть готовым ответить на все контрольные вопросы;

б) пользуясь принципиальными схемами, приведенными в руководстве, начертить схемы соединений для проведения экспериментов, перечисленных в лабораторной работе;

в) нарисовать в масштабе временные диаграммы $u_{вх}$ и $u_{вых}$ для заданной преподавателем частоты f знакопеременного прямоугольного сигнала $u_{вх}$. При этом предварительно найти амплитуду $U_{вх}$ прямоугольного сигнала $u_{вх}$, при которой выходной сигнал $u_{вых}$ интегратора имеет пилообразную форму с амплитудой $U_{вых}$, равной максимальному напряжению на выходе ОУ ($U_{вых. макс} = 12 В$).

Напряжение на выходе интегратора при постоянном входном сигнале изменяется по линейному закону

$$u_{вых}(t) = -\frac{U_{вх} \cdot t}{T_n} + U_{вых}(0), \quad (1)$$

где $T_n = R_f \cdot C_2$ – постоянная времени интегрирования;

$U_{вых}(0)$ – напряжение на выходе интегратора в момент времени 0.

При периодическом прямоугольном входном сигнале напряжение на выходе интегратора имеет пилообразную форму с амплитудой U_{nm} (рис. 1).

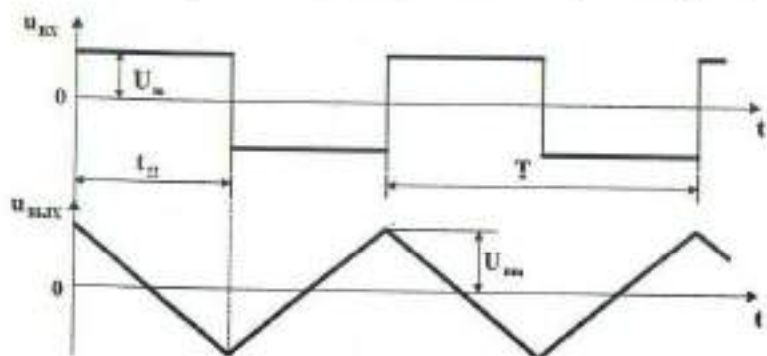


Рис. 1. Напряжение на выходе интегратора при периодическом прямоугольном входном сигнале

В реальной схеме интегратора вследствие дрейфа нуля ОУ сигнал на выходе $u_{вых}$ оказывается смещенным относительно нуля. Для получения симметричного сигнала $u_{вых}$ относительно нуля примем $U_{nm} = U_{вых, max}$ и найдем требуемую амплитуду прямоугольного входного сигнала U_m . Для интервала времени t_u (рис. 1) подставим в уравнение (1): $u_{вых}(t) = -U_{nm} = -U_{вых, max}$; $t = t_u = T/2$; $U_{вх} = U_m$; $U_{вых}(0) = U_{nm} = U_{вых, max}$, тогда

$$U_m = \frac{4 \cdot U_{nm} \cdot T_u}{T}, \quad (2)$$

где $T = 1/f$ – период прямоугольного входного сигнала.

2) Исследование интегратора:

а) собрать схему интегратора согласно рис. 2, установить заданное преподавателем значения емкости C ;

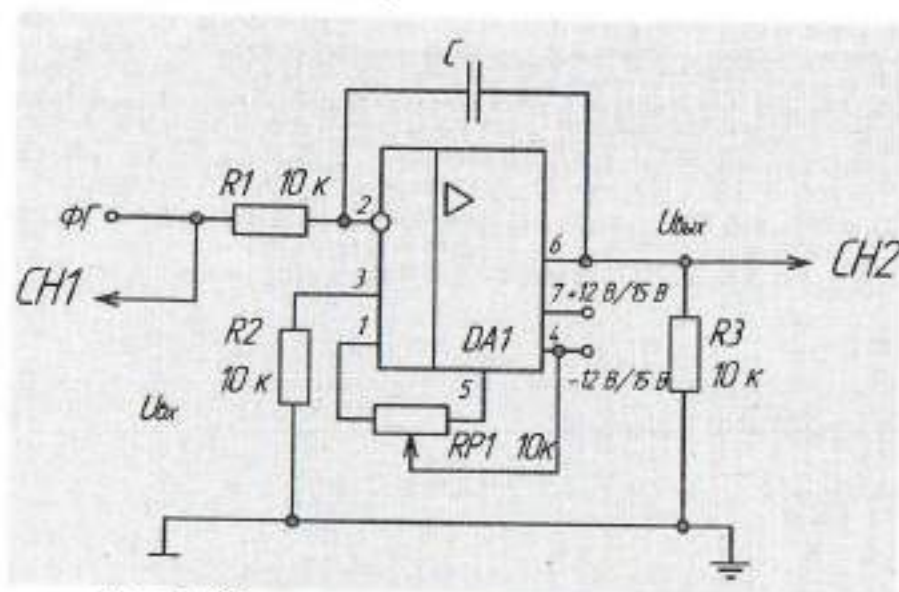


Рис. 2. Схема для исследования интегратора

б) исследовать работу интегратора в режиме генератора пилообразного напряжения (рис. 1). Для этого на функциональном генераторе установить

прямоугольное знакопеременное напряжение с заданной частотой f и амплитудой U_m , рассчитанной в п. 1 в. Напряжение на входе $u_{вх}$ и выходе $u_{вых}$ контролировать при помощи осциллографа. При необходимости подстроить потенциометром $RP1$ амплитуду U_m знакопеременного прямоугольного сигнала так, чтобы пилообразный выходной сигнал интегратора стал симметричным относительно нуля с амплитудой $U_{нм} = U_{вых.макс}$ (рис. 1). Зарисовать осциллограммы $u_{вх}(t)$ и $u_{вых}(t)$. Сравнить полученные результаты с расчетом по значениям $U_m, f, U_{нм}$;

в) снять и построить зависимость амплитуды выходного напряжения от частоты $U_{нм} = F(f)$ при постоянной амплитуде синусоидального входного напряжения. Амплитуды $U_{вх}$ и $U_{вых}$ замерять при помощи осциллографа. Результаты заносить в таблицу. Построить зависимость $U_{нм} = F(f)$. Выключить питание модуля.

3) Исследование активного фильтра:

а) собрать схему активного фильтра согласно рис. 3. Сопротивление резистора с переключением $RP2$ и величину емкости конденсатора C установить в соответствии с указанным преподавателем;

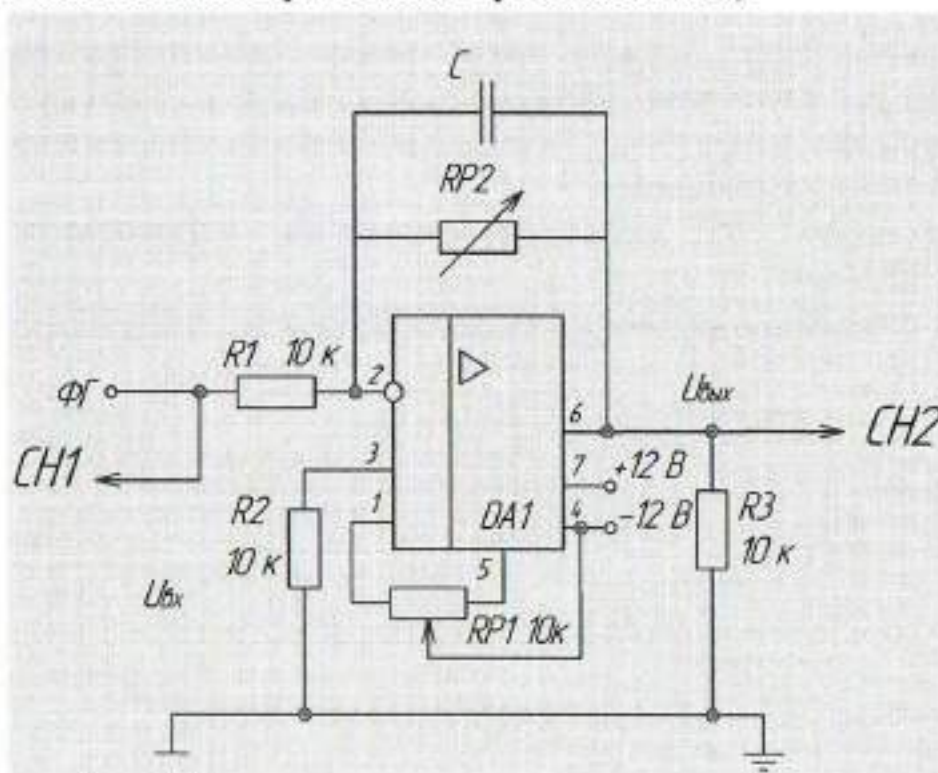


Рис. 3. Схема для исследования активного фильтра

б) снять и построить амплитудно-частотную характеристику активного фильтра при заданных параметрах элементов фильтра;

в) повторить опыт при других значениях параметров фильтра;

г) определить полосы пропускания исследованных активных фильтров.

3. Содержание отчета

Отчет по работе должен содержать:

- а) наименование и цель работы;
- б) пользуясь принципиальными схемами, приведенными в руководстве начертить схемы соединений для проведения экспериментов, перечисленных в лабораторной работе;
- в) результаты экспериментальных исследований и проведенных по ним расчетов, помещенные в соответствующие таблицы;
- г) экспериментально снятые и построенные характеристики;
- д) обработанные осциллограммы.
- е) сделать выводы по работе: о влиянии частоты входного напряжения и емкости конденсатора обратной связи на амплитуду выходного пилообразного напряжения в интеграторе; о влиянии параметров на полосу пропускания активного фильтра.

4. Контрольные вопросы

Что такое амплитудная и амплитудно-частотная характеристики усилителя?

Как получить на выходе интегрирующего усилителя пилообразное напряжение?

Как определяется постоянная времени интегрирования?

Какое соотношение должно быть между длительностью импульса, поступающего на вход интегрирующего усилителя, и постоянной времени интегрирования для того, чтобы на выходе избежать ошибки интегрирования?

Что такое активный фильтр?

Как определить по амплитудно-частотной характеристике полосу пропускания фильтра?

От каких элементов схемы и как зависит полоса пропускания активного фильтра?

Работа № 12. ИССЛЕДОВАНИЕ КОМПАРАТОРОВ

1. Цель работы

Изучение схем включения операционных усилителей в качестве двухвходовых обычных и регенеративных компараторов.

Перечень используемых в работе минимодулей

Наименование минимодуля	Количество
ОУ	1
Потенциометр 2,2 кОм	1
Резистор с переключателем 10 – 470 кОм	1

Таблица переключений

Таблица 1

Положение переключателя	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Сопrotивление	10к	20к	30к	52к	74к	96к	152к	208к	264к	364к	470к

2. Задание и методические указания

1) Предварительное домашнее задание:

а) изучить тему курса "Схемы включения операционного усилителя"; изучить содержание данной работы, быть готовым ответить на все контрольные вопросы;

б) пользуясь принципиальной схемой, приведенной в руководстве начертить схему соединений для проведения экспериментов, перечисленных в лабораторной работе;

в) нарисовать в масштабе временные диаграммы входного и выходного напряжений в регенеративном компараторе, если на инвертирующий вход подано синусоидальное напряжение с амплитудой 3,0 В и заданным преподавателем значением частоты $f_{вх}$, а на неинвертирующий – постоянное опорное напряжение $U_{оп}$.

Определить ширину петли гистерезиса $U_2 = 2U_{пор}$, где $U_{пор}$ – напряжение порога срабатывания.

$$U_{пор} = \frac{U_{отт} R_3}{R_2 + R_3}, \text{ где } U_{отт} = \pm E = \pm 15 \text{ В.}$$

2) Исследование двухвходового компаратора и регенеративного компаратора с положительной обратной связью (триггера Шмидта):

а) собрать схему двухвходового компаратора с положительной обратной связью согласно рис. 1. В качестве резистора обратной связи R_3 применить переключаемый резистор 10...470 кОм. В качестве опорного напряжения $U_{оп}$ использовать регулируемое постоянное напряжение. На инвертирующий вход подключить функциональный генератор, используя у него выход "~";

б) снять характеристики передачи компаратора без обратной связи и для двух значений сопротивлений обратной связи при заданном опорном напряжении. Измерение опорного напряжения можно проводить мультиметром на пределе 20 В. Выходное напряжение необходимо подключить на вход Y осциллографа, входное напряжение – на вход X. Изменяя величину переменного сигнала на инвертирующем входе, добиться появления на выходе прямоугольных импульсов. После переключения развертки осциллографа в положение X/Y зарисовать характеристики. Определить масштабы по осям Y и X;

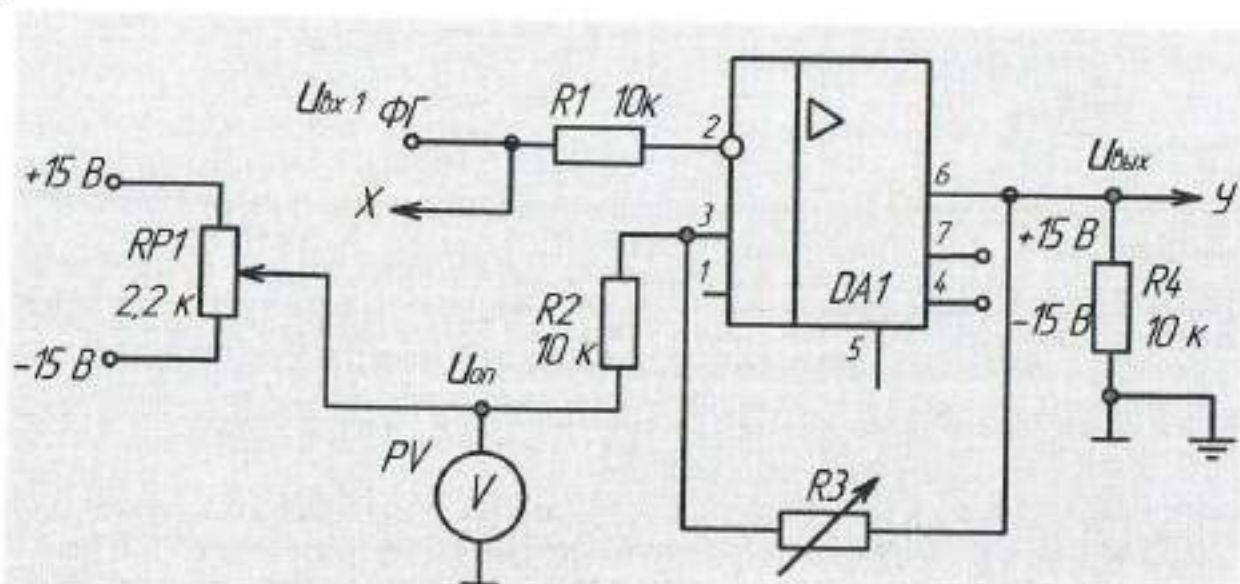


Рис. 1. Схема двухвходового компаратора с положительной обратной связью

в) снять осциллограммы работы компаратора при сравнении постоянного (опорного) и переменного напряжений. Установить амплитуду переменного напряжения 3,0 В с частотой 1 кГц. Установить заданное опорное напряжение. Зарисовать с экрана осциллографа входные напряжения $u_{вх1}$, $U_{оп}$ и выходное напряжение $u_{вых}$.

3. Содержание отчета

Отчет по работе должен содержать:

- наименование и цель работы;
 - принципиальные электрические схемы для выполненных экспериментов;
 - результаты экспериментальных исследований и проведенных по ним расчетов, помещенные в соответствующие таблицы;
 - экспериментально снятые и построенные характеристики;
 - обработанные осциллограммы.
- е) выводы по работе: сделать выводы о влиянии сопротивления в цепи обратной связи регенеративного компаратора на его передаточную характеристику.

4. Контрольные вопросы

- Что называется компаратором?

2. Зачем в компараторе применяется положительная обратная связь?
3. Как получить периодические прямоугольные импульсы на выходе компаратора?
4. Как зависит вид характеристики передачи регенеративного компаратора от сопротивления обратной связи.
5. Как снять амплитудную характеристику компаратора при помощи осциллографа?

Работа № 13. ИССЛЕДОВАНИЕ МУЛЬТИВИБРАТОРОВ

1. Цель работы

Изучение схем включения и характеристик симметричного и несимметричного мультивибратора, выполненного на базе операционного усилителя (ОУ).

Перечень используемых в работе минимодулей

Наименование минимодуля	Количество
ОУ	1
Конденсатор 100 нФ	1
Конденсатор 10 нФ	1
Резистор 1,5 кОм	3
Резистор 10 кОм	1
Резистор 200 кОм	1
Резистор с переключателем 10 – 470 кОм	1
Диод 1 А	2

Таблица переключений

Таблица 1

Положение переключателя	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Сопротивление	10к	20к	30к	52к	74к	96к	152к	208к	264к	364к	470к

2. Задание и методические указания

1) Предварительное домашнее задание:

а) изучить тему курса "Мультивибраторы", содержание данной работы и быть готовым ответить на все контрольные вопросы;

б) пользуясь принципиальной схемой, приведенной в руководстве начертить схему соединений для проведения экспериментов, перечисленных в лабораторной работе;

в) в соответствии с заданными преподавателем параметрами определить частоту на выходе мультивибратора:

$$f = 1/T, \quad (1)$$

$$T = 2 \cdot R_1 \cdot C_1 \cdot \ln \left(1 + 2 \cdot \frac{R_2}{R_3} \right). \quad (2)$$

Нарисовать в масштабе временные диаграммы напряжений на выходе $u_{вых}$, на инвертирующем входе u_c и неинвертирующем входе u_{oc} в схеме рис. 1.

2) Исследование симметричного мультивибратора:

а) собрать схему мультивибратора (рис. 1), установить заданные преподавателем значения емкости конденсатора C и сопротивления резистора R_1 ; в качестве R_1 использовать резистор с переключателем;

б) снять осциллограммы напряжений в схеме мультивибратора. Зарисовать с экрана осциллографа выходное напряжение $u_{вых}$ и напряжение на инвертирующем входе u_c . Обработать осциллограммы. Определить частоту на выходе мультивибратора. Определить масштабы. Сравнить значение частоты, полученное экспериментально, с расчетным значением;

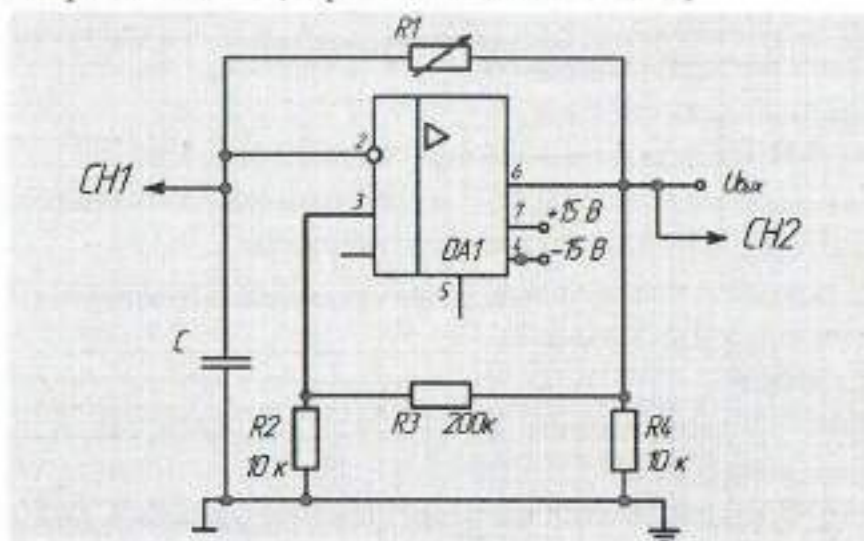


Рис. 1. Схема для исследования симметричного мультивибратора

в) исследовать влияние сопротивлений $R1$ и $R3$ и конденсатора C на изменение частоты на выходе мультивибратора. Для этого определить выходную частоту мультивибратора при другом значении резистора $R1$. Установить первоначальное значение сопротивления $R1$. Аналогичные действия повторить для конденсатора C . Поменять местами резисторы $R1$ и $R3$; исследовать влияние обратной связи.

3) Исследование несимметричного мультивибратора:

а) собрать схему несимметричного мультивибратора (рис. 2); установить заданные значения емкости конденсатора C и сопротивления резистора $R1$;

б) снять осциллограммы напряжений в схеме мультивибратора. Зарисовать с экрана осциллографа выходное напряжение $u_{вых}$ и напряжение на инвертирующем входе u_c . Обработать осциллограммы. Определить частоту на выходе мультивибратора. Определить соотношение времени

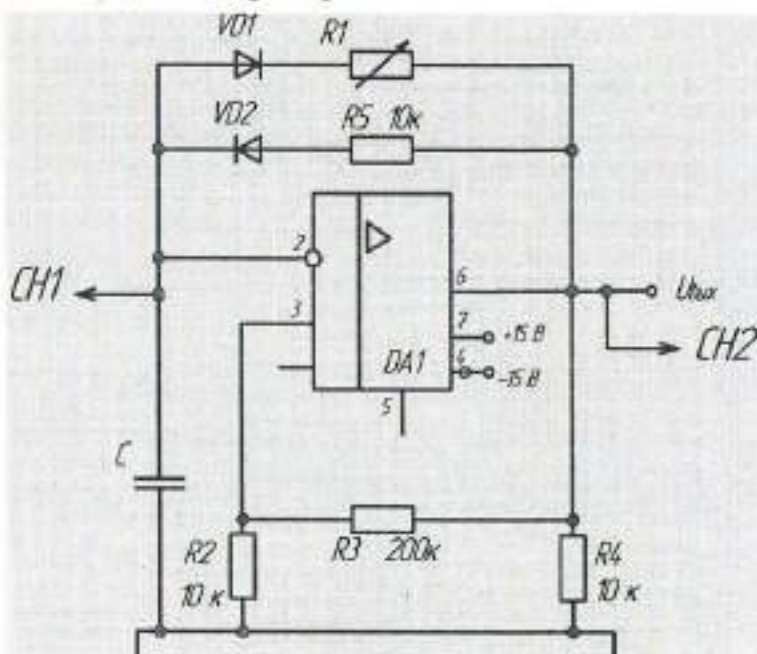


Рис. 2. Схема для исследования несимметричного мультивибратора

положительного и отрицательного импульсов. Определить масштабы.

в) исследовать влияние сопротивления R_I на изменение частоты и соотношение времени положительного и отрицательного импульсов на выходе мультивибратора.

3. Содержание отчета

Отчет по работе должен содержать:

- а) наименование и цель работы;
- б) схемы соединений для выполненных экспериментов;
- в) результаты экспериментальных исследований и проведенных по ним расчетов, помещенные в соответствующие таблицы;
- г) экспериментально снятые и построенные характеристики;
- д) обработанные осциллограммы;
- е) выводы по работе:
 - о влиянии сопротивлений резисторов и емкости конденсатора на выходную частоту мультивибратора;
 - о влиянии сопротивлений на соотношение времени положительного и отрицательного импульсов на выходе мультивибратора.

4. Контрольные вопросы

1. Что такое мультивибратор?
2. Принцип работы симметричного мультивибратора.
3. Принцип работы несимметричного мультивибратора.
4. Как можно изменить частоту на выходе мультивибратора?
5. Как можно изменить соотношение времени положительного и отрицательного импульсов на выходе мультивибратора?

Работа № 14. ИССЛЕДОВАНИЕ ЦИФРОВЫХ ИНТЕГРАЛЬНЫХ МИКРОСХЕМ

1. Цель работы

Изучение характеристик и функций простейших логических элементов.

Перечень используемых в работе минимодулей

Наименование минимодуля	Количество
Микросхема 2И-НЕ	1
Потенциометр 10 кОм	1
Резистор 1 кОм	1
Резистор 10 кОм	2
Диод Шоттки	1
Тумблер	2

2. Задание и методические указания

1) Предварительное домашнее задание:

- а) изучить тему курса “Цифровые интегральные микросхемы”, содержание данной работы и быть готовым ответить на все контрольные вопросы;
- б) построить временные диаграммы работы для логического элемента 2И-НЕ при заданной последовательности импульсов.

2) Исследование логического элемента 2И-НЕ:

а) собрать схему согласно рис. 1; в качестве вольтметра использовать мультиметр;

б) проверить логику работы элемента 2И-НЕ. На входы элемента через резисторы R1 и R2 подается +15 В (единица). При включении тумблеров SA1 и SA2 на входы подаются нули. Задавая различные комбинации входных логических сигналов занести результаты в табл. 1. Выходной сигнал контролируется мультиметром;

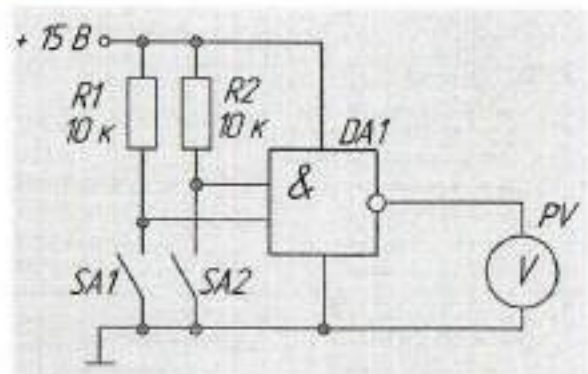


Рис. 1. Схема для исследования логического элемента 2И-НЕ

Таблица 1

U_{BX1}	U_{BX2}	$U_{ВЫХ}$
0	0	
1	0	
0	1	
1	1	

в) проверить работу логического элемента 2И-НЕ, подавая прямоугольное напряжение частотой 10 кГц на вход 1 и постоянное напряжение (15 или 0 В) на вход 2 элемента с помощью тумблера SA1. Для контроля вида входных и

ВЫХОДНЫХ СИГНАЛОВ К
соответствующим гнездам
подключать двухканальный
осциллограф (рис. 2).
Зарисовать осциллограммы
входных и выходных сигналов.
На основе осциллограмм
составить таблицу истинности
элемента 2И-НЕ.

г) снять передаточную
характеристику логического

элемента 2И-НЕ. Собрать схему
согласно рис. 3. Изменяя напряжение
на входе, контролировать напряжение
на выходе. Измерения проводить
повышая входное напряжение от 0 до
максимального, а затем снижая его до
0. Построить передаточную
характеристику. Определить уровни
 $U_{вх.г}^0; U_{вх.г}^1; U_{порог}^0; U_{порог}^1;$ определить
статическую помехоустойчивость
 $U_{н.ст.}^1; U_{н.ст.}^0;$

д) снять передаточную
характеристику логического элемента 2И-НЕ на переменном токе в
соответствии с рис. 4. Определить параметры микросхемы аналогично п.2,г.

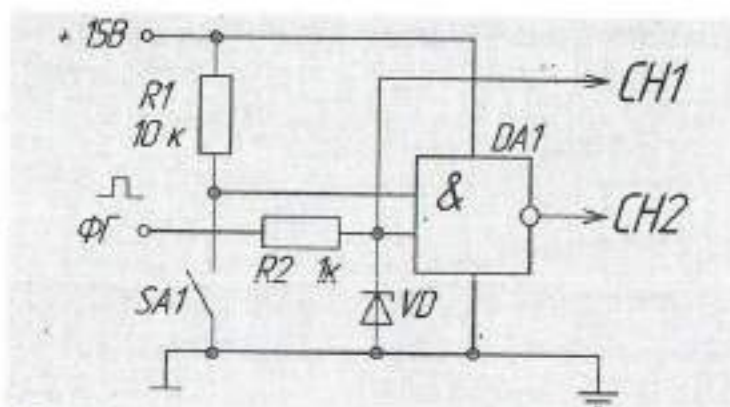


Рис. 2. Схема для исследования логического
элемента 2И-НЕ с помощью осциллографа

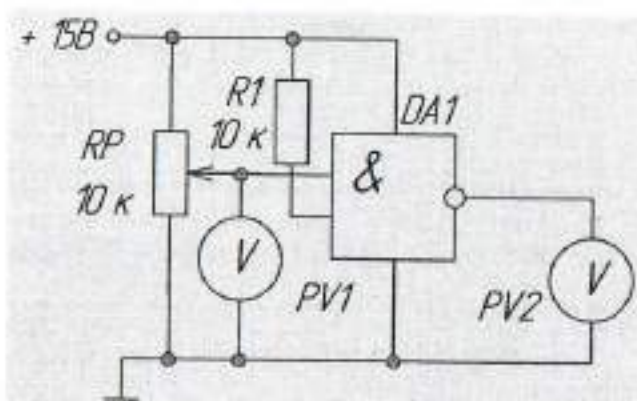


Рис. 3. Схема для снятия передаточной
характеристики логического элемента
2И-НЕ

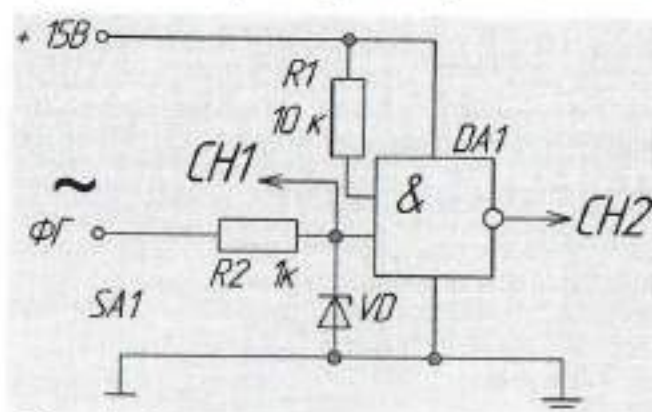


Рис. 4. Схема для снятия передаточной
характеристики логического элемента на
2И-НЕ на переменном токе

3) Исследование RS-триггера с инверсным управлением:

а) собрать схему согласно рис. 5;

б) задать различные комбинации входных логических сигналов на входах R и S , с помощью тумблеров $SA1$ и $SA2$; составить таблицу переключений триггера. Результаты занести в табл. 3;

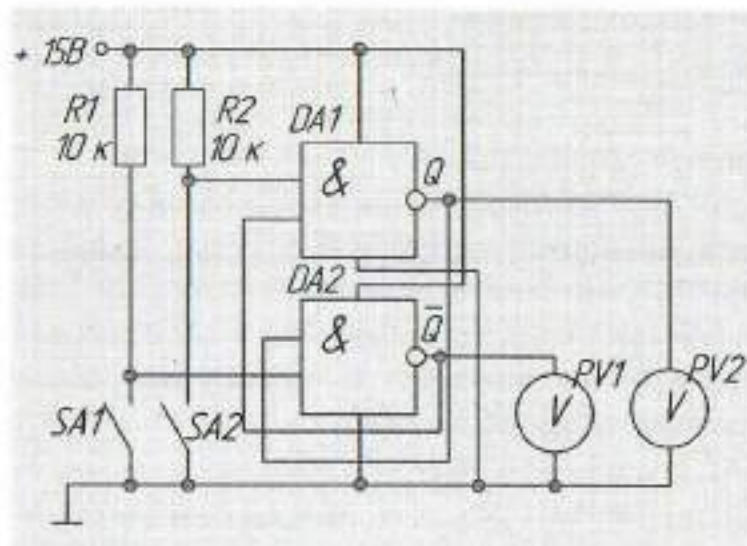


Рис. 5. Схема для исследования RS-триггера с инверсным управлением

Таблица 3

\bar{S}	\bar{R}	Q_{t-1}	Q_t	\bar{Q}_t
0	1	1		
1	1	1		
1	0	1		
1	1	0		
0	1	0		
1	1	0		

Примечания:

1) Индекс t соответствует настоящему состоянию триггера, $t-1$ – предыдущему.

2) В состояние Q_t триггер переводить, подавая соответствующие логические сигналы на входы S и R .

3) Комбинация входных сигналов $R=S=0$ считается запрещенной. Подумайте почему. Выполнить эту комбинацию сигналов.

в) составить таблицу переключений RS-триггера.

3. Содержание отчета

Отчет по работе должен содержать:

а) наименование и цель работы;
 б) пользуясь принципиальными схемами, приведенными в руководстве начертить схемы соединений для проведения экспериментов, перечисленных в лабораторной работе;

в) таблицы состояний и временные диаграммы входных и выходных напряжений;

г) построенные характеристики;

- д) обработанные осциллограммы;
- е) выводы по работе.

4. Контрольные вопросы

1. Чем отличаются последовательностные схемы от комбинационных?
2. Какие операции выполняет логический элемент 2И-НЕ?
3. Что такое передаточная характеристика логического элемента?
4. Как выглядят передаточные характеристики элементов И-НЕ?
5. Составьте таблицу истинности и нарисуйте схемное обозначение трехвходовых логических элементов И-НЕ.

Работа № 15. ИССЛЕДОВАНИЕ ОДНОПОЛУПЕРИОДНОГО НЕУПРАВЛЯЕМОГО ВЫПРЯМИТЕЛЯ

1. Цель работы

Ознакомление с применением выпрямительных диодов в неуправляемых выпрямителях.

Перечень используемых в работе минимодулей

Наименование минимодуля	Количество
Выпрямительный диод 1 А	1
Резистор 120 Ом	1
Резистор 10 Ом	1
Конденсатор 220 мкФ	1
Дроссель 200 мГн	1

2. Задание и методические указания

1) Предварительное домашнее задание:

а) изучить темы курса «Диоды», «Неуправляемые выпрямители» и содержание данной работы, быть готовым ответить на все контрольные вопросы;

б) пользуясь принципиальными схемами, приведенными в руководстве начертить схемы соединений для проведения экспериментов, перечисленных в лабораторной работе;

в) построить в масштабе временные диаграммы переменного синусоидального напряжения u , выпрямленного напряжения u_d , анодного тока i_a и напряжения на вентиле u_a .

2) Экспериментальное исследование однополупериодного выпрямителя на диоде:

а) собрать схему выпрямителя по рис. 1. В качестве вольтметров использовать мультиметры: PV1 в режиме измерения переменного напряжения, PV2 в режиме измерения постоянного напряжения. Подключить входы осциллографа. Переключатель развертки осциллографа перевести на временную развертку. Установить синхронизацию от сети. На экране осциллографа Вы увидите осциллограмму анодного тока и напряжения на диоде;

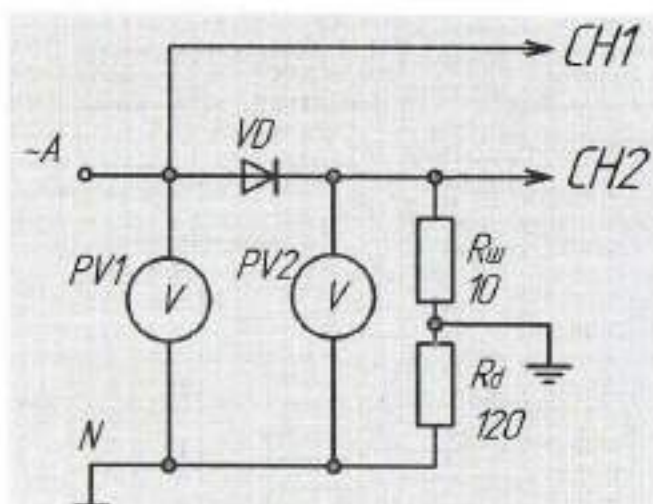


Рис. 1. Схема для исследования однополупериодного выпрямителя на диоде

б) снять осциллограммы напряжения на диоде u_a и анодного тока i_a . Снять осциллограмму напряжения на нагрузке u_d , переключив корпус осциллографа на общий провод (\perp), не забудьте определить масштабы по току и напряжению;

в) измерить с помощью мультиметров и определить связь между переменным напряжением питания и постоянным напряжением на нагрузке;

г) включить конденсатор параллельно сопротивлению нагрузки (рис. 2); снять осциллограммы напряжения на диоде u_a и анодного тока i_a . Снять осциллограмму напряжения на нагрузке u_d , переключив корпус осциллографа на общий провод (\perp);

д) определить связь между переменным напряжением и постоянным напряжением на нагрузке;

е) включить дроссель последовательно с нагрузкой (рис. 3); снять осциллограммы напряжения на диоде u_a и анодного тока i_a , снять осциллограмму напряжения на нагрузке u_d , переключив корпус осциллографа на общий провод (\perp);

ж) определить связь между переменным напряжением и постоянным напряжением;

з) сравнить результаты опытов.

3. Содержание отчета

а) наименование и цель работы;

б) схемы соединений для выполненных экспериментов;

в) результаты экспериментальных исследований и проведенных по ним расчетов, помещенные в соответствующие таблицы;

д) обработанные осциллограммы;

е) выводы по работе, ответить на контрольные вопросы 3 – 6.

4. Контрольные вопросы

1. Как работает неуправляемый выпрямитель?

2. Как и для чего строят временные диаграммы токов и напряжений в схеме выпрямителя?

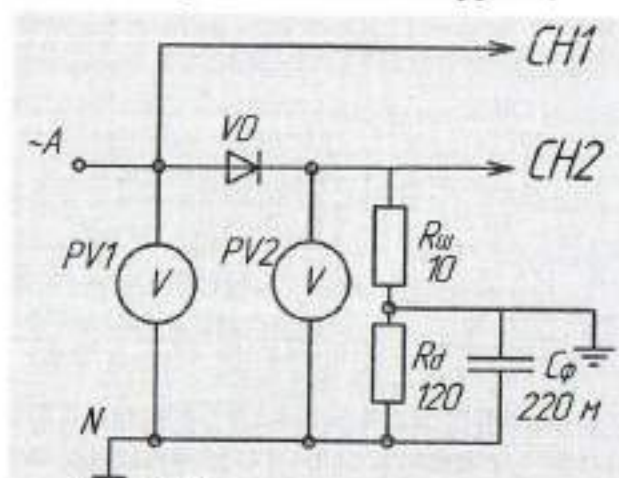


Рис. 2. Схема для исследования однополупериодного выпрямителя на диоде

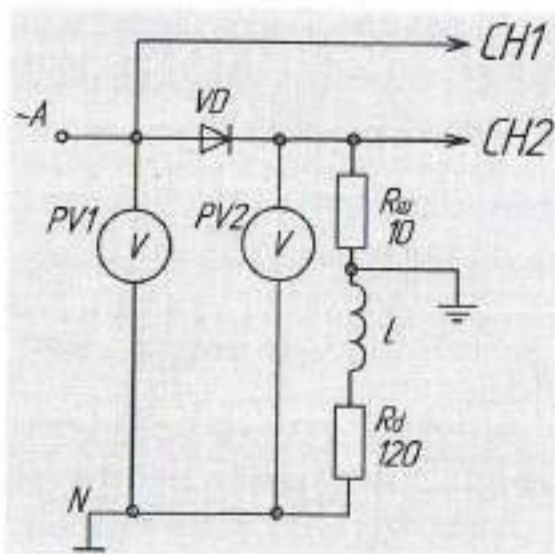


Рис. 3. Схема для исследования однополупериодного выпрямителя на диоде

3. Как и почему влияет конденсатор фильтра на форму напряжения на нагрузке и на форму анодного тока?
4. Как влияет конденсатор на величину напряжения на нагрузке?
5. Как и почему влияет дроссель на напряжение на нагрузке и форму анодного тока?
6. Как и почему влияет дроссель на величину напряжения на нагрузке?

Работа № 16. ИССЛЕДОВАНИЕ ОДНОПОЛУПЕРИОДНОГО УПРАВЛЯЕМОГО ВЫПРЯМИТЕЛЯ

1. Цель работы

Ознакомление с применением тиристорov в управляемых выпрямителях.

Перечень минимодулей

Наименование минимодуля	Количество
Тиристор 1 А	1
Резистор 1,5 кОм	1
Резистор 120 Ом	1
Резистор 10 Ом	1
Конденсатор 220мкФ	1
Конденсатор 1 мкФ	1
Дроссель 200 мГн	1
Потенциометр 10 кОм	1

2. Задание и методические указания

1) Предварительное домашнее задание:

а) изучить тему курса «Управляемые выпрямители» и содержание данной работы, быть готовым ответить на все контрольные вопросы;

б) пользуясь принципиальными схемами, приведенными в руководстве, начертить схемы соединений для проведения экспериментов, перечисленных в лабораторной работе;

в) построить в масштабе временные диаграммы переменного синусоидального напряжения u , выпрямленного напряжения u_d , анодного тока i_a и напряжения на вентиле u_a для заданного преподавателем угла управления при активной нагрузке.

2) Экспериментальное исследование однополупериодного управляемого выпрямителя на тиристоре:

а) собрать схему управляемого выпрямителя по рис. 1. Цепь RP1-C служит для изменения фазы напряжения, подаваемого на управляющий электрод. В качестве вольтметров использовать мультиметры: PV1 в режиме измерения переменного напряжения и PV2 в режиме измерения постоянного напряжения. Подключить входы осциллографа. Переключатель развертки осциллографа перевести на временную развертку. Установить синхронизацию от сети;

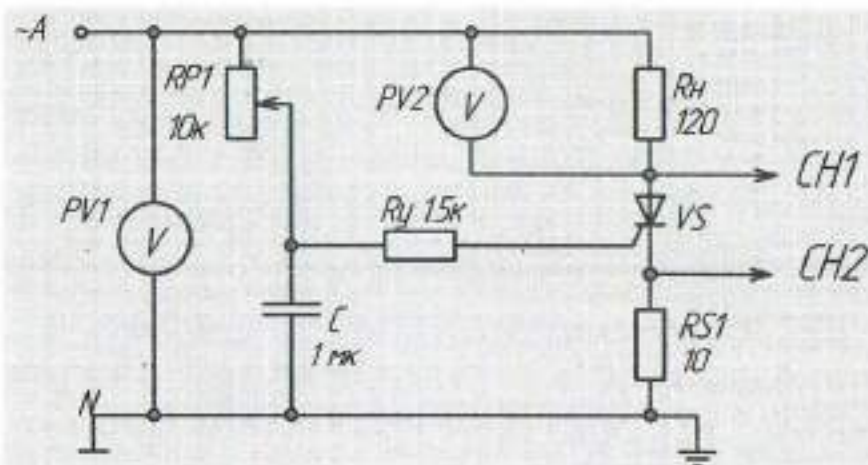


Рис. 1. Схема исследования управляемого выпрямителя

б) установить заданный угол управления, регулируя сопротивление реостата RP1; снять осциллограммы напряжения на тиристоре u_a и анодного тока i_a . Снять осциллограмму выпрямленного напряжения на нагрузке u_d , переключив осциллограф согласно рис. 2 (не забудьте определить масштабы по току и напряжению);

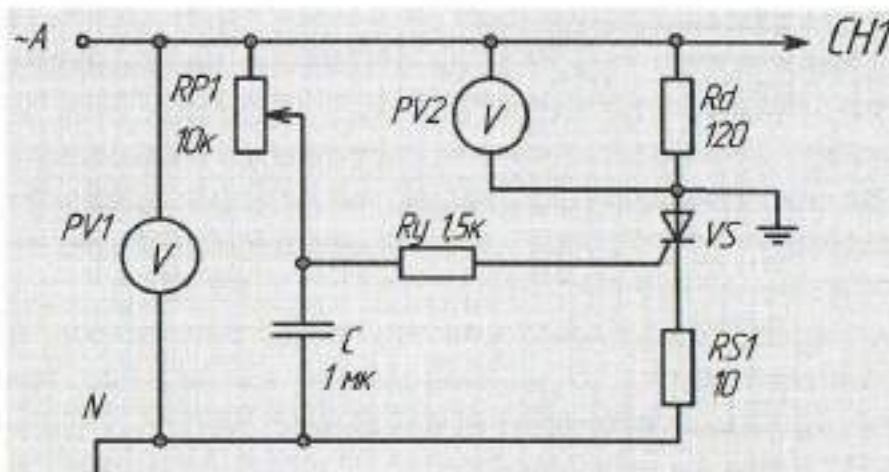


Рис. 2. Схема исследования управляемого выпрямителя

в) снять регулировочную характеристику выпрямителя $U_d=f(\alpha)$. Регулируя сопротивление реостата RP1, изменять угол управления α и построить регулировочную характеристику;

г) включить в цепь нагрузки индуктивность L_d (рис. 3: а, б), снять те же осциллограммы при заданном угле управления и активно-индуктивной нагрузке;

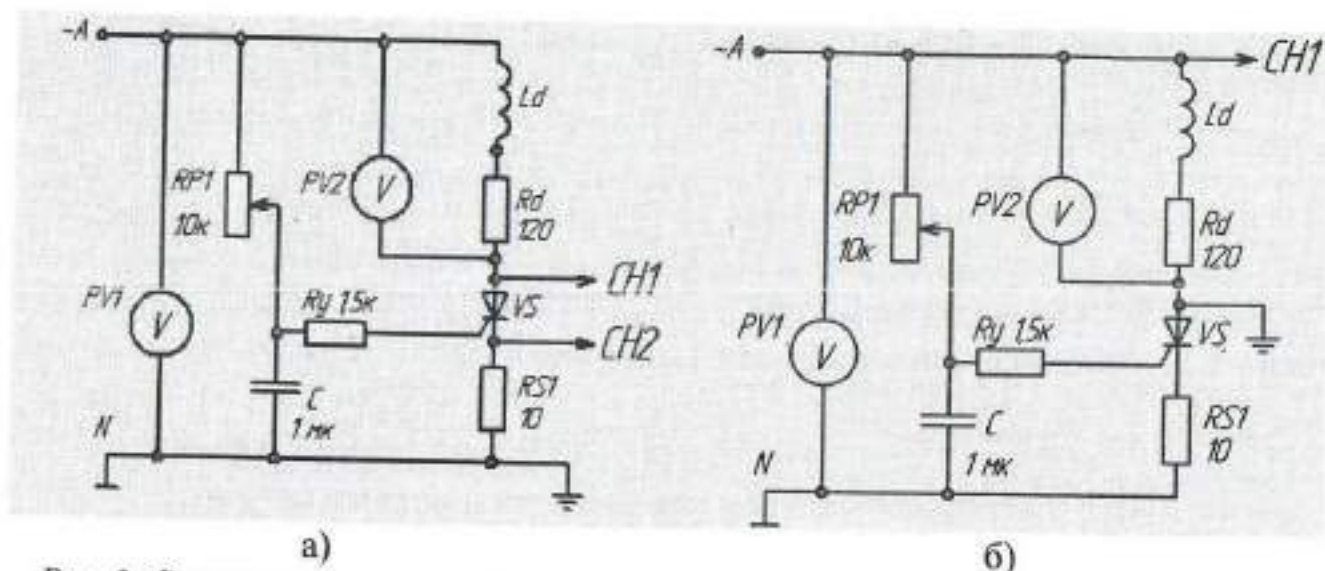


Рис. 3. Схемы исследования управляемого выпрямителя с индуктивностью в цепи нагрузки

д) снять регулировочную характеристику тиристора $U_d=f(\alpha)$ при активно-индуктивной нагрузке и нанести ее на тот же график, что и регулировочную характеристику при активной нагрузке;

е) включить конденсатор параллельно активному сопротивлению нагрузки (рис. 4, а), снять те же осциллограммы при заданном угле управления и активно-индуктивно-емкостной нагрузке (при малых пульсациях напряжения на конденсаторе это эквивалентно работе на против-ЭДС); дополнительно снять осциллограмму напряжения на конденсаторе (рис. 4, б), установив одинаковые масштабы по напряжению в каналах CH1 и CH2;

ж) снять регулировочную характеристику тиристора $U_d=f(\alpha)$ при активно-индуктивно-емкостной нагрузке и нанести ее на тот же график, что и регулировочную характеристику при активной нагрузке;

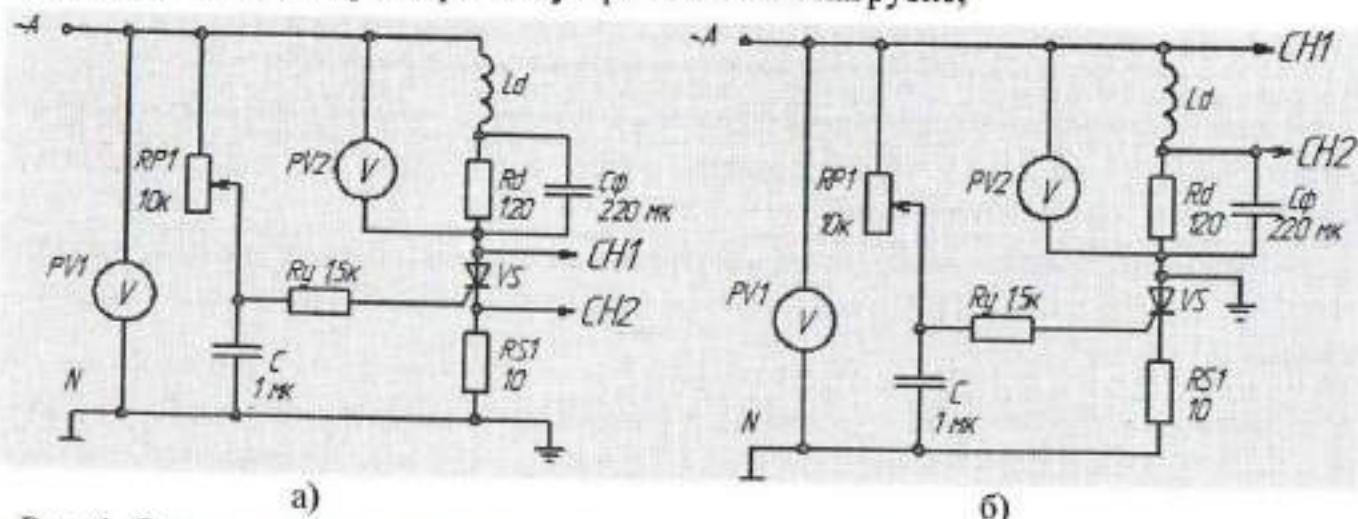


Рис. 4. Схемы для исследования управляемого выпрямителя с емкостью, включенной параллельно нагрузке

3. Содержание отчета

Отчет по работе должен содержать:

- а) наименование и цель работы;
- б) схемы соединений для выполненных экспериментов;
- в) результаты экспериментальных исследований, помещенные в соответствующие таблицы и построенные по ним регулировочные характеристики;
- г) обработанные осциллограммы;
- д) выводы по работе, ответить на контрольные вопросы 3 – 5.

4. Контрольные вопросы

1. Как работает управляемый выпрямитель?
2. Как и для чего строят временные диаграммы токов и напряжений в схеме выпрямителя?
3. Как и почему влияет конденсатор фильтра на форму напряжения на нагрузке и на форму анодного тока?
4. Как влияет конденсатор на величину напряжения на нагрузке?
5. Как и почему влияет дроссель на напряжение на нагрузке и форму анодного тока?

Работа № 17. ИССЛЕДОВАНИЕ ОДНОФАЗНОЙ МОСТОВОЙ СХЕМЫ ВЫПРЯМЛЕНИЯ

1. Цель работы

Исследование электромагнитных процессов и характеристик выпрямителя, выполненного по однофазной мостовой схеме.

Перечень используемых в работе минимодулей

Наименование минимодуля	Количество
Выпрямительный мост 1 А	1
Резистор 10 Ом	1
Резистор 68 Ом	1
Резистор 150 Ом	1
Резистор 330 Ом	1
Резистор 680 Ом	1
Конденсатор 220 мкФ	1
Дроссель 200мГн	1

2. Задание и методические указания

1) Предварительное домашнее задание:

а) изучить темы курса «Неуправляемые выпрямители» и содержание данной работы, быть готовым ответить на все контрольные вопросы;

б) пользуясь принципиальными схемами, приведенными в руководстве начертить схемы соединений для проведения экспериментов, перечисленных в лабораторной работе;

в) построить в масштабе временные диаграммы при заданном преподавателем значении синусоидального напряжения u , а также диаграммы выпрямленного напряжения u_d , анодного тока i_a и напряжения на вентиле u_a при активной нагрузке и при активно-индуктивной нагрузке (при $L_d = \infty$).

2) Экспериментальное исследование однофазной мостовой схемы выпрямления при активной нагрузке:

а) собрать схему выпрямителя по рис. 1. Установить заданное значение сопротивления нагрузки R_d . В качестве вольтметров использовать мультиметры: PV1 в режиме измерения переменного напряжения, а PV2 в режиме измерения постоянного напряжения. Включить миллиамперметр постоянного тока на 100 мА. Подключить входы осциллографа. Переключатель развертки осциллографа перевести на временную развертку. Установить синхронизацию от сети. На экране осциллографа наблюдать осциллограммы выпрямленного тока и выпрямленного напряжения;

б) снять осциллограмму выпрямленного напряжения u_d и выпрямленного тока i_d ; снять осциллограмму напряжения на диоде u_a , переключив входы осциллографа согласно рис. 2. (не забудьте определить масштабы по току и напряжению);

в) измерить напряжения с помощью мультиметров и определить связь между переменным напряжением питания и постоянным напряжением на нагрузке;

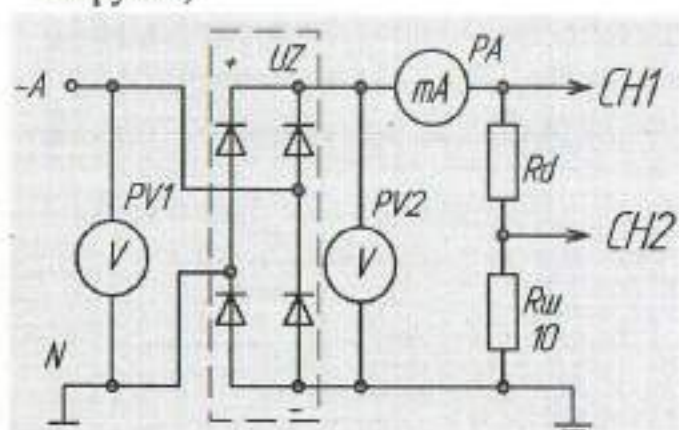


Рис. 1

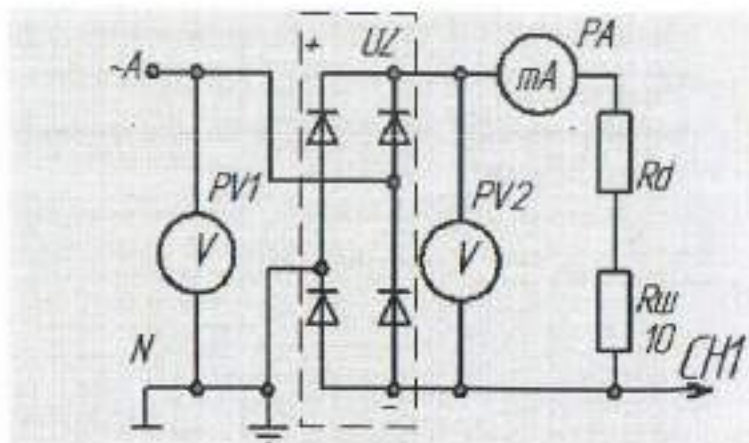


Рис. 2

г) дискретно изменяя сопротивление нагрузки R_d (68; 150; 330; 680 Ом), снять внешнюю характеристику $U_d = f(I_d)$.

3) Экспериментальное исследование однофазной мостовой схемы выпрямления при активно-индуктивной нагрузке:

а) включить дроссель L_d последовательно с нагрузкой (рис. 3); снять осциллограммы выпрямленного напряжения u_d и выпрямленного тока i_d ; снять осциллограмму напряжения на диоде u_a , переключив входы осциллографа согласно рис. 4 (не забудьте определить масштабы по току и напряжению);

б) измерить напряжения с помощью мультиметров и определить связь между переменным напряжением питания и постоянным напряжением на нагрузке;

в) дискретно изменяя сопротивление нагрузки (68; 150; 330; 680 Ом), снять внешнюю характеристику $U_d = f(I_d)$

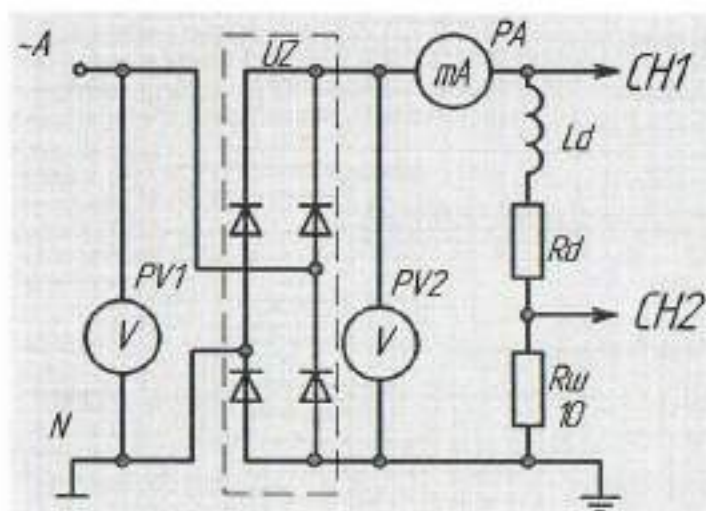


Рис. 3

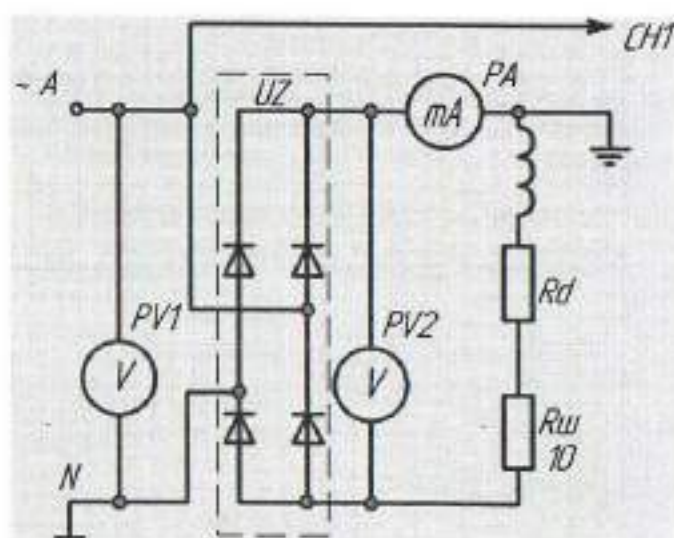


Рис. 4

4) Экспериментальное исследование однофазной мостовой схемы выпрямления при активно-емкостной нагрузке:

а) включить конденсатор параллельно сопротивлению нагрузки (рис. 5); снять осциллограммы выпрямленного напряжения u_d и выпрямленного тока i_d ; снять осциллограмму напряжения на диоде u_a , переключив входы осциллографа согласно рис. 6 (не забудьте определить масштабы по току и напряжению);

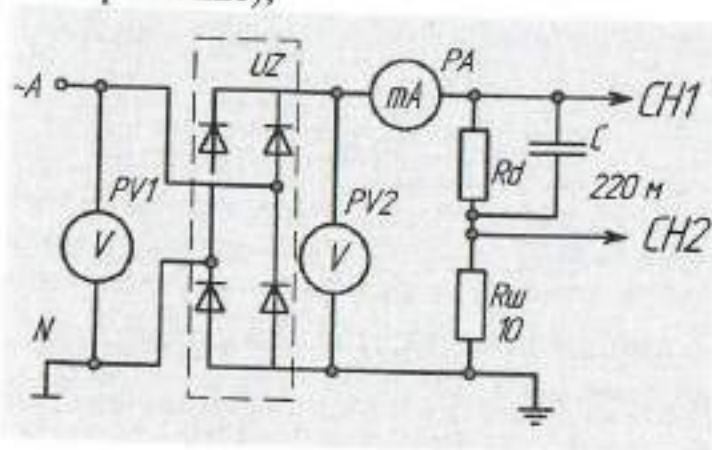


Рис. 5

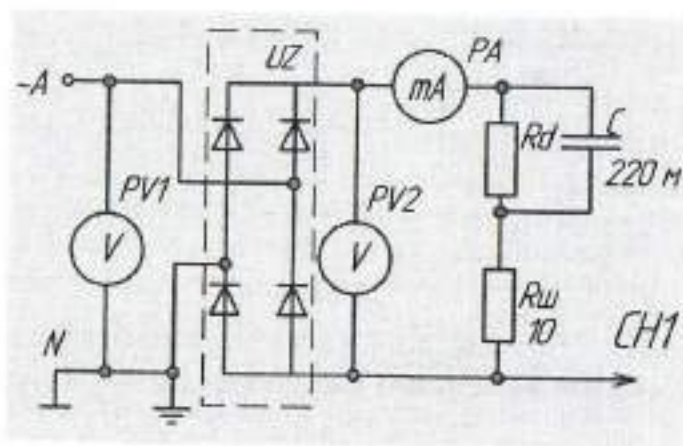


Рис. 6

б) измерить напряжения с помощью мультиметров и определить связь между переменным напряжением питания и постоянным напряжением на нагрузке;

в) изменяя сопротивление нагрузки снять внешнюю характеристику $U_d = f(I_d)$.

3. Содержание отчета

Отчет по работе должен содержать:

- наименование и цель работы;
- схемы соединений для выполненных экспериментов;
- результаты экспериментальных исследований и проведенных по ним расчетов, помещенные в соответствующие таблицы; сравнить результаты опытов
- обработанные осциллограммы.
- выводы по работе, ответить на контрольные вопросы 3 – 6.

4. Контрольные вопросы

- Покажите путь тока в однофазной мостовой схеме.
- Как и для чего строят временные диаграммы токов и напряжений в схеме выпрямителя?
- Как и почему влияет конденсатор фильтра на форму напряжения на нагрузке и на форму анодного тока?
- Как влияет конденсатор на величину напряжения на нагрузке?
- Как и почему влияет дроссель на напряжение на нагрузке и форму анодного тока?

6. Как и почему влияет дроссель на величину напряжения на нагрузке?
7. Что такое внешняя характеристика?
8. От чего зависит вид внешней характеристики?

Работа № 18. ИССЛЕДОВАНИЕ ТРЕХФАЗНЫХ СХЕМ ВЫПРЯМЛЕНИЯ

1. Цель работы

Исследование электромагнитных процессов и характеристик трехфазной нулевой и трехфазной мостовой схем выпрямления.

Перечень используемых в работе минимодулей

Наименование минимодуля	Количество
Выпрямительный мост 1 А	1
Диод 1 А	1
Диод Шоттки 1 А	1
Резистор 1 Ом	1
Резистор 10 Ом	1
Резистор 100 Ом	1
Резистор 150 Ом	1
Резистор 330 Ом	1
Резистор 680 Ом	1
Дроссель 200мГн	1

2. Задание и методические указания

1) Предварительное домашнее задание:

а) изучить тему курса «Неуправляемые многофазные выпрямители» и содержание данной работы, быть готовым ответить на все контрольные вопросы;

б) пользуясь принципиальными схемами, приведенными в руководстве, начертить схемы соединений для проведения экспериментов, перечисленных в лабораторной работе;

в) построить в масштабе временные диаграммы заданного преподавателем синусоидального напряжения u , выпрямленного напряжения u_d , анодного тока i_a и напряжения на вентиле u_a при активной нагрузке и при активно-индуктивной нагрузке (при $L_d = \infty$) для трехфазной мостовой схемы.

г) построить в масштабе временные диаграммы заданного преподавателем синусоидального напряжения u , выпрямленного напряжения u_d , анодного тока i_a и напряжения на вентиле u_a при активной нагрузке и при активно-индуктивной нагрузке (при $L_d = \infty$) для трехфазной нулевой схемы.

2) Экспериментальное исследование трехфазной нулевой схемы выпрямления при активной нагрузке:

а) собрать схему выпрямителя по рис. 1. В качестве диода VD1 включить диод Шоттки. Установить заданное значение сопротивления нагрузки R_n . В качестве вольтметров использовать мультиметры: PV1 в режиме измерения переменного напряжения, а PV2 в режиме измерения постоянного напряжения. Включить миллиамперметр постоянного тока на 100 мА. Подключить входы осциллографа. Переключатель развертки осциллографа перевести на

временную развертку. Установить синхронизацию от сети. На экране осциллографа наблюдать осциллограммы выпрямленного тока и выпрямленного напряжения;

б) снять осциллограмму выпрямленного напряжения u_d и выпрямленного тока i_d ; снять осциллограммы напряжения на диоде u_a и тока через диод i_a ,

переключив входы осциллографа согласно рис. 2. (не забудьте определить масштабы по току и напряжению);

в) измерить напряжения с помощью мультиметров и определить связь между переменным напряжением питания и постоянным напряжением на нагрузке;

г) дискретно изменяя сопротивление нагрузки (100; 150; 330; 680 Ом), снять внешнюю характеристику $U_d = f(I_d)$.

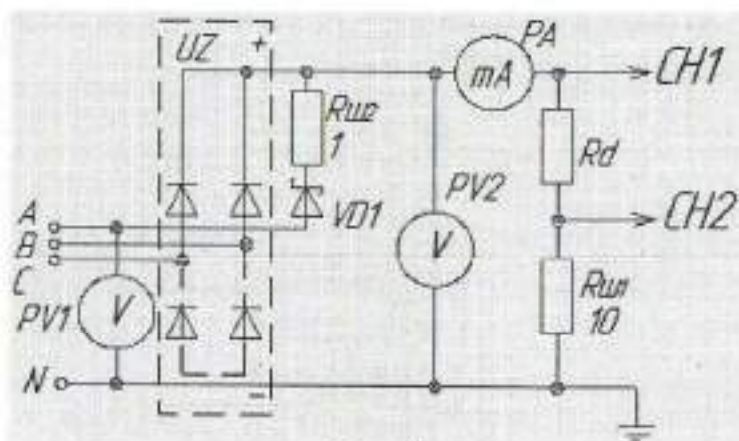


Рис. 1

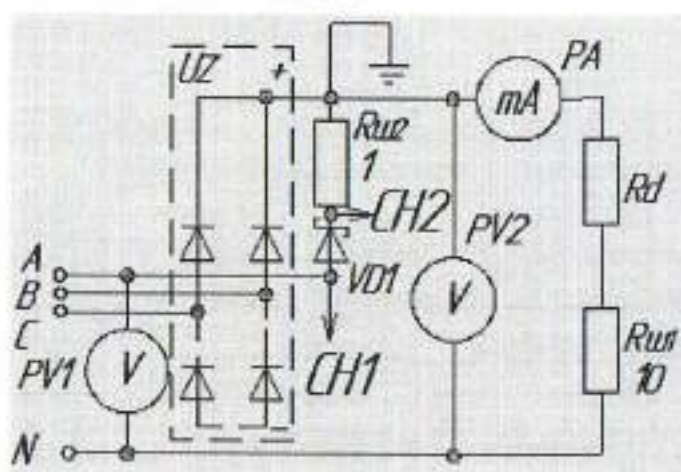


Рис. 2

3) Экспериментальное исследование трехфазной нулевой схемы выпрямления при активно-индуктивной нагрузке:

а) включить дроссель последовательно с нагрузкой (рис. 3); снять осциллограммы выпрямленного напряжения u_d и выпрямленного тока i_d ; снять осциллограммы напряжения на диоде u_a и тока через диод i_a , переключив входы осциллографа согласно рис. 4 (не забудьте определить масштабы по току и напряжению); определить угол коммутации γ ;

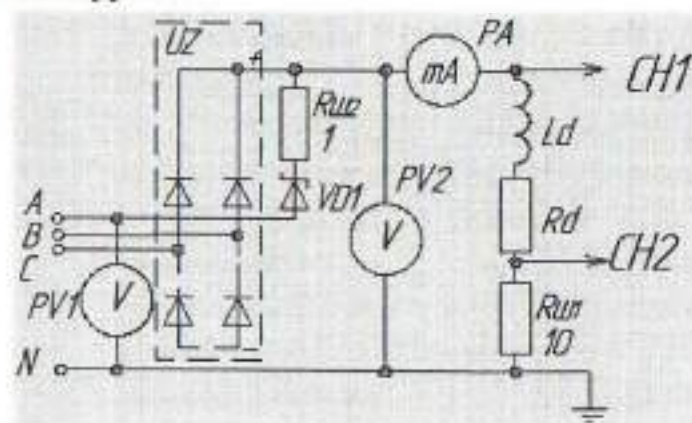


Рис. 3

б) измерить напряжения с помощью мультиметров и определить связь между переменным напряжением питания и постоянным напряжением на нагрузке;

в) дискретно изменяя сопротивление нагрузки (100; 150; 330; 680 Ом), снять внешнюю характеристику $U_d = f(I_d)$.

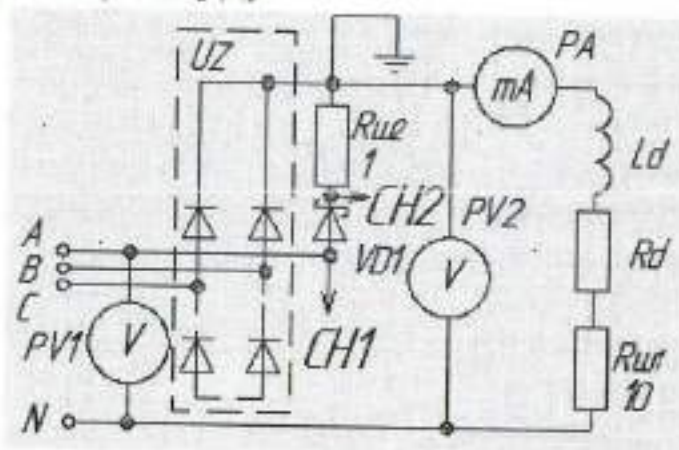


Рис. 4

4) Экспериментальное исследование трехфазной мостовой схемы выпрямления при активной нагрузке:

а) собрать схему выпрямителя по рис. 5. Установить заданное значение сопротивления нагрузки R_n . В качестве вольтметров использовать мультиметры: PV1 в режиме измерения переменного напряжения, а PV2 в режиме измерения постоянного напряжения. Включить миллиамперметр постоянного тока на 100 мА. Подключить входы осциллографа. Переключатель развертки осциллографа перевести на временную развертку. Установить синхронизацию от сети. На экране осциллографа наблюдать осциллограммы выпрямленного тока и выпрямленного напряжения;

б) снять осциллограмму выпрямленного напряжения u_d и выпрямленного тока i_d , снять осциллограммы напряжения на диоде u_a и анодного тока i_a , переключив входы осциллографа согласно рис. 6. (не забудьте определить масштабы по току и напряжению);

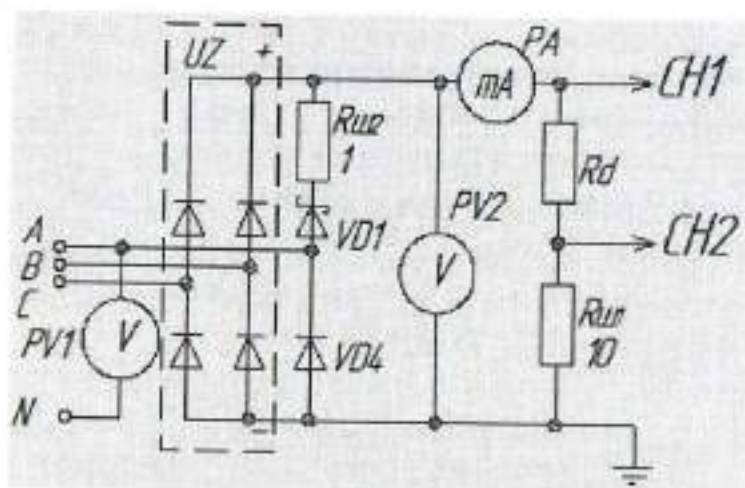


Рис. 5

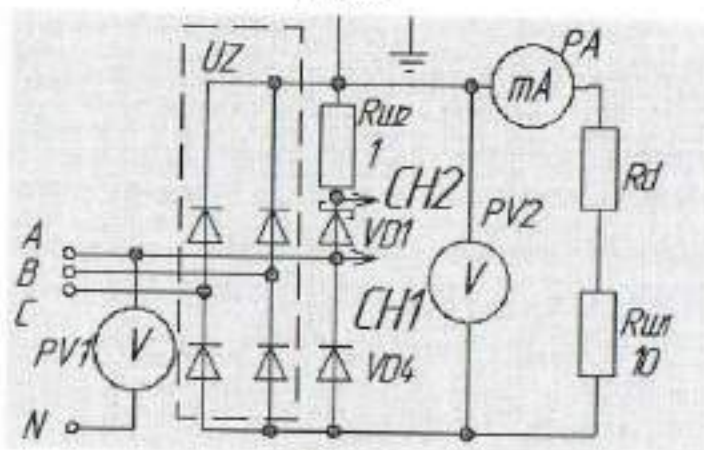


Рис. 6

в) измерить напряжения с помощью мультиметров и определить связь между переменным напряжением питания и постоянным напряжением на нагрузке;

г) дискретно изменяя сопротивление нагрузки (330; 660 Ом; 1 кОм), снять внешнюю характеристику $U_d = f(I_d)$.

5) Экспериментальное исследование трехфазной мостовой схемы выпрямления при активно-индуктивной нагрузке:

а) включить дроссель последовательно с нагрузкой (рис. 7); снять осциллограммы выпрямленного напряжения u_d и выпрямленного тока i_d ; снять осциллограммы напряжения на диоде u_a и анодного тока i_a , переключив входы осциллографа согласно рис. 8 (не забудьте определить масштабы по току и напряжению); определить угол коммутации γ ;

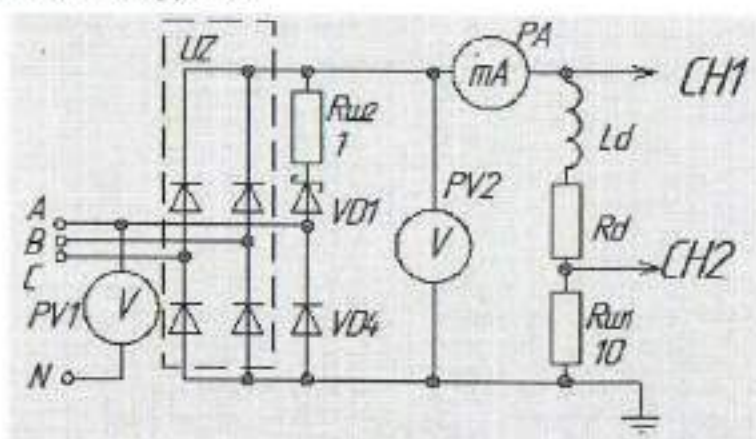


Рис. 7

б) измерить напряжения с помощью мультиметров и определить связь между переменным напряжением питания и постоянным напряжением на нагрузке;

в) дискретно изменяя сопротивление нагрузки (330; 680 Ом; 1 кОм), снять внешнюю характеристику $U_d = f(I_d)$

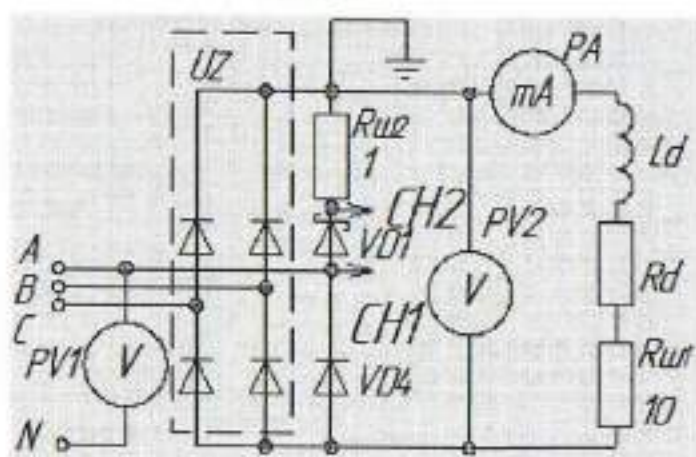


Рис. 8

3. Содержание отчета

Отчет по работе должен содержать:

а) наименование и цель работы;

б) схемы соединений для выполненных экспериментов;

в) результаты экспериментальных исследований и проведенных по ним расчетов, помещенные в соответствующие таблицы; сравнить результаты опытов;

г) обработанные осциллограммы;

д) выводы по работе, ответить на контрольные вопросы 3 – 6.

4. Контрольные вопросы

1. Покажите путь тока в трехфазной нулевой схеме.

2. Покажите путь тока в трехфазной мостовой схеме.

3. Как и для чего строят временные диаграммы токов и напряжений в схеме выпрямителя?
4. Как и почему влияет дроссель на вид напряжения на нагрузке и форму выпрямленного и анодного токов?
5. Что такое внешняя характеристика?
6. От чего зависит наклон внешней характеристики?
7. Сравните показатели трехфазной мостовой и трехфазной нулевой схем.

Работа № 19. ИССЛЕДОВАНИЕ СГЛАЖИВАЮЩИХ ФИЛЬТРОВ

1. Цель работы

Исследование свойств сглаживающих фильтров: емкостного, индуктивного и Г-образного.

Перечень используемых в работе минимодулей

Наименование минимодулей	Количество
Выпрямительный мост 1 А	1
Резистор 10 Ом	1
Резистор 68 Ом	1
Резистор 150 Ом	1
Резистор 330 Ом	1
Резистор 680 Ом	1
Конденсатор 220 мкФ	1
Дроссель 200мГн	2

2. Задание и методические указания

1) Предварительное домашнее задание:

а) изучить тему курса «Сглаживающие фильтры» и содержание данной работы, быть готовым ответить на все контрольные вопросы;

б) пользуясь принципиальными схемами, приведенными в руководстве начертить схемы соединений для проведения экспериментов, перечисленных в лабораторной работе;

в) по заданным преподавателем параметрам схемы рассчитать коэффициент пульсаций q для емкостного фильтра:

$$q = \frac{I}{m\omega CR_d},$$

где ω – угловая частота сети;

m – пульсность (произведение числа фаз на число выпрямляемых полупериодов).

г) по заданным параметрам схемы рассчитать коэффициент сглаживания s и коэффициент пульсаций q на выходе индуктивного фильтра:

$$s \approx \frac{m\omega L_d}{R_d}; \quad q = \frac{q_1 R_d}{m\omega L_d},$$

где q_1 – коэффициент пульсации на входе фильтра;

д) по заданным параметрам схемы рассчитать коэффициент сглаживания s и коэффициент пульсаций q на выходе Г-образного фильтра.

$$s \approx m^2 \omega^2 L_d C; \quad q = \frac{q_1}{S}.$$

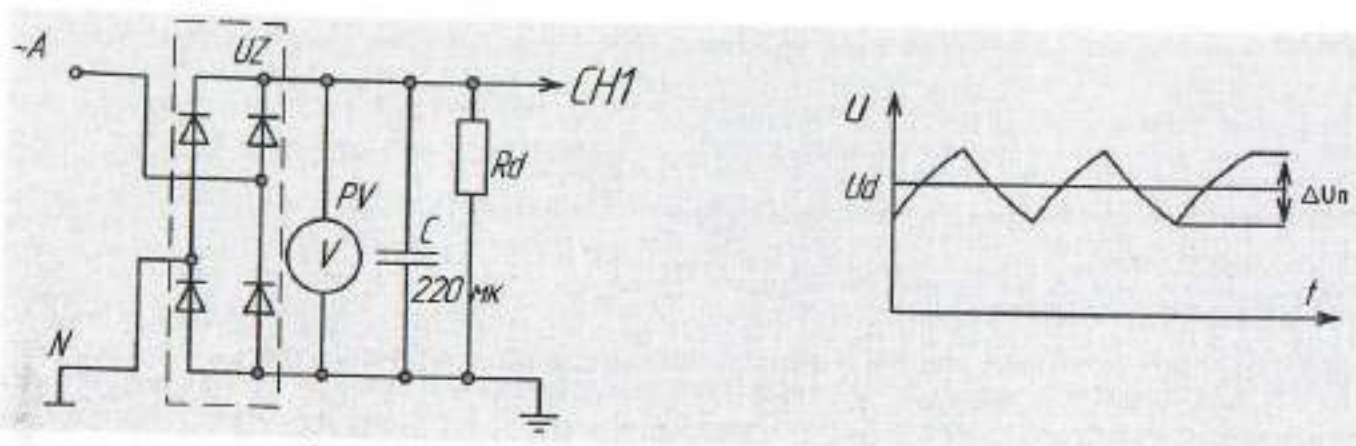
При этом должны выполняться условия:

$$m\omega L_d \gg \frac{I}{m\omega C} \text{ и } \frac{I}{m\omega C} \ll R_d.$$

2) Экспериментальное исследование емкостного фильтра:

а) собрать схему по рис. 1, (а). Установить заданное преподавателем значение сопротивления нагрузки R_d . В качестве вольтметра использовать мультиметр PV в режиме измерения постоянного напряжения. Подключить входы осциллографа. Переключатель развертки осциллографа перевести на временную развертку. Установить синхронизацию от сети. На экране осциллографа наблюдать осциллограмму выпрямленного напряжения u_d ;

б) снять осциллограмму выпрямленного напряжения u_d , определить коэффициент пульсаций согласно рис. 1, (б). (не забудьте определить масштаб по напряжению: $q = \frac{U_{n(1)м}}{U_d} \approx \frac{\Delta U_n}{2U_d}$, где $U_{n(1)м}$ – амплитуда первой гармоники пульсаций);



а) б)
Рис. 1.: а) схема для исследования емкостного фильтра
б) осциллограмма выпрямленного напряжения u_d

в) сравнить измеренный коэффициент пульсаций с рассчитанным.

г) дискретно изменяя сопротивление нагрузки (68; 150; 330; 680) снять зависимость коэффициента пульсаций от сопротивления нагрузки $U_d = f(R_d)$.

д) включить в цепь питания шунт в соответствии с рис. 2. К шунту подключить вход осциллографа. Включить и выключить тумблер питания несколько раз. Заметить бросок тока при включении. Повторить опыт при отключенном конденсаторе.

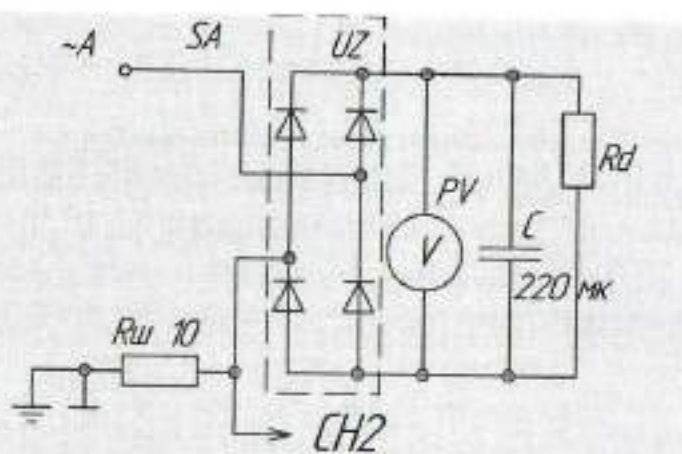


Рис. 2. Схема для отслеживания броска тока в цепи питания

3) Экспериментальное исследование индуктивного фильтра:

а) собрать схему по рис. 3. Включить один или два дросселя последовательно. Установить заданное значение сопротивления нагрузки R_d . На экране осциллографа наблюдать осциллограммы напряжений на входе и выходе фильтра;

б) снять осциллограммы напряжений на входе и выходе фильтра, определить коэффициенты пульсаций q_I и q (согласно рис. 2) и коэффициент сглаживания s : $s = \frac{q_I}{q}$;

в) сравнить измеренные коэффициенты пульсаций и сглаживания с рассчитанными;

г) изменяя сопротивление нагрузки (68; 150; 330; 680), снять зависимость коэффициента пульсаций от сопротивления нагрузки $U_d = f(R_d)$.

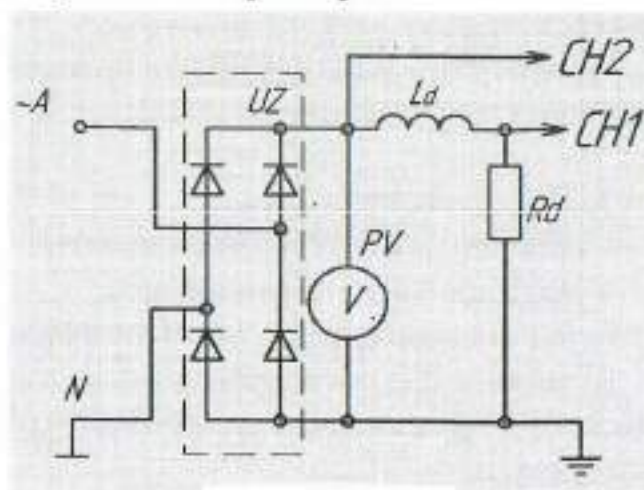


Рис. 3. Схема для исследования индуктивного фильтра

4) Экспериментальное исследование Г-образного фильтра:

а) собрать схему по рис. 4. Включить один или два дросселя последовательно. Установить заданное значение сопротивления нагрузки R_d . В качестве вольтметра использовать мультиметр PV. Подключить входы осциллографа;

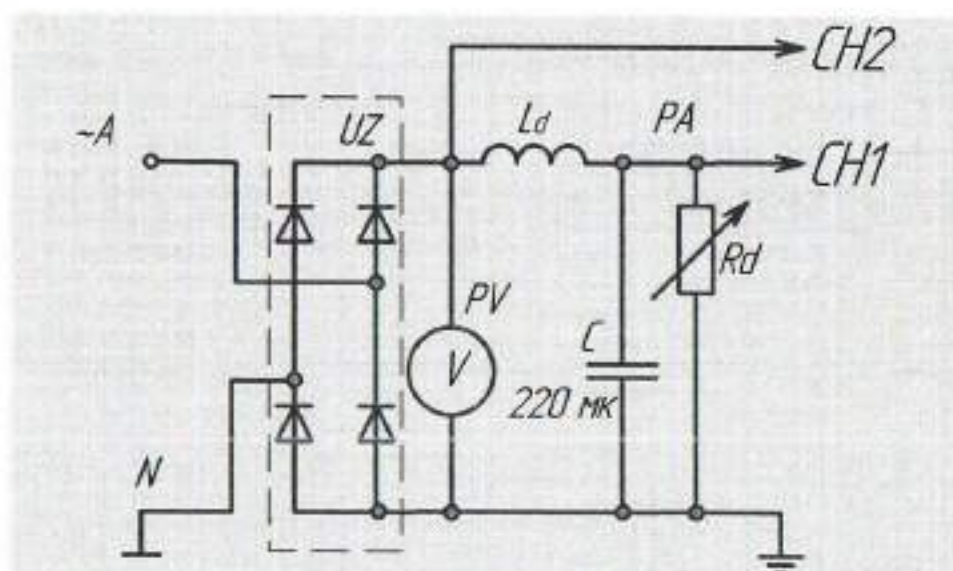


Рис. 4. Схема для исследования Г-образного фильтра

б) снять осциллограммы напряжений на входе и выходе фильтра, определить коэффициенты пульсаций (согласно рис. 1, б) и коэффициент сглаживания;

в) сравнить измеренные коэффициенты пульсаций и сглаживания с рассчитанными.

г) дискретно изменяя сопротивление нагрузки (68; 150; 330; 680 Ом), снять зависимость коэффициента пульсаций от сопротивления нагрузки $U_d = f(R_d)$.

3. Содержание отчета

Отчет по работе должен содержать:

- а) наименование и цель работы;
- б) схемы соединений для выполненных экспериментов;
- в) результаты экспериментальных исследований и проведенных по ним расчетов, помещенные в соответствующие таблицы; сравнить результаты опытов;
- г) обработанные осциллограммы;
- д) выводы по работе.

4. Контрольные вопросы

1. Каково назначение фильтров в преобразовательной технике?
2. Принцип действия, преимущества, недостатки и область применения емкостных фильтров.
3. Принцип действия, преимущества, недостатки и область применения индуктивных фильтров.
4. Принцип действия, преимущества, недостатки и область применения Г-образных фильтров.
5. Как и почему влияет конденсатор фильтра на форму анодного тока?
6. Как и почему влияет дроссель фильтра на форму анодного тока?

Работа № 20. ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО СТАБИЛИЗАТОРА НАПРЯЖЕНИЯ

1. Цель работы

Исследование параметров и характеристик параметрических стабилизаторов постоянного напряжения.

Перечень используемых в работе минимодулей

Наименование минимодуля	Количество
Стабилитрон 4,7 В	1
Потенциометр 2,2 кОм	1
Резистор 150 Ом	1

2. Задание и методические указания

1) Предварительное домашнее задание:

а) изучить темы курса «Диоды», «Стабилизаторы» и содержание данной работы, быть готовым ответить на все контрольные вопросы;

б) пользуясь принципиальными схемами, приведенными в руководстве, начертить схемы соединений для проведения экспериментов, перечисленных в лабораторной работе;

в) для идеализированной ВАХ стабилитрона построить линию нагрузки, если напряжение стабилизации стабилитрона $U_{cm} = 6,8\text{В}$, его дифференциальное сопротивление r_d на участке стабилизации равно нулю, напряжение питания U_n задается преподавателем. Определить ток I_b через балластный резистор;

2) Экспериментальное исследование параметрического стабилизатора при изменении питающего напряжения при отсутствии нагрузки:

а) собрать схему параметрического стабилизатора напряжения (см. рис. 1). Для измерения анодного тока включить миллиамперметр постоянного тока РА на пределе 100 мА. Для измерения напряжений на входе и выходе стабилизатора включить мультиметры PV1, PV2.

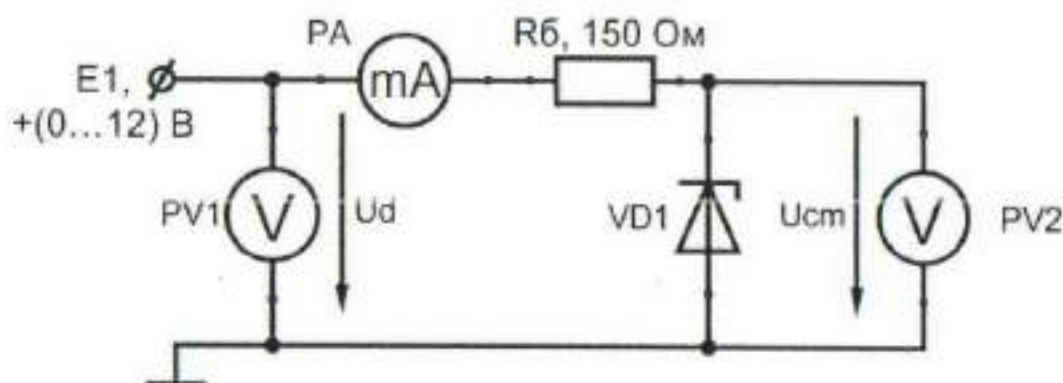


Рис. 1. Схема для исследования параметрического стабилизатора напряжения без нагрузки

б) снять зависимость выходного напряжения от напряжения источника питания $U_{cm} = f(U_d)$. Для этого, изменяя потенциометром RP на модуле питания напряжение питания U_d на входе стабилизатора, измерять соответствующее ему выходное напряжение U_{cm} . Особенно тщательно отметить напряжение питания, при котором начинается стабилизация. Одновременно измерять ток I_d , потребляемый стабилизатором. Результаты измерений занести в таблицу, по которой построить зависимость выходного напряжения от напряжения источника питания $U_{cm} = f(U_d)$;

Определить напряжение стабилизации стабилизатора U_{cm} .

в) определить коэффициент стабилизации стабилизатора K_{cm} на участке стабилизации:

$$K_{cm} = \frac{\Delta U_d}{\Delta U_{cm}}$$

3) Экспериментальное исследование параметрического стабилизатора при изменении нагрузки:

а) подключить на выход параметрического стабилизатора напряжения изменяющуюся нагрузку RP1 (рис. 2). Для измерения тока нагрузки I_n , включить миллиамперметр PA2 на пределе 100 мА;

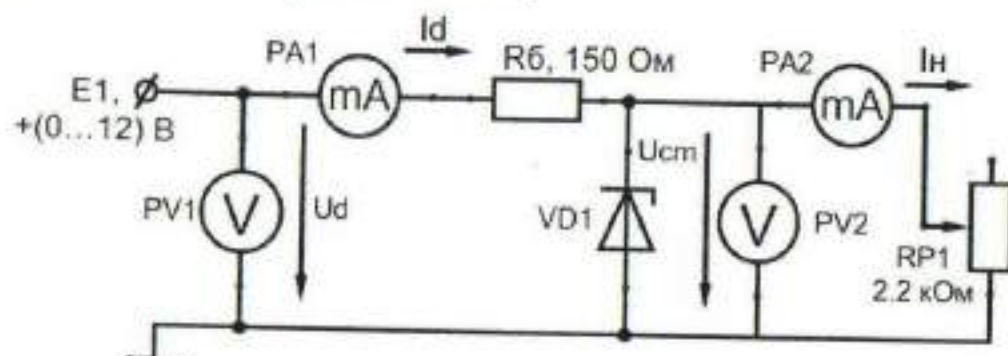


Рис. 2. Схема для исследования параметрического стабилизатора напряжения при изменении нагрузки

б) снять зависимость выходного напряжения от тока нагрузки. При регулировании сопротивления нагрузки, потенциометром RP на модуле питания поддерживать постоянным напряжение питания U_d на входе стабилизатора, равным 10 В. Особенно тщательно отметить ток нагрузки I_{nmax} , при котором прекращается стабилизация U_{cm} . Результаты измерений занести в таблицу, по которой построить зависимость выходного напряжения от тока нагрузки: $U_{cm} = f(I_n)$;

в) определить выходное сопротивление $R_{вых}$ на участке стабилизации и сравнить его с определенным в п.2.

$$R_{вых} = \frac{\Delta U_{cm}}{\Delta I_{cm}} = \left| \frac{\Delta U_{cm}}{\Delta I_n} \right|$$

4) Экспериментальное исследование параметрического стабилизатора при изменении питающего напряжения при наличии нагрузки:

а) в схеме на рис. 2 установить ток нагрузки равным половине максимально-допустимого I_{max} , определенного в п. 3

б) снять зависимость выходного напряжения от напряжения источника питания $U_{\text{ст}} = f(U_d)$. Для этого, изменяя потенциометром РР на модуле питания напряжение питания U_d на входе стабилизатора, измерять соответствующее ему выходное напряжение $U_{\text{ст}}$. Особенно тщательно отметить напряжение питания U_d , при котором начинается стабилизация. Одновременно измерять ток, потребляемый стабилизатором. Результаты измерений занести в таблицу, по которой построить зависимость выходного напряжения от напряжения источника питания $U_{\text{ст}} = f(U_d)$; зависимость нанести на тот же график, что и в п.2; обратить внимание на различия характеристик и объяснить их.

3. Содержание отчета

Отчет по работе должен содержать:

- а) наименование и цель работы;
- б) схемы соединений для выполненных экспериментов;
- в) результаты экспериментальных исследований и проведенных по ним расчетов, помещенные в соответствующие таблицы;
- г) экспериментально снятые и построенные характеристики;
- д) обработанные осциллограммы;
- е) выводы по работе; в выводах обязательно ответить на контрольные вопросы 5, 6.

4. Контрольные вопросы

- 1) Где рабочий участок на ВАХ стабилитрона?
- 2) Как работает параметрический стабилизатор напряжения?
- 3) Для чего служит балластный резистор?
- 4) Как изменится напряжение на выходе стабилизатора при повышении температуры?
- 5) При каком минимальном напряжении на входе стабилизатора еще возможна стабилизация напряжения? От чего оно зависит?
- 6) От каких параметров и как зависит качество стабилизации напряжения?

Работа № 21. ИССЛЕДОВАНИЕ ПОНИЖАЮЩЕГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ПОСТОЯННОГО НАПРЯЖЕНИЯ

1. Цель работы

Изучение электромагнитных процессов, внешних, регулировочных и энергетических характеристик понижающего широтно-импульсного преобразователя (ШИП) постоянного напряжения при активно-индуктивной нагрузке, шунтированной диодом.

Перечень используемых в работе минимодулей

Наименование минимодуля	Количество
Транзистор полевой MOSFET с каналом n-типа	1
Диод выпрямительный	1
Диод Шоттки	1
Дроссель 200 мГн	1
Потенциометр 10 кОм	1
Потенциометр 150 Ом	1
Резистор 10 Ом	1
Резистор 100 Ом	1
Резистор 1,5 кОм	1
Резистор 10 кОм	2
Конденсатор 10 нФ	1

2. Задание и методические указания

1) Предварительное домашнее задание:

а) изучить тему курса «Понижающий широтно-импульсный преобразователь постоянного напряжения» и содержание данной работы, быть готовым ответить на все контрольные вопросы;

б) пользуясь принципиальной схемой, приведенной в руководстве, начертить схемы соединений для проведения экспериментов, перечисленных в лабораторной работе;

2) Экспериментальное исследование понижающего широтно-импульсного преобразователя постоянного напряжения при активно-индуктивной нагрузке, шунтированной высокочастотным диодом:

а) собрать схему для исследования в соответствии с рис. 1. В качестве диода используйте модуль диод Шоттки. *Чтобы не вывести из строя транзистор, обратите особое внимание на правильность включения диода.* В качестве вольтметров PV1 и PV2 использовать мультиметры в режиме измерения постоянного напряжения с пределом 20 В. Для измерения тока использовать стрелочные миллиамперметры постоянного тока. Подключить канал CH1 к стоку транзистора, канал CH2 к шунту в цепи питания, а корпус осциллографа () ко второму выводу шунта. Предъявить схему для проверки преподавателю;

б) снять осциллограммы напряжения на транзисторном ключе u_{IT} и тока через транзистор i_{IT} . Включить временную развертку осциллографа. Включить функциональный генератор и установить прямоугольный сигнал частотой 10 кГц при максимальном значении амплитуды. Таким образом, несущая частота $f_{нес} = 40$ кГц. Включить источник питания.

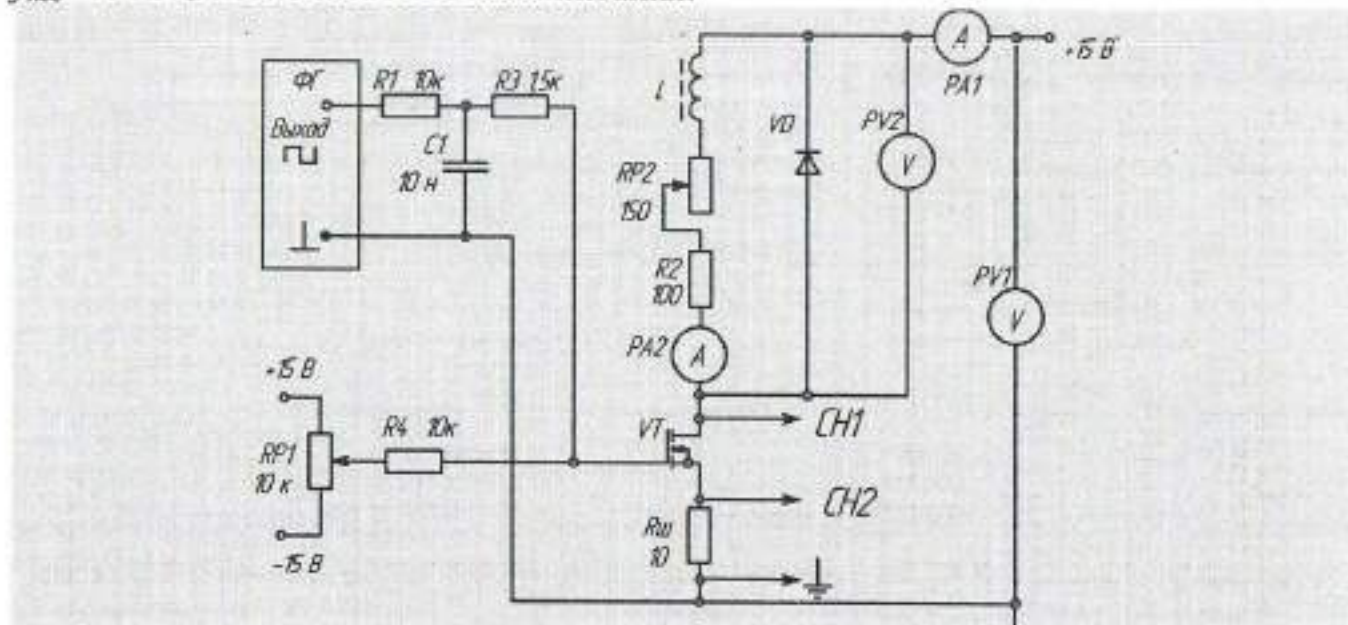


Рис 1.

Проверить заданное значение напряжения питания U_d и установить заданное значение коэффициента заполнения γ ручкой потенциометра $RP1$.

$$\gamma = t_n / T, \quad (1)$$

где t_n – длительность импульса тока, а T – период несущей частоты.

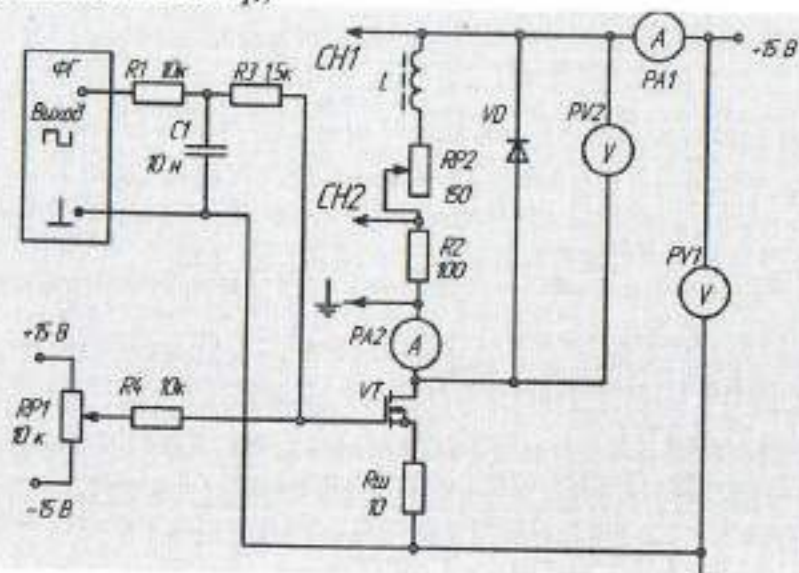
Ручкой регулятора тока $RP2$ по амперметру $PA2$ установить максимальное значение тока нагрузки I_H . Зарисовать с экрана осциллографа осциллограммы напряжения на транзисторном ключе и тока через транзистор. При зарисовке осциллограмм не забудьте нанести положение нулевой линии. Определить масштабы по напряжению, току и времени;

в) снять осциллограммы напряжения на нагрузке u_H и тока нагрузки i_H при тех же заданных значениях U_d и γ . Для этого в соответствии с рис. 2 вход канала $CH1$ осциллографа подключить к верхнему выводу нагрузки, вход канала $CH2$ к верхнему выводу постоянной части активной нагрузки резистору $R1$, а корпус осциллографа к нижнему выводу резистора $R1$. Сигнал, снимаемый с резистора $R1$ пропорционален току нагрузки, т. е. резистор используется в качестве шунта. Сохранить масштабы по напряжению и времени. Масштаб по току $m_I = \frac{m_U}{R}$. Зарисовать с экрана осциллографа осциллограммы. При зарисовке осциллограмм не забудьте нанести положение нулевой линии. По осциллограмме i_H определить в каком режиме работает схема (непрерывный или прерывистый ток в нагрузке). Определить коэффициент пульсаций тока q_i .

$$\eta = P_n / P_d, \quad (2)$$

где ΔI_H – размах пульсаций тока нагрузки;

г) снять осциллограммы напряжения на нагрузке U_H и тока нагрузки i_H при тех же заданных значениях U_d и γ , но при другой несущей частоте $f_{нес}$, например, 4 кГц. Сохранить масштабы. Зарисовать с экрана осциллографа осциллограммы. При зарисовке осциллограмм не забудьте нанести положение нулевой линии. По осциллограмме i_H определить в каком режиме работает схема (непрерывный или прерывистый ток в нагрузке). Определить коэффициент пульсаций тока q_i ;



Ри

с. 2

д) снять регулировочную $U_H = F(\gamma)$ и энергетические $P_d = F(\gamma)$, $P_H = F(\gamma)$, $\eta = F(\gamma)$, $q_i = F(\gamma)$ характеристики преобразователя при заданном постоянном значении сопротивления нагрузки R_H и заданных U_d и $f_{нес}$.

Изменяя γ ручкой потенциометра $RP1$ в диапазоне от нуля до максимально возможного значения, фиксировать показания приборов U_d , I_d , U_H , I_H , а также с помощью осциллографа замерять размах пульсаций тока нагрузки ΔI_H . Для этого переключить канал $CH2$ осциллографа на открытый вход «АС» (переменная составляющая входного сигнала). Замерить двойную амплитуду пульсаций тока нагрузки ΔI_H . Измерение ΔI_H проводить только в области непрерывного тока. Показания занести в таблицу 1.1. Отметить точку перехода от непрерывного режима к прерывистому (граничный ток).

Таблица 1.

γ							Примечание
U_d , В							$R_H =$ Ом $f_{нес} =$ кГц
I_d , А							
U_H , В							
I_H , А							
ΔI_H , А							
q_i							
P_d , Вт							
P_H , Вт							
η							

Энергетические показатели рассчитать по следующим формулам:

$$\text{мощность на входе} \quad P_d = U_d \cdot I_d, \quad (3)$$

$$\text{мощность в нагрузке} \quad P_n = U_n \cdot I_n, \quad (4)$$

$$\text{КПД} \quad \eta = P_n / P_d, \quad (5)$$

Графики для мощностей P_d и P_n строить в одних осях;

е) снять внешнюю $U_n = F(I_n)$ и энергетические $P_d = F(I_n)$, $P_n = F(I_n)$, $\eta = F(I_n)$, $q_i = F(I_n)$ характеристики при постоянном коэффициенте заполнения γ для заданных U_d и $f_{\text{нес}}$. Для этого потенциометром $RP1$ установить заданный коэффициент заполнения γ . Изменяя сопротивление нагрузки реостатом R_n , фиксировать показания U_d , I_d , U_n , I_n , ΔI_n . Показания занести в таблицу 2.

Таблица 2

							Примечание
U_d , В							$\gamma =$ $f_{\text{нес}} =$ кГц
I_d , А							
U_n , В							
I_n , А							
ΔI_n , А							
q_i							
P_d , Вт							
P_n , Вт							
η							

Повторить измерения при другом значении γ , например, $\gamma = 0,5$.

Характеристики для разных значений γ строить в одних осях. Графики для мощностей P_d и P_n строить в одних осях;

3) Экспериментальное исследование понижающего широтно-импульсного преобразователя постоянного напряжения при активно-индуктивной нагрузке, шунтированной низкочастотным диодом.

Вместо диода Шоттки включить выпрямительный диод.

Повторить пункты 2) а, б, в, д.

3. Содержание отчета

- наименование и цель работы;
- схемы соединений для выполненных экспериментов;
- результаты экспериментальных исследований и проведенных по ним расчетов, помещенные в соответствующие таблицы;
- обработанные осциллограммы; сравнить осциллограммы при различных видах диодов, шунтирующих нагрузку;
- результаты экспериментальных исследований и проведенных по ним расчетов, помещенные в соответствующие таблицы;

е) построенные характеристики (регулируемые, внешние и энергетические);

з) выводы по работе:

объяснить влияние коэффициента заполнения γ на величину напряжения на нагрузке понижающего преобразователя постоянного напряжения;

объяснить влияние коэффициента заполнения γ на КПД понижающего преобразователя постоянного напряжения;

пояснить влияние несущей частоты $f_{нес}$ на коэффициент пульсаций тока нагрузки q ;

4. Контрольные вопросы

1. Для чего предназначен преобразователь постоянного напряжения?
2. Что такое ключевой режим?
3. Каковы преимущества ключевого режима?
4. Из каких составляющих складываются потери мощности в ключевом режиме?
5. Как влияет вид нагрузки на потери при коммутации?
6. Для чего включается диод, шунтирующий нагрузку?
7. На что влияет тип диода?
8. Что такое регулировочная характеристика понижающего преобразователя постоянного напряжения? Какой вид она имеет?
9. Что такое внешняя характеристика понижающего преобразователя постоянного напряжения? Какой вид она имеет?
10. Как определить коэффициент пульсаций тока нагрузки?
11. На что влияет изменение несущей частоты?
12. Как определить КПД преобразователя постоянного напряжения?
13. Как снять осциллограммы токов и напряжений в схеме?
14. Как подключать входы двухканального осциллографа при осциллографировании токов и напряжений?

**УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ
ПРАКТИЧЕСКИХ И САМОСТОЯТЕЛЬНЫХ РАБОТ**

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1

ИЗУЧЕНИЕ ЛОГИЧЕСКИХ СХЕМ И ФУНКЦИЙ

Цель работы.

1. Исследование базовых логических элементов.
2. Реализация логических функций при помощи логических элементов.
3. Синтез логических схем.

Приборы и элементы.

Логический преобразователь (панель «Instruments/Logic Converter»).

Генератор слов (панель «Instruments/Word Generator»).

Вольтметр (панель «Indicators/Voltmeter»).

Логические пробники (панель «Indicators/Red probe»).

Источник напряжения + 5 В (панель «Basic/Pull-Up Resistor»).

Земля (панель «Sources/Ground»).

Двухпозиционные переключатели (панель «Basic/Switch»).

Двухвходовые элементы И, И-НЕ, ИЛИ, ИЛИ-НЕ (панель «Logic Gates/2-Input AND, NAND, OR, NOR Gates»).

Микросхемы различных серий (панель «Logic Gates/»).

Краткие теоретические сведения

Любые цифровые микросхемы современных вычислительных машин строятся на основе простейших логических элементов «И», «ИЛИ», «НЕ» и их комбинаций. В настоящее время используется несколько технологий построения логических элементов:

транзисторно-транзисторная логика (ТТЛ, TTL);

логика на основе комплементарных МОП транзисторов (КМОП, CMOS);

логика на основе сочетания комплементарных МОП и биполярных транзисторов (БиКМОП);

эмиттерно-связанная логика (ЭСЛ) и т.д.

Прежде чем приступить к изучению базовых логических элементов, введем основные понятия булевой алгебры, или алгебры логики, на которой базируется все теоретическое обоснование работы цифровых устройств.

1. Основные определения и аксиомы алгебры логики

Переменные, рассматриваемые в алгебре логики, принимают только два значения – «0» или «1». Чаще всего сами переменные обозначаются латинскими буквами: либо малыми (x, y, z, \dots), либо большими (A, B, C, \dots).

Примечание. Физически самым простым устройством, моделирующим поведение любой булевой переменной, является двухпозиционный переключатель. У него за логический сигнал «1» принимается положение «включено», а за сигнал – «0» положение «выключено». Поэтому самой простой схемой для изучения логических функций и выражений является электрическая, состоящая из исследуемого элемента или элементов, источников питания, заземления и устройств, моделирующих заданные уровни логических сигналов (в простейшем случае ими являются переключатели). Причем в данном случае важно подчеркнуть неразрывную связь между физическим сигналом (ток или напряжение) и логическим сигналом: за логический сигнал «0» и «1» принимаются определенные уровни физических сигналов (чаще всего за логический «0» принимается сигнал по напряжению в 0 В, а за уровень логической «1» +5 В).

Перечислим основные операции и аксиомы алгебры логики.

Основные операции алгебры логики:

отношение эквивалентности, обозначаемое знаком « \equiv »;

операция логического сложения (дизъюнкция), обозначаемая знаком « \vee » или « $+$ »;

операция логического умножения (конъюнкция), обозначаемая знаком « \wedge » или « \bullet »;

операция отрицания (инверсии), обозначаемая надчеркиванием или апострофом « $'$ ».

Основные аксиомы булевой алгебры:

$$\begin{cases} \overline{\overline{0}} = 1, \\ \overline{\overline{1}} = 0. \end{cases} \quad \begin{cases} 0 \vee 0 = 0 + 0 = 0, \\ 1 \vee 0 = 1 + 0 = 1, \\ 1 \vee 1 = 1 + 1 = 1. \end{cases} \quad \begin{cases} 0 \wedge 0 = 0 \cdot 0 = 0, \\ 0 \wedge 1 = 0 \cdot 1 = 0, \\ 1 \wedge 1 = 1 \cdot 1 = 1. \end{cases} \quad (1)$$

2. Логические выражения

Из логических переменных с помощью базовых логических операций можно составить логическое выражение. Логические выражения связывают значение логической функции со значениями логических переменных.

Логическое выражение является одним из способов описания цифрового устройства.

Запись логических выражений обычно осуществляют в конъюнктивной или дизъюнктивной нормальных формах. В дизъюнктивной форме логические выражения записываются как логическая сумма логических произведений, в конъюнктивной форме – как логическое произведение логических сумм.

3. Логические тождества

При преобразованиях логических выражений используются следующие логические тождества:

$$\begin{aligned} \overline{\overline{x}} &= x; & x \vee 1 &= 1; & x \vee 0 &= x; & x \cdot 1 &= x; & x \cdot 0 &= 0; \\ x \vee x &= x; & x \cdot x &= x; & x \vee x \cdot y &= x; \\ xy \vee x\overline{y} &= x; & (x \vee y)(x \vee \overline{y}) &= x; & x \vee \overline{xy} &= x \vee y; \\ \overline{xy} &= \overline{x} \vee \overline{y}; & \overline{x \vee y} &= \overline{x} \overline{y}. \end{aligned} \quad (2)$$

4. Логические функции

Любое логическое выражение, составленное из n переменных x_n, x_{n-1}, \dots, x_1 , с помощью конечного числа операций алгебры логики, можно рассматривать как некоторую функцию n переменных. Такую функцию называют логической. В соответствии с аксиомами алгебры логики такая функция может принимать (в зависимости от значения логических переменных, входящих в нее)

значение «0» или «1». Функция n логических переменных может быть определена для 2^n значений переменных, соответствующих всем возможным значениям n -разрядных двоичных чисел. Основным интерес представляют следующие базовые логические функции двух переменных x и y :

$$f_1(x, y) = x \cdot y \text{ – логическое умножение (конъюнкция),} \quad (3)$$

$$f_2(x, y) = x \vee y \text{ – логическое сложение (дизъюнкция),} \quad (4)$$

$$f_3(x, y) = \overline{x \cdot y} \text{ – логическое умножение с инверсией,} \quad (5)$$

$$f_4(x, y) = \overline{x \vee y} \text{ – логическое сложение с инверсией,} \quad (6)$$

$$f_5(x, y) = x \oplus y = x\bar{y} \vee \bar{x}y \text{ – суммирование по модулю 2,} \quad (7)$$

$$f_6(x, y) = \overline{x \oplus y} = xy \vee \bar{x}\bar{y} \text{ – равнозначность.} \quad (8)$$

5. Логические схемы

Физическое устройство, реализующее одну из операций алгебры логики или простейшую логическую функцию, называется логическим элементом. Схема, составленная из конечного числа логических элементов по определенным правилам, называется логической схемой. Логическая схема, наряду с логическим выражением, является одним из способов задания цифровых элементов.

Условное обозначение основных логических элементов, принятых в нашей стране и за рубежом, приведено на рис. 1.

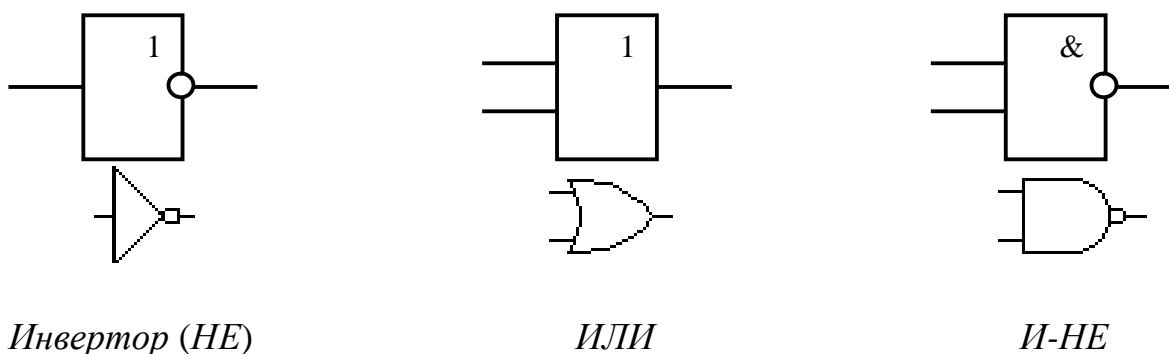


Рис. 1. Обозначение логических элементов.

Примечание. Количество входов в приведенных элементах может быть произвольным; на операцию инвертирования указывает кружок на выходном сигнале.

На рис. 1 в первом ряду приведено обозначение, принятое в нашей стране, во втором ряду, обозначение, принятое за рубежом.

6. Таблица истинности

Поскольку область определения любой логической функции n переменных конечна (2^n значений), то такая функция может быть задана таблицей значений $f(v_i)$, которые она принимает в точках v_i , где $i = 0, 1, \dots, 2^n - 1$. Такие таблицы называют таблицами истинности. В табл. 1 представлены таблицы истинности, задающие указанные выше функции (3) – (8).

Таблица 1.
Произвольная таблица истинности

№	Значения переменных		Функции					
	x	y	f1	f2	f3	f4	f5	f6
1	0	0	0	0	1	1	0	1
2	0	1	0	1	1	0	1	0
3	1	0	0	1	1	0	1	0
4	1	1	1	1	0	0	0	1

В общем случае таблица истинности должна содержать все возможные комбинации логических переменных, входящих в логическое выражение (в случае табл. 1 это комбинации логических переменных x и y), и значения логического выражения, соответствующие каждой комбинации логических переменных

Таблица истинности является третьим способом задания цифровых элементов. Необходимо отметить, что все три способа задания (с помощью логических выражений, логических схем и таблиц истинности) являются однозначными и в равной мере взаимозаменяемыми. Так, по логическому выражению можно составить схему и записать таблицу истинности и наоборот.

7. Получение логических выражений

Целью преобразования сложных логических выражений (а также получения по экспериментальной таблице истинности логического выражения, описывающего данную логическую зависимость) является компактная форма записи, которая в полной мере описывает данную логическую зависимость от любого числа переменных. Операции с логическими выражениями намного удобней, чем с таблицами истинности и со схемами.

Самый простой способ получения логических выражений – это анализ таблицы истинности. Для наглядности рассмотрим пример: пусть требуется найти логическое выражение для функции f_m трех переменных X, Y, Z , описываемых табл. 2.

Таблица 2.
Таблица истинности функции f_m

№	X	Y	Z	f_m
1	0	0	0	0
2	0	0	1	0
3	0	1	0	0
4	0	1	1	1
5	1	0	0	0
6	1	0	1	1
7	1	1	0	1
8	1	1	1	1

Из правил записи логических выражений следует, что искомую зависимость можно получить в двух видах (конъюнктивной или дизъюнктивной нормальных формах – пункт 2). Чаще всего на практике применяется дизъюнктивно нормальная форма записи логической функции.

Дизъюнктивно нормальная форма записи представляет собой дизъюнкцию (логическое сложение) элементарных конъюнкций (произведение всех логических переменных, в нашем случае – это три переменные X, Y, Z).

Для записи логического выражения в дизъюнктивно нормальной форме выберем из таблицы истинности 2 строки, в которых функция f_m принимает значение «1». Это строки 4, 6, 7, 8. Таким образом, элементов нашей дизъюнк-

ции будет 4 (всего слагаемых). Каждое слагаемое – это элементарная конъюнкция. В каждую же элементарную конъюнкцию (произведение), как уже было сказано, должны войти все логические переменные данной строки (в нашем случае X, Y, Z). При этом если соответствующий элемент (X, Y или Z) имеет для данной строки значение «1», то он входит в элементарную конъюнкцию (произведение) в обычном виде, если же он равен «0», то необходимо взять его отрицание. Так, для каждой строки имеем элементарную конъюнкцию (произведение) в следующем виде:

$$\begin{aligned} \bar{X} \cdot Y \cdot Z & \quad \text{для строки 4;} \\ X \cdot \bar{Y} \cdot Z & \quad \text{для строки 6;} \\ X \cdot Y \cdot \bar{Z} & \quad \text{для строки 7;} \\ X \cdot Y \cdot Z & \quad \text{для строки 8.} \end{aligned}$$

Искомой формой записи данного логического выражения в дизъюнктивно нормальной форме является дизъюнкция (сложение) полученных выше 4 конъюнкций:

$$f_m = \bar{X}YZ \vee X\bar{Y}Z \vee XY\bar{Z} \vee XYZ. \quad (9)$$

По данной логической функции можно записать таблицу истинности, идентичную табл. 2. Для этого необходимо в логическую функцию подставлять все возможные комбинации логических переменных X, Y, Z (всего таких значений 2^3) и на каждой подстановке, пользуясь аксиомами алгебры логики, вычислять функцию f_m .

Необходимо отметить, что данный способ получения логических выражений не самый рациональный. Полученная логическая функция, хоть и содержит исчерпывающую информацию о выбранной комбинации логических переменных, тем не менее поддается еще упрощению с помощью выражений (2).

Другим способом составления упрощенного выражения по таблице истинности является составление карт Карно. Такой способ в данной работе не рассматривается по двум причинам:

во-первых, наглядность его минимальна при достаточно большой сложности построения самих карт Карно, что вызывает большие трудности у студентов, особенно в начале изучения цифровой техники;

во-вторых, методика построения карт Карно хорошо описана в соответствующей литературе.

Порядок работы

Задание 1. Исследование логической функции «И»

1.1. Задание уровней логических сигналов.

Создайте схему, изображенную на рис. 2.

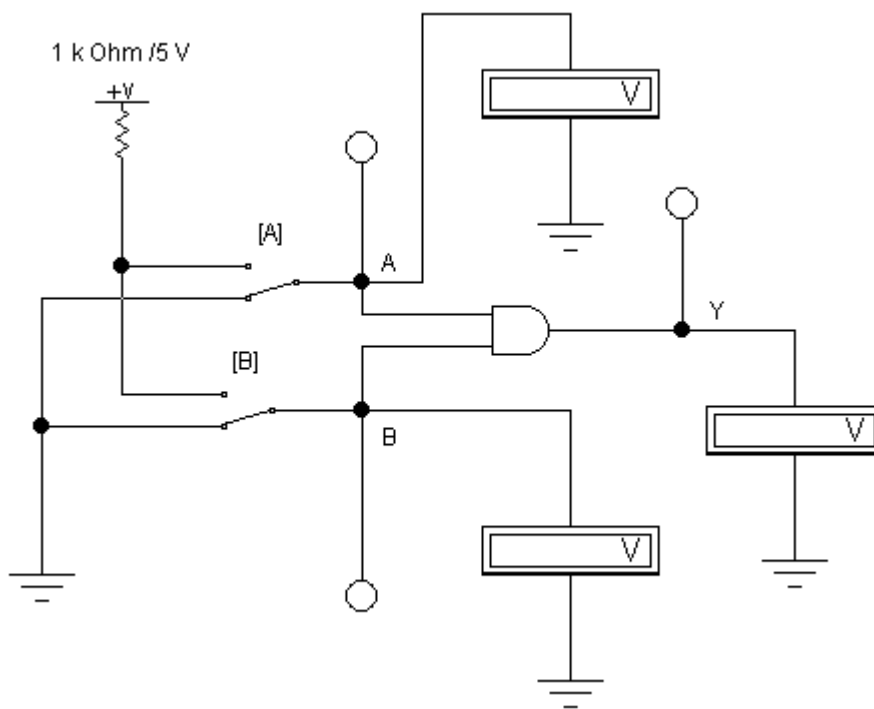


Рис. 2. Логическая функция «И».

В этой схеме два двухпозиционных переключателя «А» и «В» подают на входы логической схемы «И» уровни логических сигналов: «0» (контакт переключателя в нижнем положении) или «1» (контакт переключателя в верхнем положении). В физическом плане это соответствует подаче напряжения от источника (+ 5 В) на логический элемент. Уровень физического сигнала на входе или выходе логического элемента можно измерить с помощью вольтметра (в

данном случае «0» В или «+5» В), а уровень логического сигнала – с помощью логических пробников, которые информируют о наличии на измеряемой линии сигнала вообще (если сигнал есть, то пробник загорается).

Включите схему (тумблером, находящимся в правом верхнем углу окна программы). Установите положения ключей в соответствии с табл. 3. Результаты замеров (логических и физических сигналов) занесите в табл. 3.

Таблица 3.
Задание уровней логических сигналов

Положение переключателей		Сигналы на входах и выходе					
«А»	«В»	Логические (0 или 1)			Физические, В		
		А	В	У	А	В	У
Нижнее	Нижнее						
Нижнее	Верхнее						
Верхнее	Нижнее						
Верхнее	Верхнее						

Примечание. Прежде чем начать работу с переключателями удобно каждому переключателю присвоить букву, при нажатии которой он включается/выключается. Это можно сделать до начала работы схемы, дважды щелкнув на переключатель и на закладке «Value» присвоив ему уникальную кнопку.

1.2. Экспериментальное получение таблицы истинности элемента «И».

Подайте на входы схемы (рис. 2) все возможные комбинации уровней сигналов «А» и «В» и для каждой комбинации зафиксируйте уровень выходного сигнала «У». Заполните таблицу истинности исследуемой логической схемы «И» (табл. 4).

Таблица 4.
Таблица истинности логического элемента «И»

Входы		Выход
А	В	У

1.3. Получение аналитического выражения для функции.

По табл. 4 составьте аналитическое выражение функции элемента «И» и занесите его себе в отчет. Для этого можно воспользоваться одним из двух способов получения логических выражений по таблице истинности, изложенных в кратких теоретических данных лабораторной работы.

Задание 2. Исследование логической функции «И-НЕ»

2.1. Экспериментальное получение таблицы истинности логического элемента «И-НЕ», составленного из элементов «И» и «НЕ».

Соберите схему, изображенную на рис. 3.

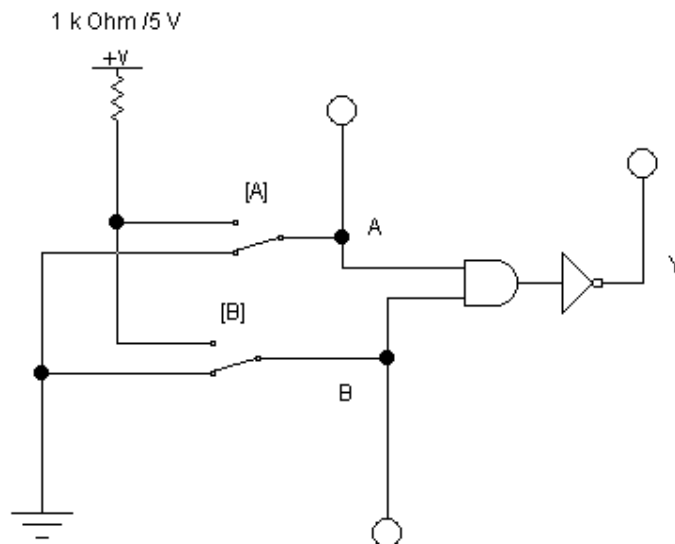


Рис. 3. Логическая функция «И-НЕ».

Включите схему. Подайте на входы схемы все возможные комбинации уровней входных сигналов и, наблюдая уровни сигналов на входах и выходе с помощью логических пробников, заполните таблицу истинности логической схемы «И-НЕ» (табл. 5).

Таблица 5.
Таблица истинности элемента «И-НЕ» (составного)

Входы		Выход
A	B	Y
0	0	
0	1	
1	0	
1	1	

2.2. Экспериментальное получение таблицы истинности логического элемента «И-НЕ».

Соберите схему, изображенную на рис. 4.

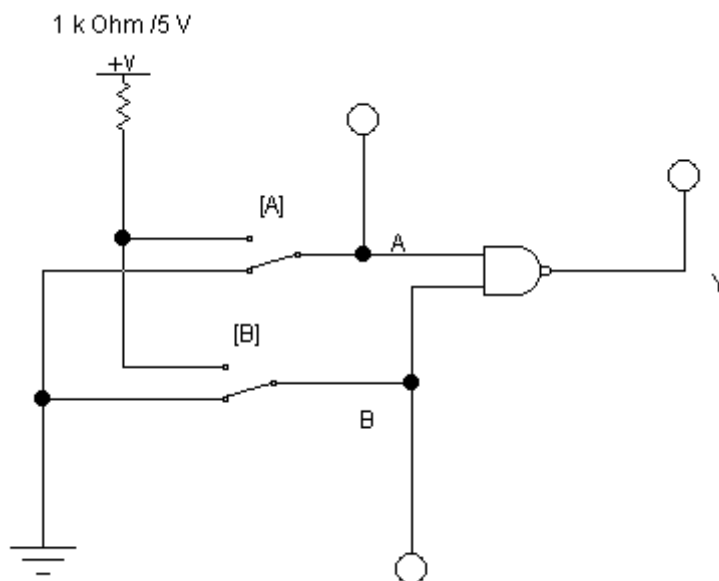


Рис. 4. Логическая функция «И-НЕ».

Включите схему. Подайте на входы схемы все возможные комбинации уровней входных сигналов и, наблюдая уровни сигналов на входах и выходе с помощью логических пробников, заполните таблицу истинности логической схемы «И-НЕ» (табл. 6).

Таблица 6.
Таблица истинности элемента «И-НЕ»

Входы		Выход
A	B	Y
0	0	
0	1	
1	0	
1	1	

Сравните между собой табл. 5 и 6 и сделайте соответствующие выводы.

Задание 3. Исследование логической функции «ИЛИ»

3.1. Экспериментальное получение таблицы истинности логического элемента «ИЛИ».

Соберите схему, изображенную на рис. 5.

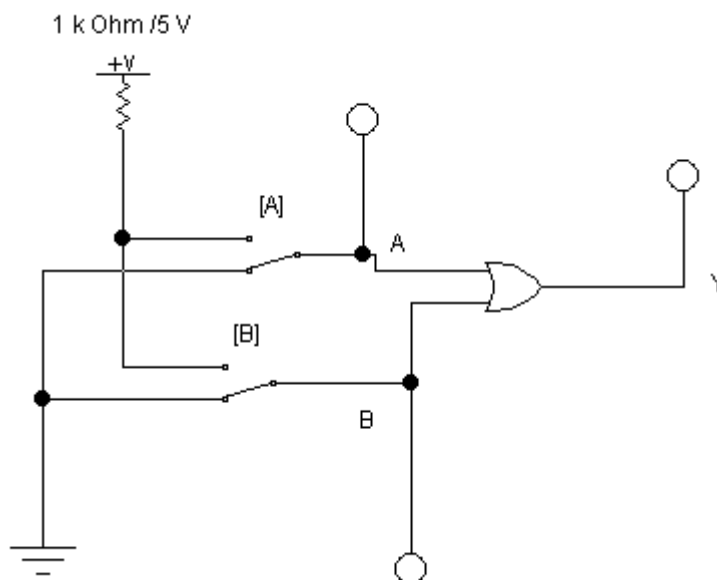


Рис. 5. Логическая функция «ИЛИ».

Включите схему. Подайте на входы схемы все возможные комбинации уровней входных сигналов и, наблюдая уровни сигналов на входах и выходе с помощью логических пробников, заполните таблицу истинности логической схемы «ИЛИ» (табл. 7).

Таблица 7.
Таблица истинности элемента «ИЛИ»

Входы		Выход
A	B	Y
0	0	
0	1	
1	0	
1	1	

3.2. Получение аналитического выражения для функции.

По табл. 7 составьте аналитическое выражение функции «ИЛИ» и занесите его в отчет. Для этого можно воспользоваться одним из двух способов получения логических выражений по таблице истинности, изложенных в кратких теоретических данных данной лабораторной работы.

Задание 4. Исследование логической функции «ИЛИ-НЕ»

4.1. Экспериментальное получение таблицы истинности логического элемента «ИЛИ-НЕ», составленного из элементов «ИЛИ» и «НЕ».

Соберите схему, изображенную на рис. 6.

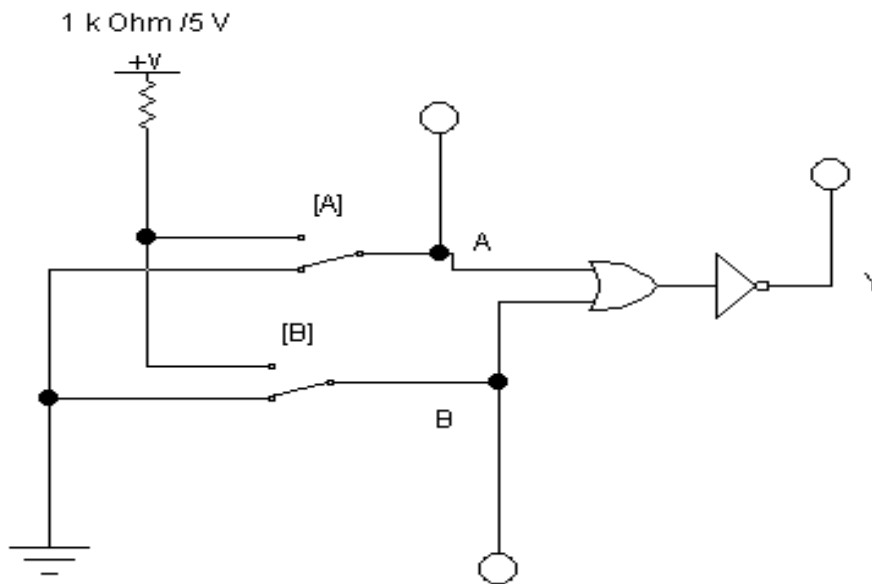


Рис. 6. Логическая функция «ИЛИ-НЕ».

Включите схему. Подайте на входы схемы все возможные комбинации уровней входных сигналов и, наблюдая уровни сигналов на входах и выходе с помощью логических пробников, заполните таблицу истинности логической схемы «ИЛИ-НЕ» (табл. 8).

Таблица 8.
Таблица истинности элемента «ИЛИ-НЕ» (составного)

Входы		Выход
A	B	Y
0	0	
0	1	
1	0	
1	1	

4.2. Экспериментальное получение таблицы истинности логического элемента «ИЛИ-НЕ».

Соберите схему, изображенную на рис. 7.

Включите схему. Подайте на входы схемы все возможные комбинации уровней входных сигналов и, наблюдая уровни сигналов на входах и выходе с помощью логических пробников, заполните таблицу истинности логической схемы «ИЛИ-НЕ» (табл. 9).

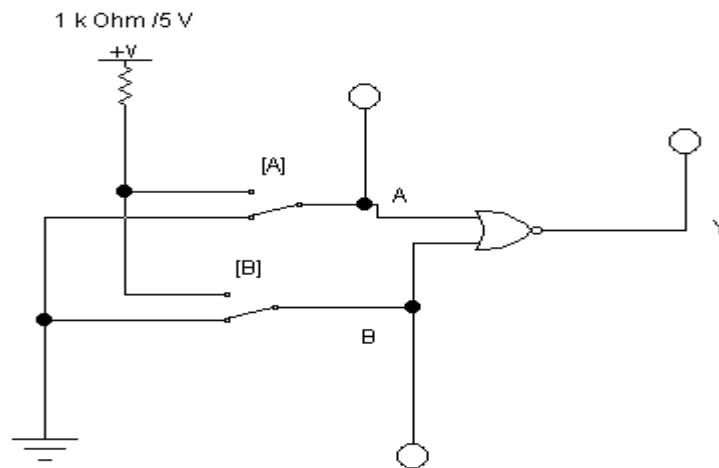


Рис. 7. Логическая функция «ИЛИ-НЕ».

Таблица 9.
Таблица истинности элемента «ИЛИ-НЕ»

Входы		Выход
A	B	Y
0	0	
0	1	
1	0	
1	1	

Сравните табл. 8 и 9 между собой и сделайте соответствующие выводы.

Задание 5. Исследование логических схем с помощью генератора слов

Анализ различных логических функций иногда удобно проводить с помощью микросхем, реализующих различные логические элементы. Кроме того, использование микросхем (в отличие от расширенного представления логических функций, рассматриваемого в предыдущих заданиях) бывает необходимо на стадии проектирования сложных систем, когда в руках современного инженера зачастую имеется набор из различных, законченных модулей, реализующих вполне определенные функции.

Отдавая дань доступности и широкому распространению англоязычных микросхем, а также их аналогов, изготовленных по западным стандартам (в том числе и современные российские разработки), в данной работе мы рассматриваем микросхемы как раз западного стандарта.

Помимо того, для дальнейшего рассмотрения цифровой техники удобно вместо коммутирующих выключателей (задающих уровни логических сигналов) в некоторых случаях использовать «генератор слов» (прибор, предназначенный для выработки последовательности логических сигналов на своих выходах, причем данную последовательность пользователь имеет возможность задавать самостоятельно). Использованию модульных микросхем и «генератора слов» посвящено следующее задание.

5.1. Исследование модульных микросхем различных типов.

Выбор исследуемой микросхемы производится по номеру варианта, присвоенному студенту преподавателем. Типы микросхем в соответствии с вариантом задания приведены в табл. 10.

Таблица 10.
Варианты задания исследуемой микросхемы

Вариант задания	Тип микросхемы
1	AND/7408
2	AND/7421
3	AND/7411
4	NOR/7402
5	NOR/7427
6	NOR/7428
7	NOR/7433
8	OR/7432
9	XOR/7486
10	XNOR/74266

Примечание. Данные микросхемы в общем случае могут содержать несколько независимых друг от друга логических элементов (но одного типа: например, 3 логических элемента «И» – «AND»), причем у каждого логического элемента может быть и несколько входов (1, 2, 3 или 4).

После выбора соответствующей микросхемы нужно собрать схему для ее изучения. В общем случае она должна содержать: источник напряжения, заземление (земля), необходимое количество логических пробников и генератор слов.

Пример собранной схемы для исследования микросхемы NOR/7400 приведен на рис. 8.

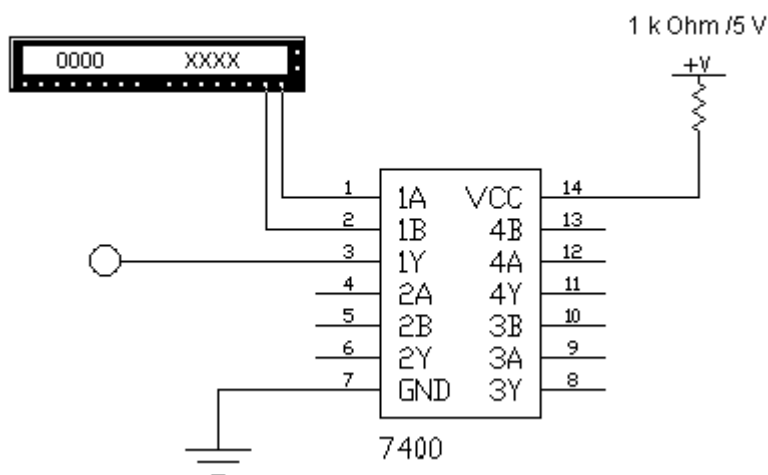


Рис. 8. Исследование микросхемы NOR/7400.

Примечание. Для дальнейшего исследования необходимо принимать во внимание только входы/выходы одного логического элемента на данной микросхеме (на рис. 8 используется первый логический элемент).

В отчете по данному пункту необходимо заполнить табл. 11, дающую исчерпывающую информацию об используемой микросхеме.

Примечание. Исчерпывающую информацию об используемой микросхеме можно получить в справке (выделите интересующий вас элемент и щелкните на знак вопроса).

5.2. Экспериментальное получение таблицы истинности микросхемы.

Для дальнейшего изучения микросхемы необходимо использовать «генератор» слов (предполагается, что при выполнении задания 5.2. была собрана схема для изучения, аналогичная рис. 8). Общий вид открытого окна свойств «генератора» показан на рис. 9. Для открытия данного окна необходимо дважды щелкнуть мышью на изображении генератора слов.

Таблица 11.
Информация о микросхеме

Тип микросхемы (полное обозначение по варианту задания)	
Тип базисных элементов (логических функций)	
Число базисных элементов в микросхеме (всего)	
Число исследуемых базисных элементов в микросхеме	
Обозначение выводов микросхемы, используемых для подключения источника питания (номера и название)	
Обозначения выводов микросхемы, используемых для подключения заземления (номера и название)	
Обозначение используемых входов (номера и название)	
Обозначение используемых выводов (номера и название)	

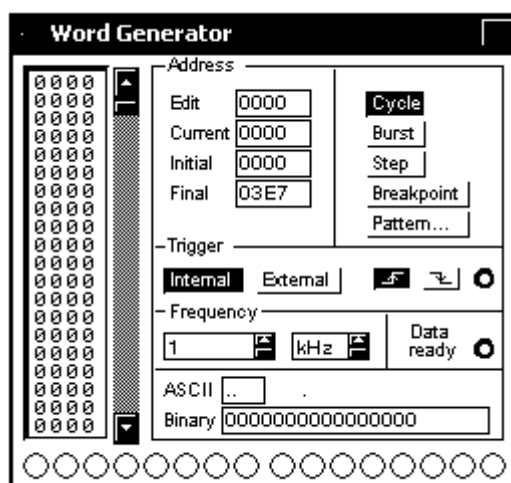


Рис. 9. Генератор слов.

Окно свойств может быть условно разбито на ряд частей.

В левой части, в прокручивающемся окне, отображаются слова (набор логических последовательностей), формируемые «генератором слов» в 16-ричной системе исчисления (данные последовательности могут быть изменены пользователем).

В правой части окна свойств находится ряд областей («Address», «Trigger», «Data ready»), несущих техническую информацию. Из этих областей мы будем пользоваться только кнопками «Cycle» и «Step», переводящие генератор слов в цикловой (заданные пользователем слова прокручиваются автоматиче-

ски) и пошаговый режимы работы (каждая следующая последовательность, вырабатываемая «генератором слов», вызывается нажатием кнопки «Step»).

В правой нижней части окна свойств находятся поля «ASCII», «Binary» и ряд, состоящий из логических пробников. Поле «Binary» (изменяемое) и ряд пробников, (функционирующих только в режиме «Работа»), имеют одинаковую информационную сущность. Они отображают генерируемые последовательности слов в двоичном коде.

Отметим также, что часто бывает удобнее задавать последовательность слов именно в поле «Binary», которое связано (изменение его вызывает изменение другого поля) и с прокручиваемым списком генерируемых слов, находящимся в левой части и рассмотренным ранее.

Для выполнения работы запрограммируйте «генератор слов» так, чтобы на его выходе получит последовательно следующие комбинации: 00, 01, 10, 11 (необходимо помнить: несмотря на то, что в анализируемых микросхемах количество базисных логических элементов и входов на каждом элементе множество, мы исследуем только два входа одного базисного логического элемента). Затем переведите генератор в режим пошаговой работы нажатием кнопки «Step» в окне свойств генератора. Каждое нажатие кнопки «Step» вызывает переход к очередному слову заданной последовательности, которое подается на выход генератора. Последовательно подавая на микросхему слова из заданной последовательности, заполните таблицу истинности элемента вашего базисного элемента (табл. 12).

Таблица 12.
Таблица истинности исследуемой микросхемы

Входы		Выход
первый	второй	Y
0	0	
0	1	
1	0	
1	1	

Указание. Для повторения запрограммированной комбинации слов можно выключить и включить схему заново, тогда последовательности, заданные в «генераторе слов», будут изменяться начиная с первой.

Задание 6. Реализация логической функции 3-х и большего числа переменных

В заключение изучения базовых логических схем и функций приведем задание, иллюстрирующее возможности «Electronic Workbench» в такой непростой и трудно формализуемой задаче как синтез логических схем и функций. Все предыдущие задания опирались в основном на моделирование уже существующих логических функций и изучение их свойств. Выполнив же это задание, студенты смогут автоматически реализовывать любую логическую функцию, заданную булевым выражением в различных базисах, получать таблицы истинности логических выражений и т. п. Все перечисленные процедуры можно реализовать с помощью инструмента «Logic Converter». Общий вид окна свойств «Logic Converter» показан на рис. 10.

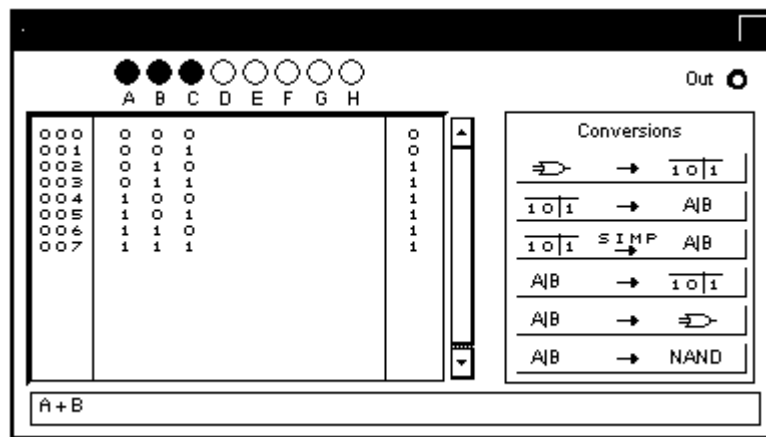


Рис. 10. «Logic Converter».



Напомним, что окно свойств вызывается двойным нажатием на изображении инструмента. Рассмотрим окно свойств подробнее.

Здесь в верхней части под буквами А, В, ..., Н находятся индикаторы, активизируемые путем нажатия на них. На рис. 10 активизированы три индикатора – А, В, С. Подразумевается, что в дальнейшем мы будем оперировать ло-


гической функцией, состоящей из трех переменных – A , B , C . Данный выбор вызывает появление всех возможных комбинаций этих переменных (строки таблицы, изображенной на рис. 10, начиная с нулевой и заканчивая седьмой). В правой части полученной таблицы истинности, в отдельном столбце, по умолчанию присвоены «0» выходной переменной. Пользователь, изменяя значения выхода анализируемой логической функции, тем самым полностью задает таблицу истинности.

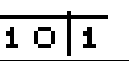
В самом нижнем окне находится поле ввода/вывода логической функции (поле является выводящим, если пользователь сам задал таблицу истинности, а затем путем нажатия на соответствующую функциональную кнопку потребовал формирования логической функции; и поле является вводящим, если пользователь предварительно сам задал логическую функцию, а затем путем нажатия на соответствующую функциональную кнопку потребовал формирования таблицы истинности).

В правой части окна свойств находятся соответствующие функциональные кнопки (панель «Conversion»).

1)  →  | – получение таблицы истинности для произвольной логической схемы, подсоединенной к входам и выходам «Logic Converter»;

2)  → $A|B$ | – получение по таблице истинности логической функции (не упрощенной);

3)  $\xrightarrow{\text{SIMP}}$ $A|B$ | – получение по таблице истинности упрощенной логической функции (аналогичная функция получается путем использования для анализа таблицы истинности карт Карно);

4) $A|B$ →  | – получение по логической функции таблицы истинности;

5) $A \vee B \rightarrow \text{схема}$ – получение по логической функции схемы, реализованной в произвольном базисе;

6) $A \vee B \rightarrow \text{NAND}$ – получение по таблице истинности логической функции реализованной в базисе «И-НЕ».

6.1. Синтез схемы, реализующей заданную функцию при помощи логического преобразователя.

Для получения схемы, реализующей функцию, описываемую логическим выражением f (задается преподавателем), можно воспользоваться логическим преобразователем. Варианты заданий логических выражений приведены в табл. 13 (здесь апостроф указывает на операцию инвертирования).

Таблица 13.
Варианты задания логического выражения f

Вариант задания	Логическое выражение f
1	$A+B \cdot C$
2	$C+A \cdot B$
3	$A \cdot B \cdot C$
4	$A' + B + C$
5	$A + B' \cdot C$
6	$C \cdot B' + A$
7	$A' + B' + C'$
8	$C' + A' \cdot B$
9	$A' + B' + C$
10	$B + C \cdot A'$

Прodelайте с анализируемым логическим выражением следующие действия:

- 1) вызовите логический преобразователь;
- 2) введите в нижнее окно панели преобразователя логическое выражение с клавиатуры (операции ИЛИ соответствует знак «+», инверсия обозначается апострофом, логическая операция умножения не вводится: например, $AB=A \cdot B$);

3) для реализации схемы на элементах «И-НЕ» нажмите соответствующую функциональную кнопку на панели логического преобразователя, занесите полученную схему в отчет, удалите полученную схему;

4) для простой реализации схемы на произвольных элементах нажмите соответствующую функциональную кнопку на панели логического преобразователя, занесите полученную схему в отчет, удалите полученную схему;

5) для получения таблицы истинности заданной логической функции нажмите соответствующую функциональную кнопку на панели логического преобразователя, занесите полученную таблицу истинности в отчет.

6.2. Синтез логической функции, реализующей заданную таблицу истинности при помощи логического преобразователя.

Для получения функции, реализующей таблицу истинности, необходимо воспользоваться таблицей истинности, полученной в предыдущем пункте. Для этого сделайте следующее:

1) удалите с нижней строки логического преобразователя логическую функцию;

2) очистите таблицу истинности преобразователя, нажав на его верхнюю функциональную кнопку;

3) выберите в поле таблицы истинности количество используемых логических переменных (в нашем случае их 3) путем нажатия на соответствующие индикаторы;

4) в правой колонке полученной таблицы истинности задайте значение искомой логической функции в соответствии с каждой строкой;

5) для получения неупрощенной логической функции нажмите соответствующую функциональную кнопку на панели логического преобразователя, занесите в отчет полученную функцию;

6) для получения упрощенной логической функции нажмите соответствующую функциональную кнопку на панели логического преобразователя, запишите упрощенную логическую функцию;

7) удостоверьтесь, что упрощенные модели совпадают с заданными в начале моделями;

8) удостоверьтесь, что упрощенная функция может быть получена из неупрощенной (проделайте операции упрощения).

Контрольные вопросы

1. Дайте определение логического сигнала.
2. Дайте определение логической переменной.
3. Дайте определение логической функции.
4. Какие значения могут принимать булевы переменные?
5. Приведите основные логические тождества.
6. Что может быть принято за уровни логических сигналов?
7. Подумайте, почему в технике за уровень логического нуля часто принимают физический сигнал (например, по току), отличный от нуля?
8. Как может быть получена логическая функция?
9. Чем в физическом смысле отличается работа схемы составленной по упрощенной логической функции, от неупрощенной?
10. Сколько различных комбинаций сигналов надо подать на схему, имеющую 4 входа, для составления таблицы истинности?
11. Какой сигнал должен быть подан на неиспользуемые входы элемента «И-НЕ», имеющего 5 входов, если требуется реализовать ту же логическую функцию, но на 3 входа?
12. Какой сигнал должен быть подан на неиспользуемые входы элемента «ИЛИ», имеющего 5 входов, если требуется реализовать ту же логическую функцию, но на 4 входа?
13. Какой сигнал нужно подать на неиспользуемые входы элемента «И», имеющего 2 входа, для реализации на его базе инвертора на один входной сигнал?

14. Какой логической функцией можно описать систему пуска трехфазного двигателя, если двигатель может быть запущен, когда три датчика подтверждают наличие фазных напряжений?

Упражнения

1. Получение логических функций

По заданной таблице истинности (табл. 14) получите логическую функцию.

Таблица 14.
Варианты таблицы истинности

Значения логических переменных (для всех вариантов)				Варианты задания									
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A	B	C	D	Значения логической функции (для каждого варианта)									
0	0	0	0	1	0	1	1	0	1	0	0	1	0
0	0	1	0	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1
0	1	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	1	0
0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0
1	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	1	0
1	0	1	0	0	1	1	0	1	1	0	0	0	0
1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0
1	1	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0
0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	1	1
0	0	1	1	1	0	1	1	1	0	0	0	1	1
0	1	0	1	1	1	0	1	0	1	0	0	0	1
0	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1
1	0	0	1	1	0	1	1	0	0	0	1	0	1
1	0	1	1	0	0	1	1	0	0	0	1	0	1
1	1	0	1	1	1	0	1	0	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	0	1	1	1

Примечание. Значения логических переменных, входящих в вашу логическую функцию, заданы столбцами таблицы (A, B, C, D), они одинаковы для всех вариантов. Из второй части таблицы необходимо выбрать один столбец, согласно вашему варианту, который содержит значения вашей логической функции.

2. Построение структурных схем

По заданной логической функции необходимо построить структурную схему. Варианты логических функций, приведены в таблице 15.

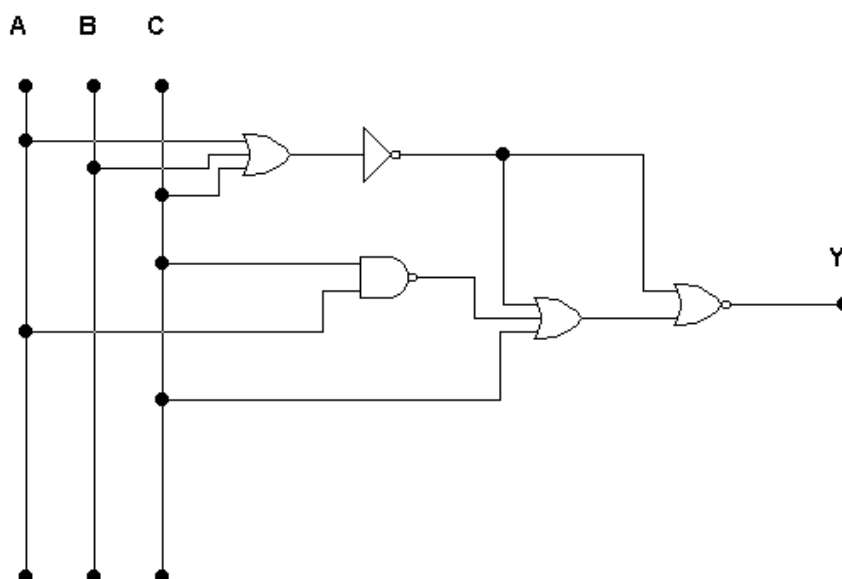
Таблица 15.
Варианты логических функций

Вариант	Логическая функция
1	$f = \overline{a \vee b} \wedge c \wedge d \vee e$
2	$f = \overline{a \wedge c \vee d \vee e \vee b}$
3	$f = \overline{\overline{c} \wedge a \vee b \wedge \overline{d}} \vee e$
4	$f = \overline{\overline{a} \vee \overline{b}} \wedge \overline{\overline{e} \wedge \overline{d}} \vee c$
5	$f = a \vee b \wedge \overline{c \vee d \vee e}$
6	$f = a \wedge \overline{c} \wedge \overline{d} \vee e \vee \overline{b}$
7	$f = \overline{\overline{a \vee b \vee c \vee d}} \wedge \overline{e}$
8	$f = a \wedge b \wedge \overline{d} \vee a \wedge \overline{e} \vee c$
9	$f = \overline{a \wedge \overline{a}} \wedge c \wedge \overline{d} \vee e$
10	$f = \overline{e \vee \overline{a}} \wedge \overline{\overline{a \vee d \vee e}} \wedge b$

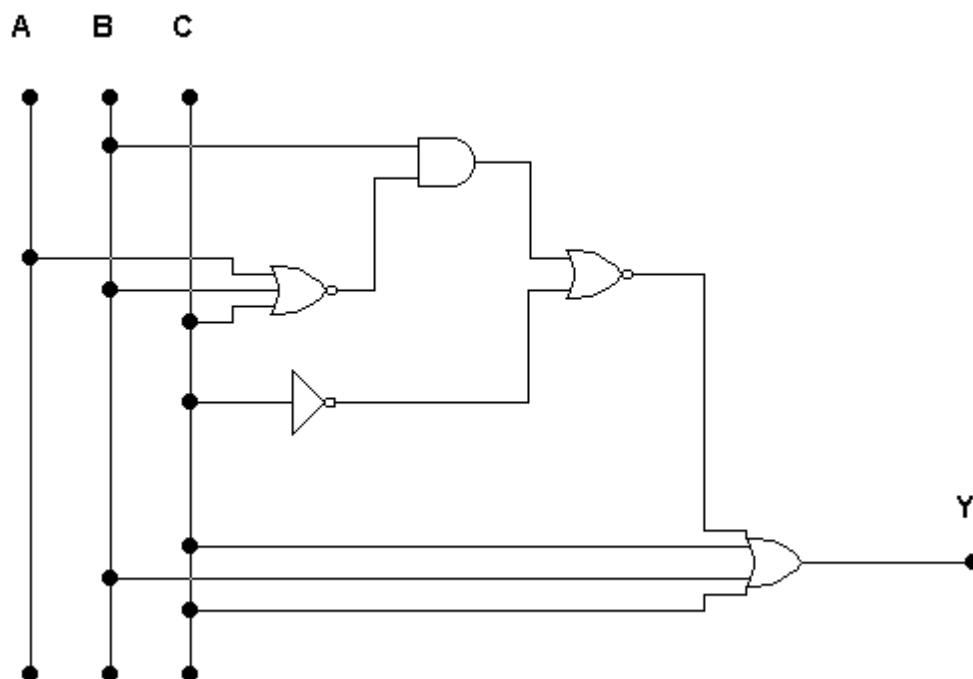
3. Составление логических функций.

По заданной схеме составьте логическую функцию.

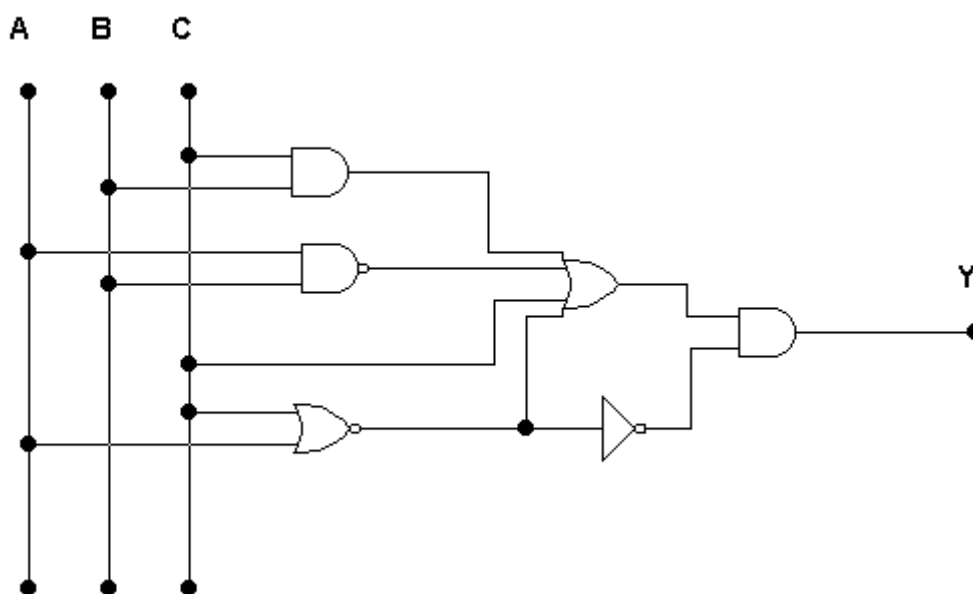
Вариант 1



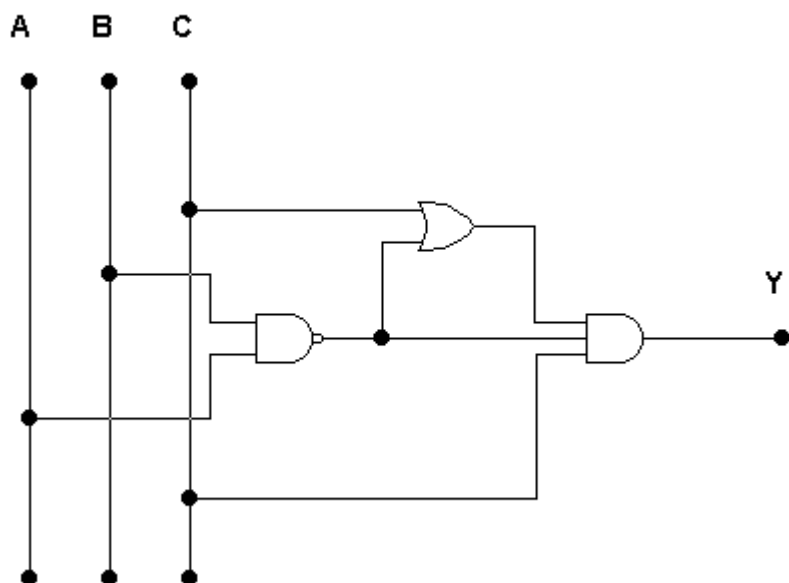
Вариант 2



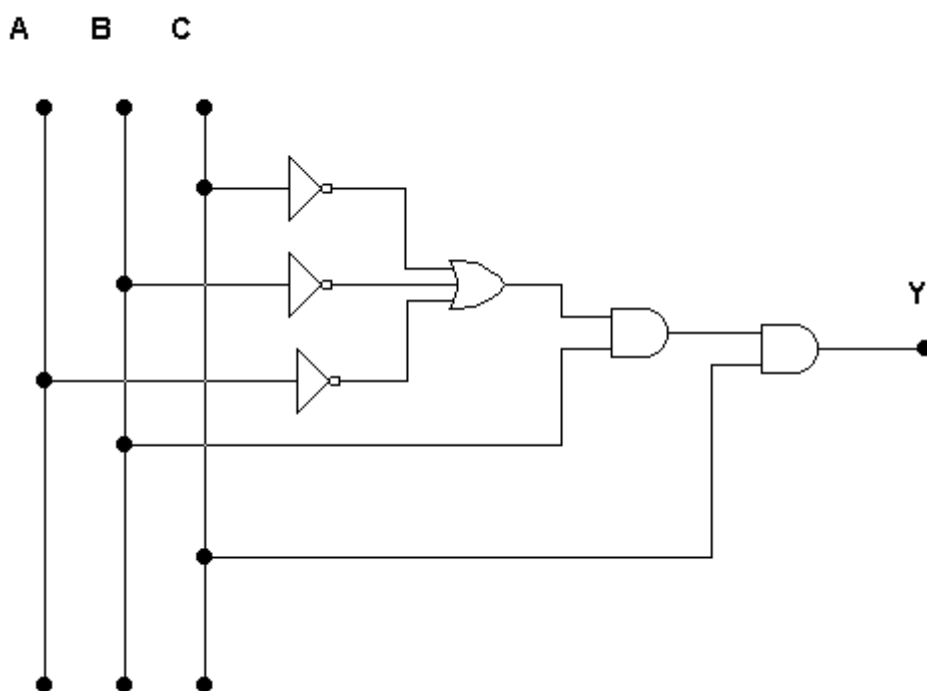
Вариант 3



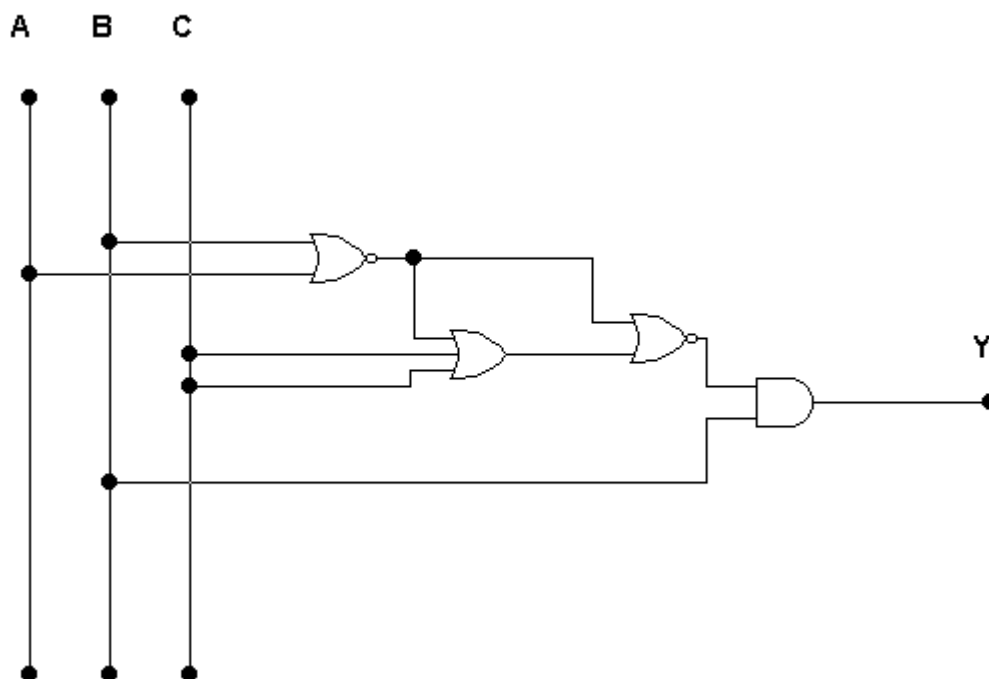
Вариант 4



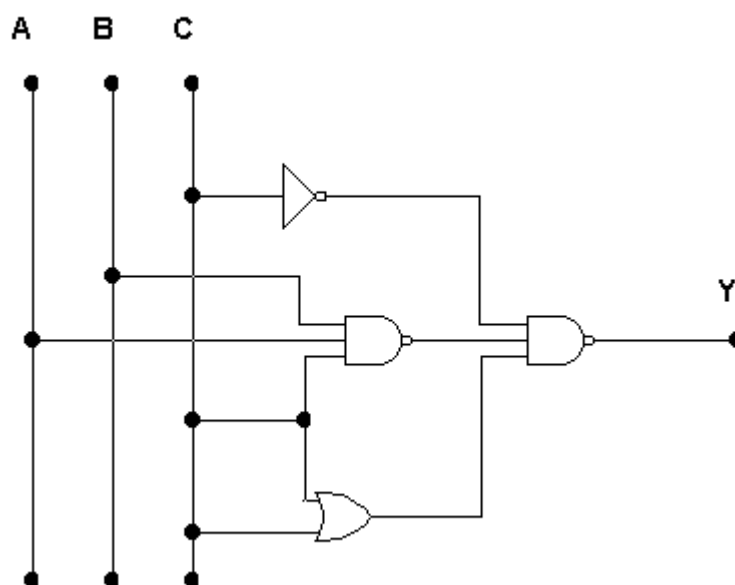
Вариант 5



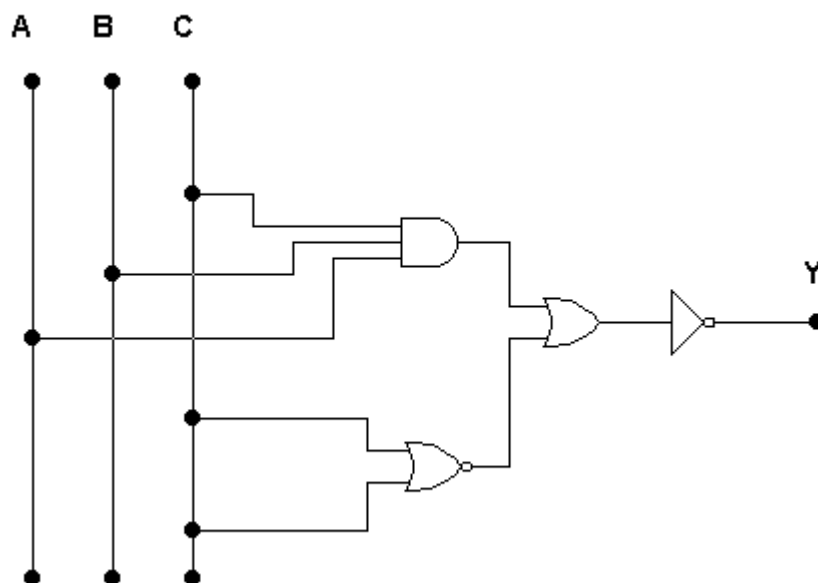
Вариант 6



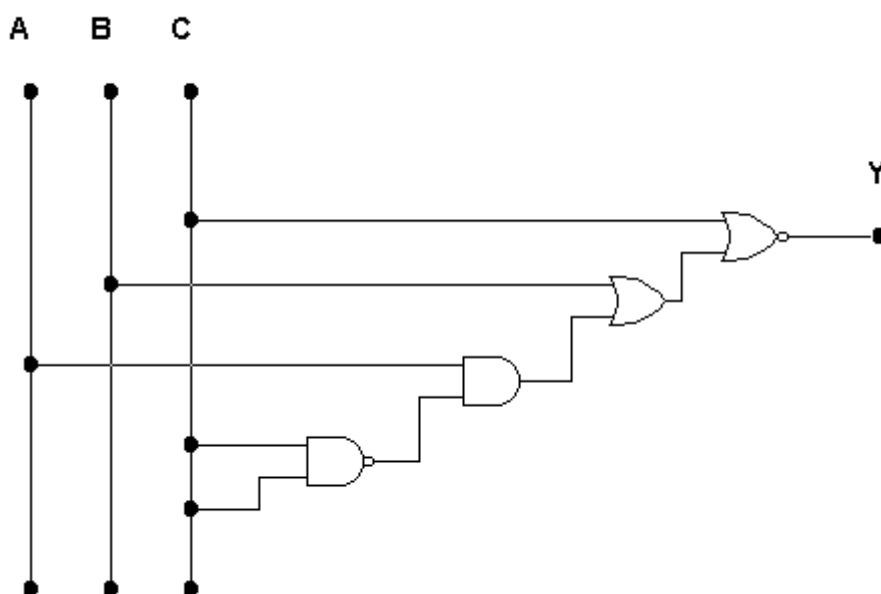
Вариант 7



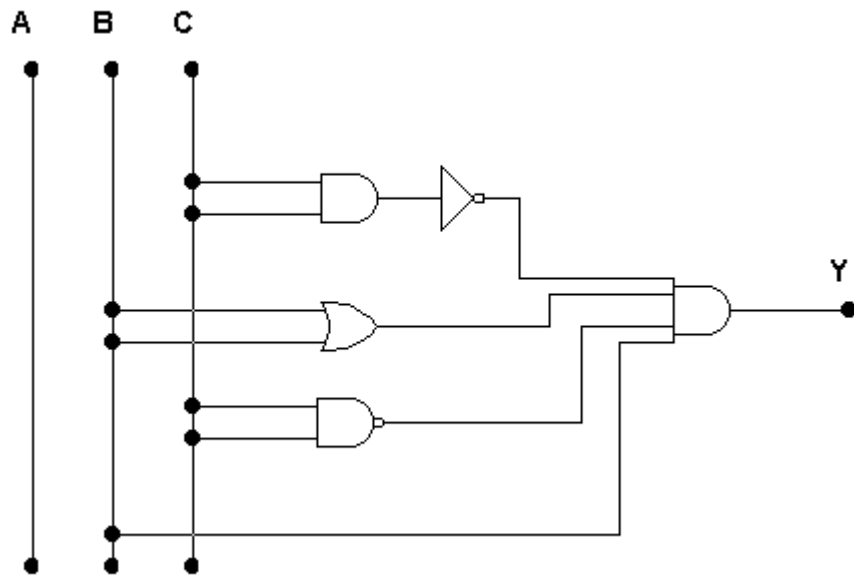
Вариант 8



Вариант 9



Вариант 10



ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2

ИЗУЧЕНИЕ РАБОТЫ ШИФРАТОРОВ, ДЕШИФРАТОРОВ И МУЛЬТИПЛЕКСОРОВ

Цель работы.

1. Изучение принципов работы шифраторов, дешифраторов и мультиплексоров.
2. Реализация логических функций с помощью мультиплексоров.
3. Изучение способов применения дешифраторов.

Приборы и элементы.

Генератор слов (панель «Instruments/Word Generator»).

Логический анализатор (панель «Instruments/Logic Analyzer»).

Логические пробники (панель «Indicators/Red probe»).

Источник напряжения + 5 В (панель «Basic/Pull-Up Resistor»).

Земля (панель «Sources/Ground»).

Двухвходовые элементы И, И-НЕ, ИЛИ, ИЛИ-НЕ (панель «Logic Gates/
2-Input AND, NAND, OR, NOR Gates»).

Двухпозиционные переключатели (панель «Basic/Switch»).

Дешифратор (панель «Digital/DEC/Generic 8-to-1 DEMUX»).

Мультиплексор (панель «Digital/MUX/ Generic 1-of 8 MUX»).

Краткие теоретические сведения

1. Комбинационные схемы

Комбинационной схемой называется логическая схема, реализующая однозначное соответствие между значениями входных и выходных сигналов. Для реализации комбинационных схем используются логические элементы, выпускаемые в виде интегральных схем. В этот класс входят интегральные схемы дешифраторов, шифраторов, мультиплексоров, демультиплексоров и сумматоров.

2. Шифраторы

Шифратор – логическая комбинационная схема, которая имеет 2^n входов (где n – число информационных выходов). Часто $n=3$, тогда $2^n=8$. Подача на один из входов активного сигнала будет соответствовать двоичное число, которое можно сформировать из его n выходов, эквивалентное номеру входа, на котором появился активный уровень.

Примечание. Формирование двоичного числа на выходе шифратора означает следующее: каждый из выходов шифратора считается определенным разрядом искомого двоичного числа. Принцип работы шифратора противоположен принципу работы дешифратора, который подробно рассмотрен ниже.

Простейшим случаем применения шифратора может служить, например, схема отслеживания нажатия одной кнопки. Каждая кнопка представляет собой элементарный переключатель. Пусть таких кнопок всего 8 и они пронумерованы начиная с «0» и заканчивая «7». При нажатии определенной кнопки (например, «3») формируется сигнал на входе шифратора (каждый вход – это вполне определенная кнопка), в итоге на выходе шифратора можно получить двоичный сигнал, равный номеру нажатой кнопки. В нашем случае число выходов равно 3 ($2^3=8$) и на каждом из выходов получится следующая комбинация на 3-м = 0, на 2-м = 1, на 1-м = 1. Полученное двоичное число «011», которое в десятичном коде равно 3.

3. Дешифраторы

Дешифратор – логическая комбинационная схема, которая имеет n информационных входов и 2^n выходов. Каждой комбинации логических уровней на входах будет соответствовать активный уровень на одном из 2^n выходов. Обычно n равно 2, 3 или 4. В отечественной литературе входы дешифратора принято обозначать 1, 2, 4, 8, ..., в англоязычной A, B, C, \dots . Работа дешифратора может быть проиллюстрирована в соответствии с таблицей истинности.

Таблица 1.
Таблица истинности дешифратора

Входы				Выходы									
8	4	2	1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1

На рис. 1 представлен дешифратор, имеющий таблицу истинности табл. 1. Условное обозначение базовых элементов соответствует обозначению, принятому в отечественной литературе.

В дальнейшем для детального рассмотрения дешифратора мы будем пользоваться обозначениями (микросхем и базовых элементов), принятыми в EWB. На рис. 2 изображен дешифратор (блок микросхемы, использующийся для моделирования дешифратора в EWB) с $n = 3$.

Активным уровнем сигнала данной микросхемы является уровень логического нуля, т.е. в отличие от таблицы истинности 1 у данного дешифратора на выходах по диагонали расположены нули, а остальные элементы равны единице. На входы C , B , A можно подать следующие комбинации логических уровней: «000», «001», «010», ..., «111», всего 8 комбинаций. Схема имеет 8 выходов, на одном из которых формируется низкий потенциал, на остальных – высокий. Номер этого единственного выхода, на котором формируется активный (нулевой) уровень, соответствует числу N , определяемому состоянием входов C , B , A следующим образом:

$$N = C \cdot 2^2 + B \cdot 2^1 + A \cdot 2^0 \quad (1)$$

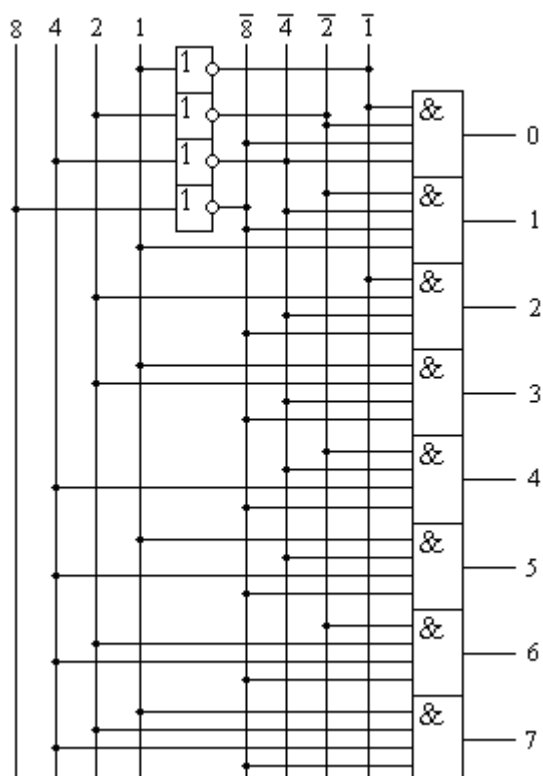


Рис. 1. Дешифратор.

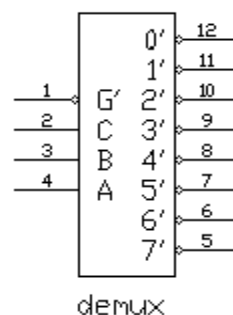


Рис. 2. Условное обозначение.

Например, если на входы подана комбинация логических уровней «011», то из 8 выходов микросхемы (рис. 2) на выходе с номером $N=3$ (в двоичном исчислении $3 = 011$) установится нулевой уровень сигнала ($Y_3=0$), а все остальные выходы будут иметь уровень логической единицы. Этот принцип формирования выходного сигнала можно описать следующим образом:

$$Y_i = \begin{cases} 0, & \text{если } i = k, \\ 1, & \text{если } i \neq k, \\ k = 2^2 \cdot C + 2^1 \cdot B + 2^0 \cdot A. \end{cases} \quad (2)$$

Помимо информационных входов A, B, C , дешифраторы обычно имеют дополнительные входы управления G . Сигналы на этих входах, например, разрешают функционирование дешифратора или переводят его в пассивное состояние, при котором (независимо от сигналов на информационных входах) на всех выходах установится уровень логической единицы. Можно сказать, что

существует некоторая функция разрешения, значение которой определяется состояниями управляющих входов.

Разрешающий вход дешифратора может быть прямым или инверсным. У дешифраторов с прямым разрешающим входом активным уровнем является уровень логической единицы, у дешифраторов с инверсным входом – уровень логического нуля. На рис. 2 представлен дешифратор с одним инверсным входом управления. Принцип формирования выходного сигнала в этом дешифраторе с учетом сигнала управления описывается следующим образом:

$$Y_i = \begin{cases} \overline{1 \cdot \overline{G}}, & \text{если } i = k, \\ 1, & \text{если } i \neq k, \\ k = 2^2 \cdot C + 2^1 \cdot B + 2^0 \cdot A. \end{cases} \quad (3)$$

У дешифратора с несколькими входами управления функция разрешения, как правило, представляет собой логическое произведение всех разрешающих сигналов управления. Например, для дешифратора серии 74138 с одним прямым входом управления $G1$ и двумя инверсными $G2A$ и $G2B$ (рис. 3) функции выхода Y_i и разрешения G имеют вид:

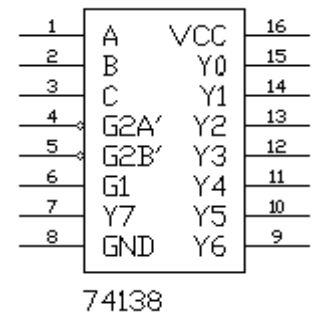


Рис. 3. Дешифратор серии 74138.

$$Y_i = \begin{cases} \overline{1 \cdot \overline{G}}, & \text{если } i = k, \\ 1, & \text{если } i \neq k, \\ k = 2^2 \cdot C + 2^1 \cdot B + 2^0 \cdot A. \end{cases} \quad (4)$$

$$G = G1 \cdot \overline{G2A} \cdot \overline{G2B} \quad (5)$$

Обычно входы управления используются для каскадирования (увеличения разрядности) дешифраторов или при параллельной работе нескольких схем на общие выходные линии.

Дешифратор может быть использован как *демультиплексор* – логический коммутатор, подключающий входной сигнал к одному из выходов. В этом случае функцию информационного входа выполняет один из входов раз-

решения, а состояние входов C , B и A задает номер выхода, на который передается сигнал с входа разрешения.

4. Мультиплексоры

Мультиплексор – комбинационная логическая схема, представляющая собой управляемый переключатель, который подключает к выходу один из входов данных. Номер подключаемого входа равен числу (адресу), определяемому комбинацией логических уровней на адресных входах.

Демультимплексорами называются устройства, которые позволяют подключать один вход к нескольким выходам.

В простейшем случае переключения (коммутацию) можно осуществить при помощи ключей, как это показано на рис. 4.

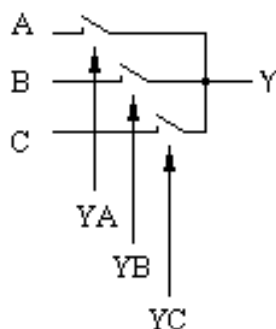


Рис. 4. Мультиплексор на ключах.

В цифровых схемах управление ключами осуществляется при помощи логических сигналов. Сами ключи при этом заменяются соответствующими логическим элементом.

Рассмотрим пример простейшей схемы мультиплексора. Для этого воспользуемся базовым логическим элементом «И» с таблицей истинности 2.

Теперь один из входов элемента будем рассматривать как информационный вход электронного ключа, а другой – как адресный. По таблице истинности отчетливо видно, что пока на адресный вход Y подан логический уровень «0» сигнал с входа X на выход Out не проходит.

Таблица 2.
Таблица истинности элемента «И»

Входы		Выход
X	Y	Out
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

При подаче на адресный вход Y логической «1» сигнал, поступающий на вход X , поступает на выход Out , т.е. логический элемент «И» можно использовать в качестве электронного ключа. При этом неважно, какой из входов элемента будет использоваться в качестве адресного входа, а какой – в качестве информационного. Остается только объединить выходы элементов «И» на один выход. Это делается при помощи элемента «ИЛИ». Условное обозначение такой схемы приведено на рис. 5.

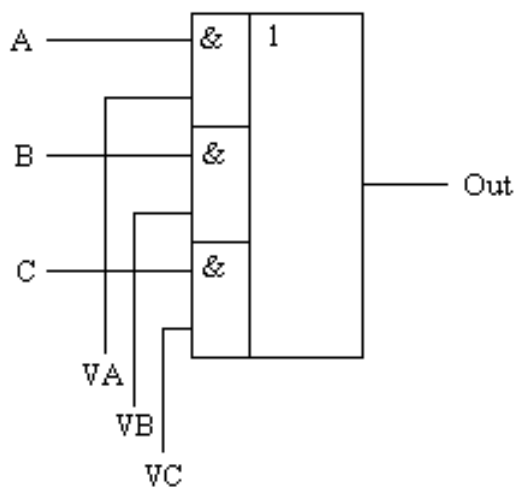


Рис. 5. Принципиальная схема мультиплексора.

Чаще всего для управления требуется много входов, поэтому в схему мультиплексора включают дешифратор. Это позволяет управлять переключением входов микросхемы на выход при помощи двоичных кодов. Пример такой схемы приведен на рис. 6.

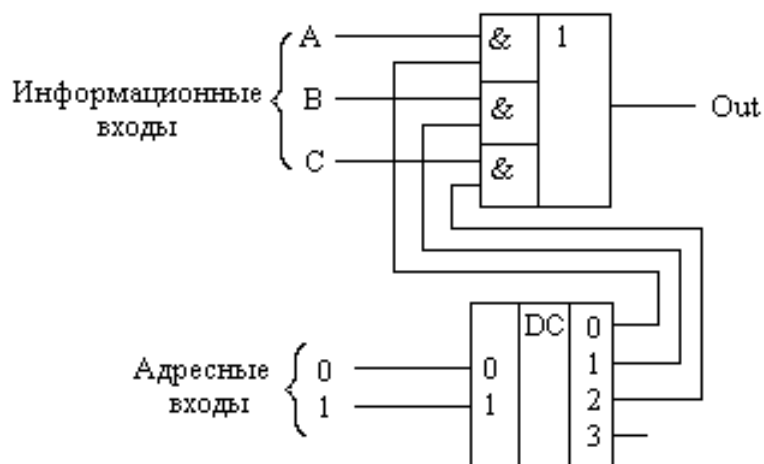


Рис. 6. Мультиплексор, управляемый двоичным кодом.

Для дальнейшего рассмотрения мультиплексоров мы будем как и прежде пользоваться условными обозначениями логических элементов и микросхем, принятых в EWB.

Кроме информационных и адресных входов, схемы мультиплексоров содержат вход разрешения, при подаче на который активного уровня мультиплексор переходит в рабочее состояние. При подаче на вход разрешения пассивного уровня мультиплексор перейдет в нерабочее состояние, в котором сигнал на выходе сохраняет постоянное значение независимо от значений информационных и управляющих сигналов. Число информационных входов у мультиплексоров обычно равно 2, 4, 8 или 16.

На рис. 7 представлен мультиплексор (блок микросхемы, использующийся для моделирования дешифратора в EWB) 8x1 с инверсным входом разрешения G , прямым Y и инверсным W -выходами ($W = \bar{Y}$)

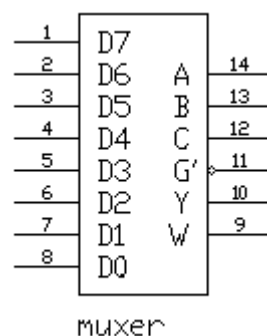


Рис. 7.

Мультиплексор.

5. Реализация логических функций

Функционирование мультиплексора, представленного на рис. 7, описывается характеристическим уравнением, связывающим сигнал на выходе (Y) с

разрешающим (G), входными информационными ($D0...D7$) и адресными (A, B, C) сигналами:

$$Y = \left(\begin{aligned} &\bar{C} \cdot \bar{B} \cdot \bar{A} \cdot D0 + \bar{C} \cdot \bar{B} \cdot A \cdot D1 + \bar{C} \cdot B \cdot \bar{A} \cdot D2 + \bar{C} \cdot B \cdot A \cdot D3 + \\ &+ C \cdot \bar{B} \cdot \bar{A} \cdot D4 + C \cdot \bar{B} \cdot A \cdot D5 + C \cdot B \cdot \bar{A} \cdot D6 + C \cdot B \cdot A \cdot D7 \end{aligned} \right) \cdot \bar{G}. \quad (6)$$

Как видно из уравнения, на мультиплексоре можно реализовать логические функции, для чего нужно определить, какие сигналы и логические константы следует подавать на входы мультиплексора.

Логическая функция n переменных определена для 2^n комбинаций значений переменных. Это позволяет реализовать функцию n переменных на мультиплексоре, имеющем n адресных и 2^n информационных входов. В этом случае каждой комбинации значений аргументов соответствует единственный информационный вход мультиплексора, на который подается значение функции.

Например, требуется реализовать функцию:

$$F_1 = \bar{c} \cdot \bar{b} \cdot \bar{a} \vee c \cdot b \cdot a \vee c \cdot b \cdot \bar{a} \vee \bar{c} \cdot b \cdot a. \quad (7)$$

Эта функция определена только для 8 комбинаций значений переменных, поэтому для ее реализации можно использовать мультиплексор 8x1 с тремя адресными входами. Составим таблицу истинности функции (табл. 3).

Таблица 3.
Таблица истинности логической функции F_1

Вход мультиплексора	Логические переменные			Выход функции
	c	b	a	
N				F ₁
0	0	0	0	1
1	0	0	1	0
2	0	1	0	0
3	0	1	1	1
4	1	0	0	0
5	1	0	1	0
6	1	1	0	1
7	1	1	1	1

Из табл. 3 видно, что для реализации функции на мультиплексоре необходимо подать на информационный вход мультиплексора с номером N сигнал, значение которого равно соответствующему значению функции F_1 , т.е. на входы с номерами 1, 2, 4, 5 следует подать уровень логического нуля, а на остальные – уровень логической единицы. Таким образом, при подаче комбинации логических уровней (a, b, c) на адресные входы мультиплексора к его выходу подключится вход, значение сигнала на котором равно соответствующему значению функции. Схемная реализация приведена на рис. 8.

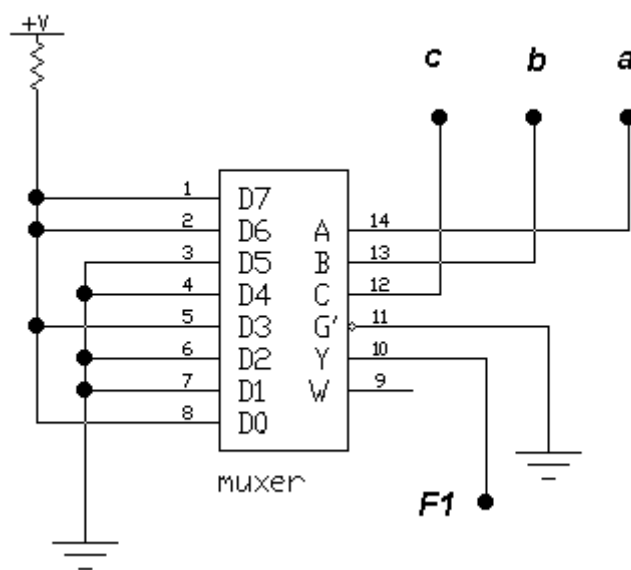


Рис. 8. Реализация логической функции.

При реализации логических функций на информационные входы можно подавать не только константы, но и изменяющиеся входные сигналы. Рассмотрим, например, другой способ реализации функции F_1 , определенной выражением (7). Для этого минимизируем выражение функции с помощью известных логических тождеств (см. лабораторную работу № 1) до вида:

$$F_1 = \bar{c} \cdot \bar{b} \cdot \bar{a} \vee b \cdot c \vee b \cdot a. \quad (8)$$

Составим таблицу истинности функции (8) в зависимости от значений переменных a и b (см. табл. 4).

Для составления таблицы в выражение (8) подставляли комбинации a и b и, пользуясь логическими тождествами (см. лабораторную работу № 1), получали значение функции F_1 . Заданную такой таблицей функцию реализуют, как и

в предыдущем случае, подав на вход с номером N сигнал, значение которого соответствует значению функции F_1 .

Таблица 4.

Таблица истинности упрощенной логической функции F_1

Вход мультиплексора	Логические переменные		Выход функции
N	b	a	F_1
0	0	0	\bar{c}
1	0	1	0
2	1	0	c
3	1	1	1

В данном случае сигналы c и \bar{c} , соответствующие переменной c , подаются на информационные входы, как указано в таблице истинности. При этом сокращается число управляющих входов.

Схемная реализация такого способа задания функции приведена на рис. 9.

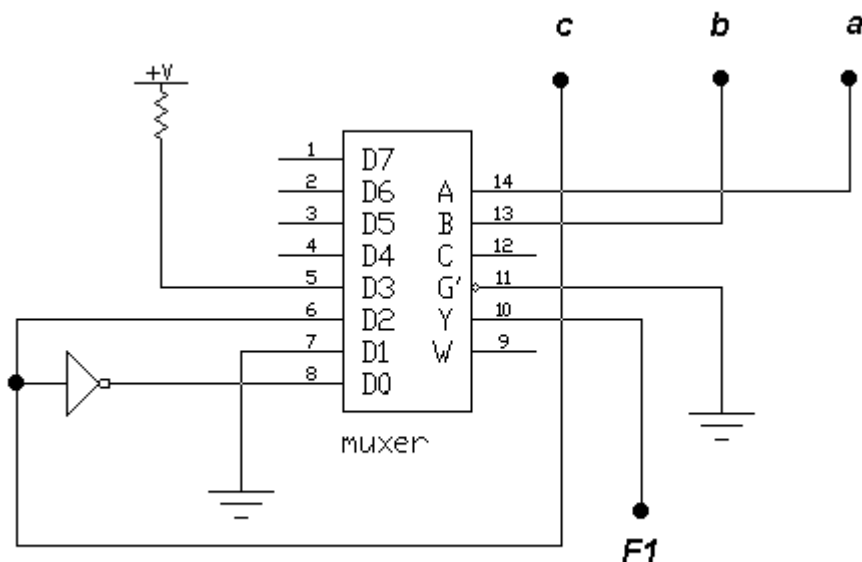


Рис. 9. Реализация упрощенной логической функции.

Так как используются только два адресных входа, вход C остается неподключенным. При этом состояние информационных входов $D4...D7$ без-

различно. Схема рис. 9 по существу представляет собой мультиплексор 4x1 с 2 адресными и 4 информационными входами.

Если функцию можно представить в виде произведения одночлена на многочлен, то ее также можно реализовать при помощи мультиплексора. Как следует из уравнения мультиплексора, сигнал, соответствующий одночлену, нужно подать на вход разрешения. Например, требуется реализовать функцию F_2 , описываемую следующим выражением:

$$F_2 = \bar{x} \cdot (d \cdot c \cdot \bar{b} \vee d \cdot \bar{b} \cdot a \vee e \cdot \bar{c} \cdot b \cdot a \vee c \cdot b \cdot a). \quad (9)$$

При реализации данной функции на мультиплексоре сигнал, соответствующий переменной x , следует подать на его разрешающий вход. Рассмотрим, какие сигналы необходимо подать на управляющие входы мультиплексора. Выражение в скобках можно рассматривать как некоторую функцию f пяти переменных: a, b, c, d, e , из которых наиболее часто используются переменные a, b и c . Поэтому сигналы, соответствующие этим переменным, нужно подать на адресные входы мультиплексора.

Определим, какие сигналы следует подать на информационные входы, чтобы реализовать функцию f . Для этого составим таблицу истинности функции в зависимости от значений переменных a, b и c (табл. 5).

Таблица 5.
Таблица истинности логической функции F_2

Вход мультиплексора	Логические переменные			Выход функции
	c	b	a	
N				f
0	0	0	0	0
1	0	0	1	d
2	0	1	0	0
3	0	1	1	e
4	1	0	0	d
5	1	0	1	d
6	1	1	0	0
7	1	1	1	1

Из табл. 5 видно, что на информационные входы с номерами $N = 0, 2, 6$ нужно подать уровень логического нуля. Сигнал, соответствующий переменной d , нужно подать на входы с номерами $N = 1, 4, 5$, сигнал, соответствующий переменной e , – на вход с номером 3. Схемная реализация такого способа задания функции приведена на рис. 10.

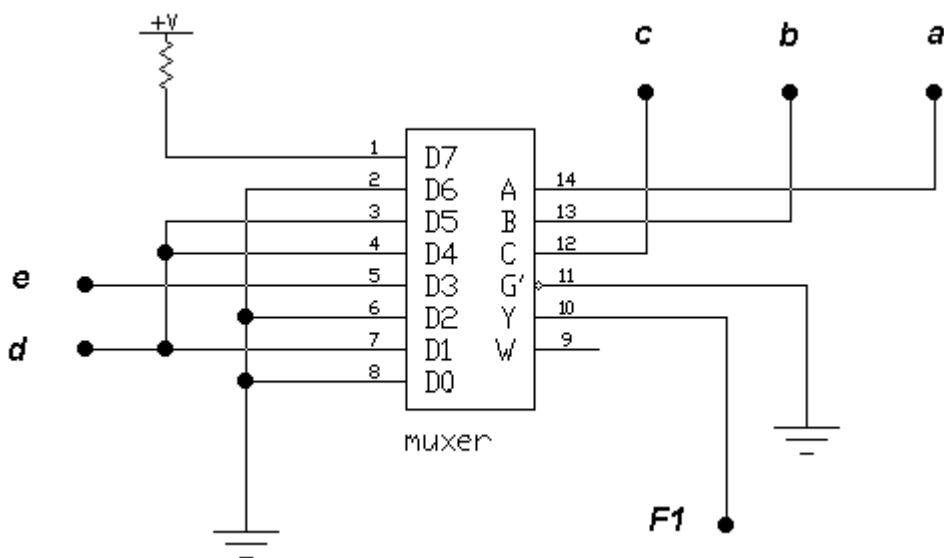


Рис. 10. Реализация логической функции F_2 .

Порядок работы

Задание 1. Исследование работы шифратора

Создайте схему, изображенную на рис. 11. Над генератором слов написаны цифры от 0 до 7 – они обозначают номера входов шифратора, на которые соответственно подаются сигналы управления. Сам шифратор составлен из трех элементов «ИЛИ». Выходы шифратора обозначаются как A, B, C , где A – старший бит, B – средний бит, а C – младший бит двоичного числа, получаемого на выходе. (Это число показывает, на какой из входов подан логический сигнал).

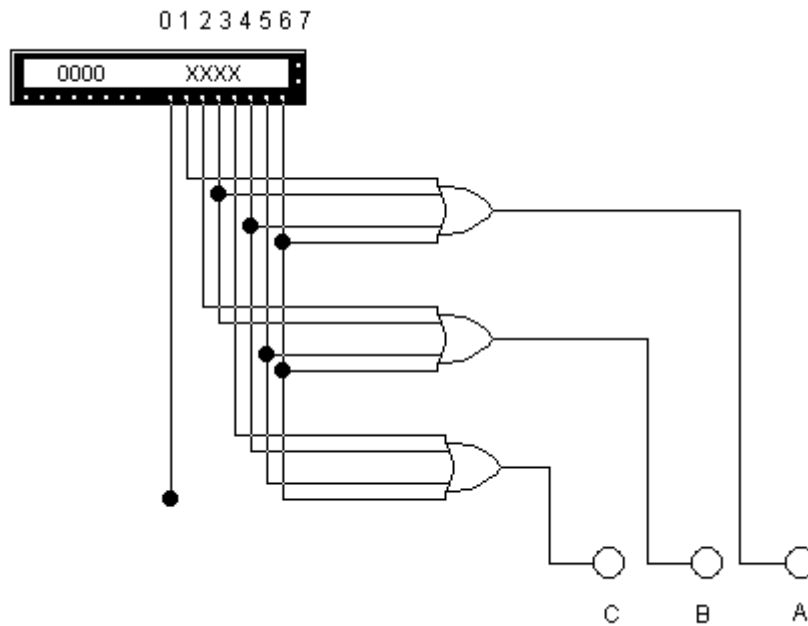


Рис. 11. Схема шифратора.

Запрограммируйте генератор слов так, чтобы на его выходах сформировалась двоичная последовательность, эмулирующая поочередную подачу на вход шифратора сигнала логической единицы. Пошагово изменяя значения входов дешифратора (кнопкой «Step» в генераторе слов), заполните таблицу истинности шифратора (табл. 6).

Таблица 6.
Таблица истинности шифратора

Входы шифратора								Выходы шифратора			
								Двоичное число			Десятичное число
0	1	2	3	4	5	6	7	С	В	А	
0	0	0	0	0	0	0	0				
0	1	0	0	0	0	0	0				
0	0	1	0	0	0	0	0				
0	0	0	1	0	0	0	0				
0	0	0	0	1	0	0	0				
0	0	0	0	0	1	0	0				
0	0	0	0	0	0	1	0				
0	0	0	0	0	0	0	1				

Переведите полученное двоичное число, составленное из разрядов *С В А*, в десятичное. Сделайте вывод о работе шифратора.

Задание 2. Исследование работы дешифраторов

2.1. Исследование развернутой схемы дешифратора.

Создайте схему изображенную на рис. 12.

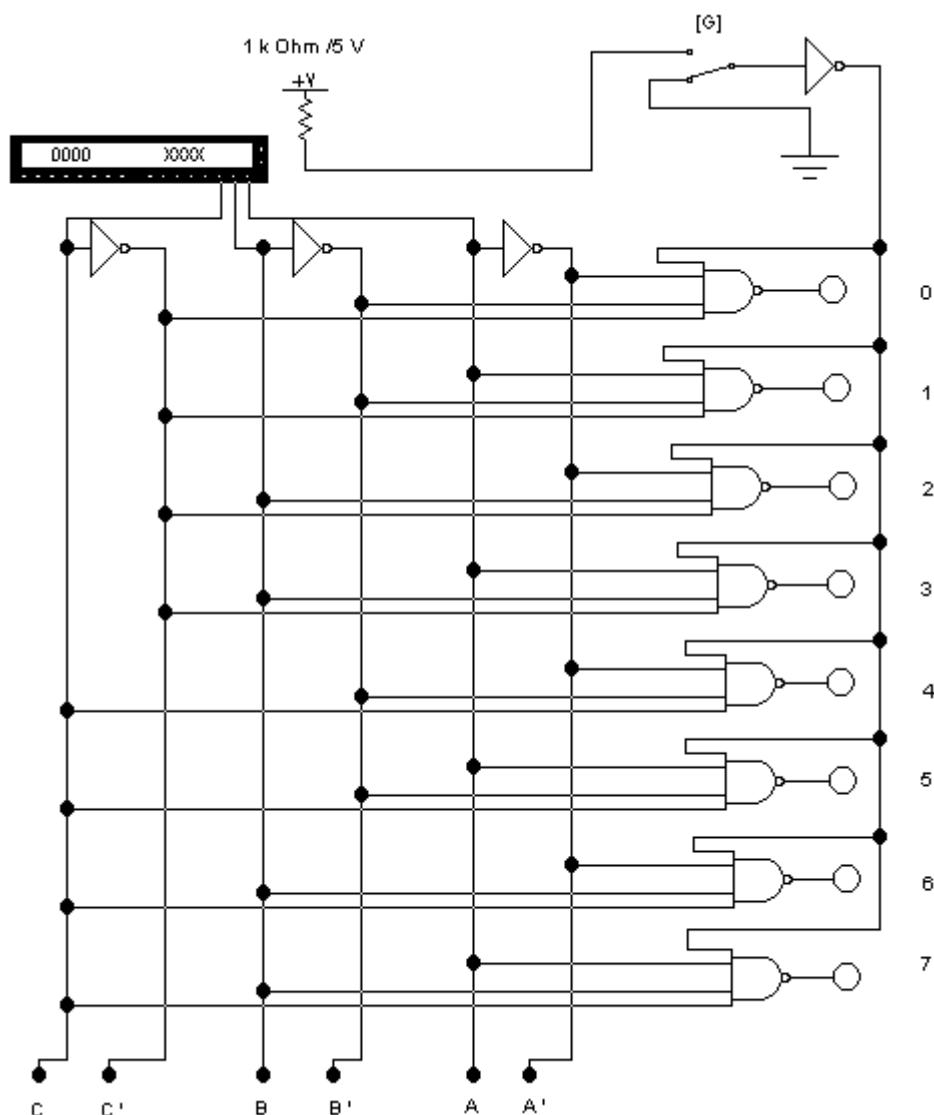


Рис. 12. Развернутая схема дешифратора.

Здесь представлен дешифратор 3*8 (3 входа, 8 выходов). Он составлен из элементов «И-НЕ». C , B , A – входы дешифратора, 0, 1, ..., 7 – выходы, G – вход разрешения.

Запрограммируйте генератор слов так, чтобы на его выходе сформировать все возможные комбинации трехразрядного двоичного числа. Подавая на вход дешифратора различные комбинации двоичного числа C , B , A (кнопкой «Step» в генераторе слов) и разрешения G (ключом G), заполните таблицу истинности дешифратора (табл. 7).

Таблица 7.

Таблица истинности развернутой схемы дешифратора

Входы дешифратора					Выходы дешифратора							
Число	С	В	А	G	0	1	2	3	4	5	6	7
0	0	0	0	0								
1	0	0	1	0								
2	0	1	0	0								
3	0	1	1	0								
4	1	0	0	0								
5	1	0	1	0								
6	1	1	0	0								
7	1	1	1	0								
0	0	0	0	1								
1	0	0	1	1								
2	0	1	0	1								
3	0	1	1	1								
4	1	0	0	1								
5	1	0	1	1								
6	1	1	0	1								
7	1	1	1	1								

Сделайте вывод о работе дешифратора.

2.2. Исследование работы схемы дешифратора 3*8 в основном режиме.

Создайте схему, изображенную на рис. 13.

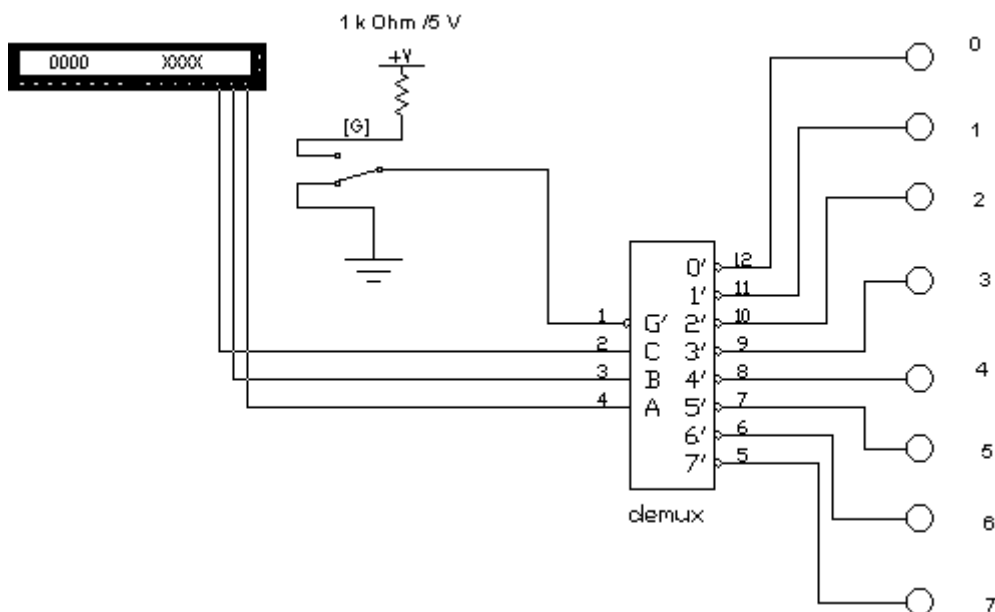


Рис. 13. Схема дешифратора.

Запрограммируйте генератор слов аналогично предыдущему пункту.

Подавая на вход дешифратора различные комбинации двоичного числа С, В, А

(кнопкой «Step» в генераторе слов) и разрешения G (ключом G), заполните таблицу истинности дешифратора (данная таблица составляется аналогично табл. 7).

Сделайте вывод о работе дешифратора. Сравните полученную в данном пункте таблицу с табл. 7.

2.3. Исследование работы схемы дешифратора 3×8 в режиме 2×4 .

Создайте схему, изображенную на рис. 14.

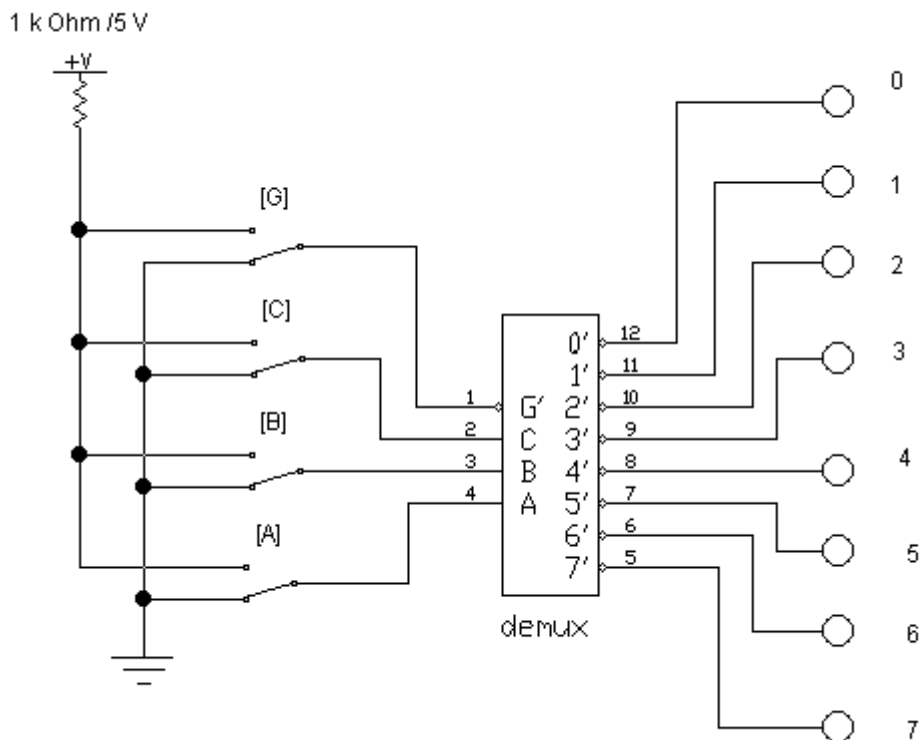


Рис. 14. Дешифратор в режиме 2×4 .

В этой схеме подключите вход C к общему проводу (земле), задав $C=0$. Изменяя сигналы на входах B и A , наблюдайте уровни сигналов на выходах схемы (с помощью логических пробников, установленных на выходах). Укажите выходы, на которых уровень сигнала не меняется.

Подключите вход C к источнику питания (логической единице), задав $C=1$. Аналогично изменяя сигналы на входах B и A , наблюдайте уровни сигналов на выходах схемы (с помощью логических пробников, установленных на выходах). Укажите выходы, на которых уровень сигнала не меняется.

Заземлите вход B ($B=0$), подавая на входы A и C все возможные комбинации логических уровней, сделайте вывод о работе схемы в этом случае.

Сформулируйте принцип, по которому можно использовать дешифраторы на меньшую разрешающую способность, чем та, на которую он рассчитан.

Задание 3. Применение дешифраторов

Применение дешифраторов в цифровой технике весьма различно. Наиболее часто они используются как формирующие элементы, – например, в схемах различных микроконтроллеров для формирования сигнала выбора определенной микросхемы. В таком случае на входы дешифратора подаются сигналы с шины адреса микропроцессора. При этом каждому участку адресного пространства ставится в соответствие определенное назначение (например, для ОЗУ выделяется первых 1024 байт, для ПЗУ – следующие 2048 байт и т.д.). Дешифратор в таком случае помогает сформировать сигнал управления (выбора микросхемы), так как согласно его таблице истинности на каждом выходе активный уровень формируется лишь однажды, при вполне определенной комбинации входных сигналов. Таким образом, не составляет особого труда сначала составить карту памяти (подробная запись всего содержимого адресного пространства, с записью начального и конечного адреса каждого блока), а затем по ней выделить те разряды адреса, которые однозначно определяют обращение к тому или иному блоку адресного пространства. Именно эти разряды и будут входами для дешифраторов. Выход каждого дешифратора соединен с входом разрешения работы той микросхемы, которая в данном случае необходима.

В задании внимание в основном будет акцентировано на другом способе применения дешифраторов, который в общем является базовым и для всех других. Это использование дешифратора в совокупности с логическими элементами.

Помимо того, будет введено понятие временной диаграммы, которая также очень часто используется в технике для иллюстрации работы цифровых устройств.

Временная диаграмма в общем случае представляет собой график, по оси абсцисс которого откладывается время в тактах, а по оси ординат – необходимая цифровая величина (вход или выход цифровой схемы), принимающая значения «0» или «1». Необходимо отметить, что чаще всего осей ординат несколько и они располагаются друг под другом. Собственно говоря, именно в этом и состоит основное преимущество применения временных диаграмм, работа цифрового устройства наглядно представляется во времени. Простейший пример временной диаграммы приведен на рис. 15.

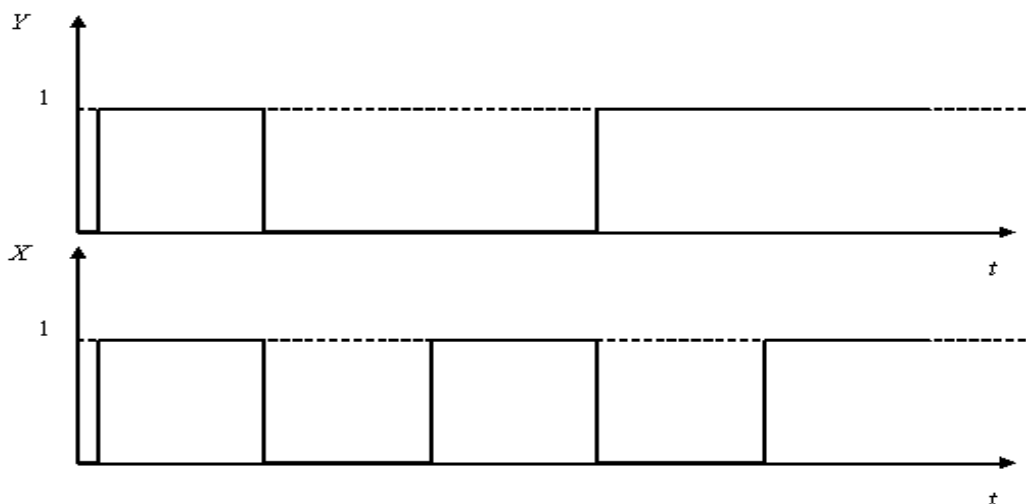


Рис. 15. Временная диаграмма.

По таблице истинности логической функции можно без труда построить временную диаграмму. В *EWB*, кроме инструментов автоматического построения таблицы истинности, присутствуют инструменты и для построения временных диаграмм. Его можно осуществить с помощью «Logic Analyzer». Общий вид окна свойств данного инструмента приведен на рис. 16 (окно свойств вызывается двойным щелчком по изображению).

Построение временных диаграмм начинается автоматически при включении всей схемы. В меню «Clock per division» можно задавать масштаб просмотра по оси абсцисс (в данном случае времени). В области «Clock» кнопкой

«Set» можно изменить установки внутреннего генератора времени (ось абсцисс), в частности задать частоту анализа («Internal clock rate»). В области «Trigger» можно изменить установки триггера (ось ординат).

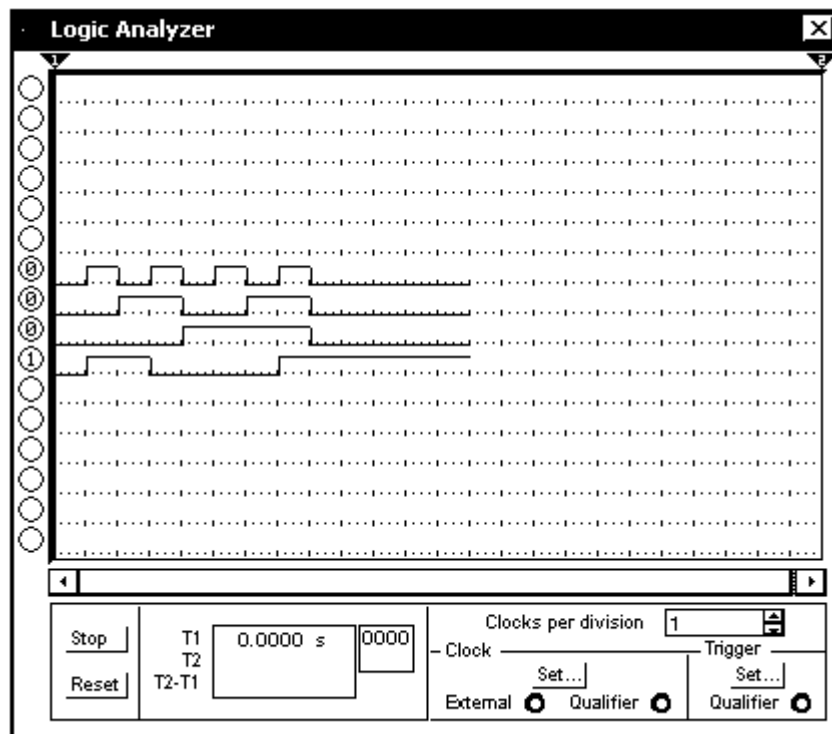


Рис. 16. Окно свойств логического анализатора.

Соберите схему, изображенную на рис. 17.

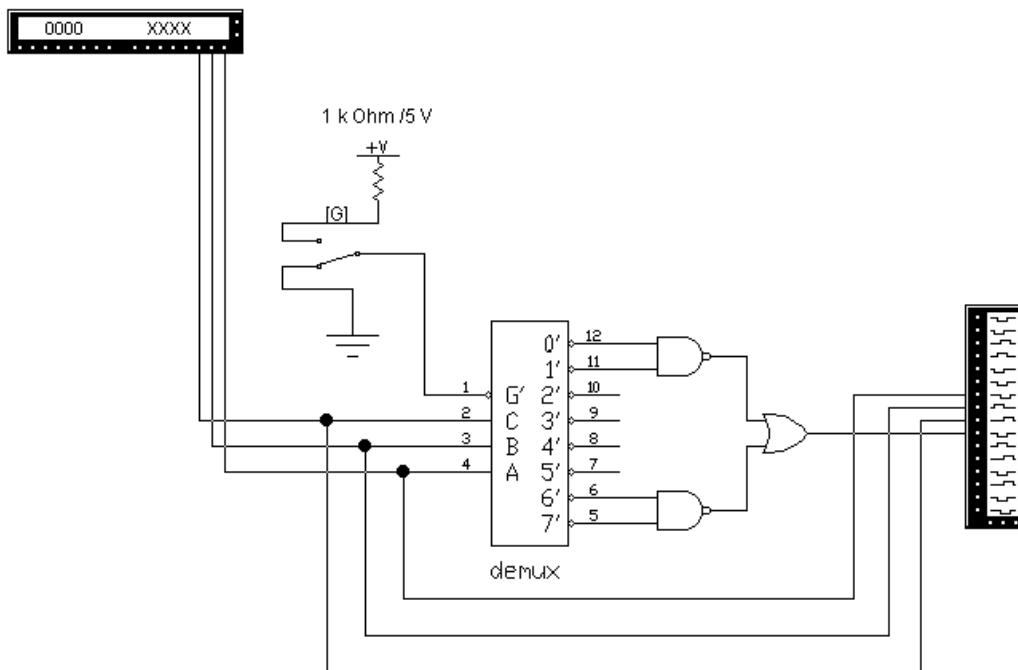


Рис. 17. Дешифратор с логическими элементами.

Запрограммируйте генератор слов так, чтобы на его выходе сформировать все возможные комбинации трехразрядного двоичного числа.

Установите ключ G в разрешающее положение. Подавая на вход дешифратора различные комбинации двоичного числа C, B, A (кнопкой «Step» в генераторе слов), постройте временную диаграмму работы дешифратора с логическими элементами на выходе. Оси диаграммы выберите согласно рис. 18.



Рис. 18. Временная диаграмма.

Получите логическую функцию данного цифрового устройства. Для этого удобнее предварительно построить таблицу истинности, а по ней, аналогично пунктам, изложенным выше, построить саму логическую функцию.

Задание 4. Исследование работы мультиплексора

4.1. Исследование развернутой схемы мультиплексора.

Создайте схему, изображенную на рис. 19.

Здесь приняты следующие условные обозначения: G – сигнал разрешения; $d0, d1$ – информационные входы; A – адресный вход.

Исследуйте поведение схемы мультиплексора, задавая различные сочетания логических уровней на входе схемы, заполнив при этом таблицу истинности, приведенную ниже (табл. 8).

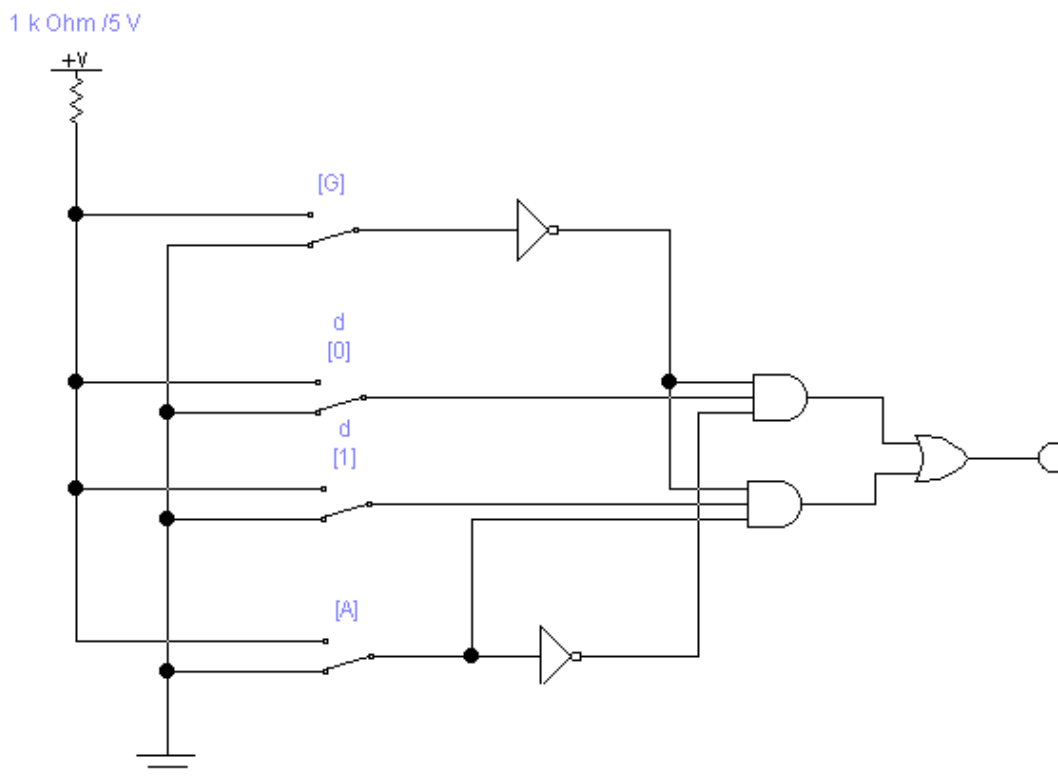


Рис. 19. Развернутая схема мультиплексора.

Таблица 8.
Развернутая схема мультиплексора

Входы		Адрес А	Выход Q
d0	d1		
0	0	0	
0	1		
1	0		
1	1		
0	0	1	
0	1		
1	0		
1	1		

4.2. Исследование работы схемы мультиплексора 3*8 в основном режиме.

Соберите схему, представленную на рис. 20.

Запрограммируйте генератор слов так, чтобы на адресные входы мультиплексора (C, B, A) подавались все возможные комбинации логических уровней.

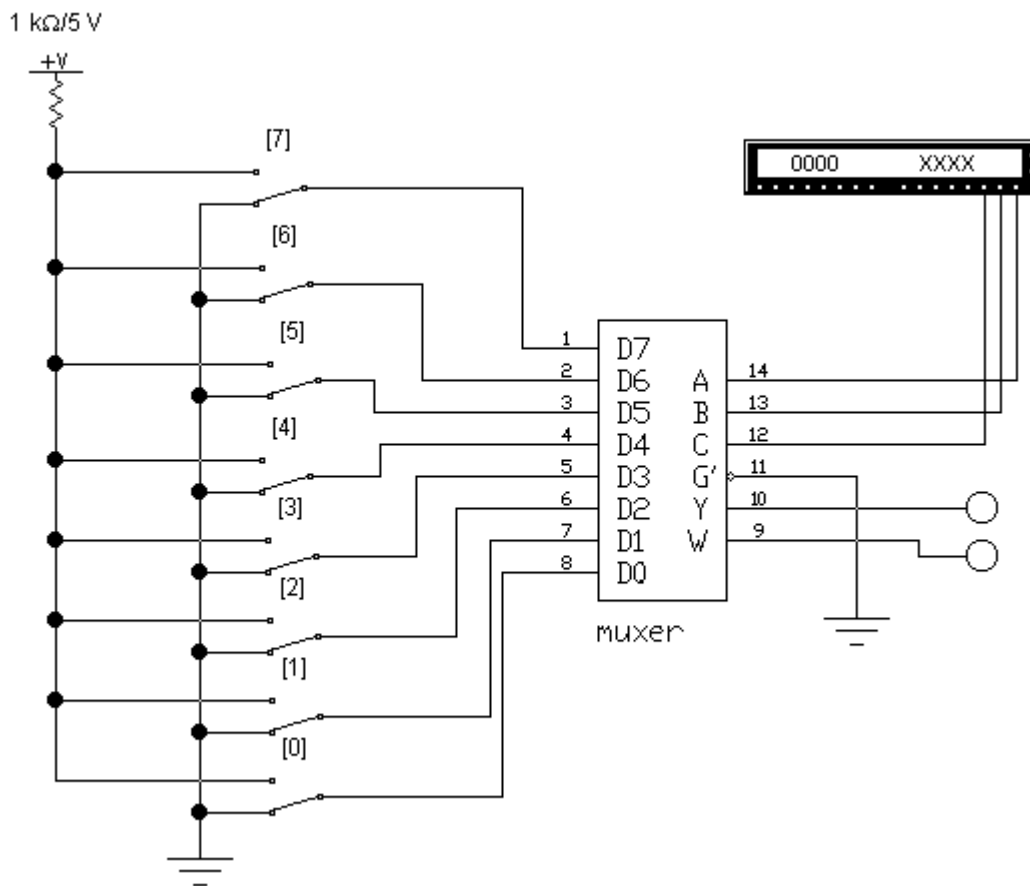


Рис. 20. Схема мультиплексора 3*8.

Подавая на адресный вход мультиплексора различные комбинации адреса C, B, A (кнопкой «Step» в генераторе слов), заполните таблицу истинности мультиплексора (табл. 9).

Таблица 9.
Таблица истинности мультиплексора

Входы								Выход				
D0	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	C	B	A	Y	W
								0	0	0		
								0	0	1		
								0	1	0		
								0	1	1		
								1	0	0		
								1	0	1		
								1	1	0		
								1	1	1		

При этом комбинации соответствующих сигналов на входе $D0, D1, \dots, D7$ выбираются в соответствии с вариантом, заданным табл. 10.

По табл. 9 проследите правильность работы мультиплексора.

Таблица 10.
Варианты для входов данных табл. 9

Входы								Вариант
D0	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	
0	1	0	1	0	1	0	1	1
0	0	1	1	0	0	1	1	2
1	1	1	0	0	0	1	1	3
1	1	1	1	0	0	0	0	4
1	0	0	0	1	0	0	1	5
0	0	0	0	1	1	1	1	6
1	1	0	0	0	0	1	1	7
0	0	0	0	0	1	1	1	8
1	0	1	1	0	1	0	1	9
1	0	0	0	1	0	1	0	10

Задание 5. Реализация логической функции с помощью мультиплексора

По заданной таблице истинности (табл. 11) реализуйте логическую функцию с помощью мультиплексора. Выбор значений выхода логической функции производится согласно вашему варианту. Реализация логической функции может быть осуществлена с помощью стандартного мультиплексора.

Таблица 11.
Варианты таблицы истинности

Значения логических переменных (для всех вариантов)			Варианты задания									
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A	B	D	Значения логической функции (для каждого варианта)									
0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	1
0	0	1	1	0	1	1	1	0	0	0	1	1
0	1	0	1	0	1	1	0	0	0	1	0	1
0	1	1	0	0	1	1	0	0	0	1	0	1
1	0	0	1	1	0	1	0	1	1	1	1	1
1	0	1	1	1	0	0	1	1	0	1	1	1
1	1	0	1	0	1	1	0	1	0	0	1	0
1	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1

Создайте схему с вашим вариантом реализации логической функции в EWB, занесите полученную схему в отчет. С помощью логического анализа-

тора постройте временные диаграммы работы вашей логической функции. По ним проверьте правильность функционирования схемы.

Контрольные вопросы

1. Дайте определение шифратору, дешифратору.
2. Чем отличается схема шифратора от схемы дешифратора?
3. Как в простейшем случае реализовать на дешифраторе демультиплексор? Постройте полученную схему в случае использования дешифратора 3×8 .
4. Как влияет сигнал управления на работу логической схемы?
5. Как из двух дешифраторов 2×4 сделать один 3×8 ?
6. Как изменить расширенную схему дешифратора (рис. 12), чтобы активным уровнем выходного сигнала данной схемы была «1»?
7. Дайте определение мультиплексору.
8. Приведите примеры применения мультиплексоров.
9. Как на мультиплексоре можно реализовать логическую функцию?
10. Любую ли логическую функцию можно реализовать на мультиплексоре?
11. Дайте определение временной диаграммы.
12. Можно ли по произвольной временной диаграмме составить таблицу истинности?
13. Можно ли по таблице истинности составить временную диаграмму?
14. В каком виде записывается логическая функция мультиплексора?

Упражнения

1. Применение дешифраторов

Сформируйте сигнал выбора определенной микросхемы памяти в микроконтроллере с использованием стандартных дешифраторов.

Микропроцессор, входящий в состав микроконтроллера, имеет 8-

разрядную шину адреса, т.е. может работать с объемом памяти $2^8=256$ байт (разряды нумеруются $A0 - A7$, начиная с младшего). По каждому адресу хранится информация, объем которой определяется разрядностью шины данных микропроцессора и в данном упражнении не важен. В общем случае вся память делится на определенные блоки по характеру их использования (например, для ОЗУ, ПЗУ, портов ввода/вывода). Каждый блок памяти имеет начальный и конечный адрес.

Необходимо внутри объема всей доступной памяти сформировать блок, начальный и конечный адреса которого приведены в табл. 12. Данный блок будет использоваться для адресации ОЗУ.

Таблица 12.
Варианты карты памяти для блока ОЗУ

Вариант	Адреса															
	начальный								конечный							
	A7	A6	A5	A4	A3	A2	A1	A0	A7	A6	A5	A4	A3	A2	A1	A0
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
2	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1
3	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1	1
4	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
5	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	1	1
6	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1	1	1
7	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	1	1	1
8	0	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1
9	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	1	1
10	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	1	1	1	1

Для выполнения задания необходимо проделать следующее:

проанализировать все адреса, входящие в ваш блок, выделить те разряды шины адреса, значения которых одинаковы для всех адресов вашего блока;

из всех полученных комбинаций выбрать достаточное количество разрядов шины адреса, которые однозначно определяют обращение именно к вашей

му блоку памяти и не повторяются во всем другом объеме доступной памяти;

полученные разряды шины адреса и будут входами дешифратора, а его выход и есть искомый сигнал выбора определенной микросхемы.

После выполнения вышеуказанных процедур необходимо выбрать подходящий дешифратор и занести полученную схему в отчет, отметив номера используемых разрядов шины адреса.

2. Применение мультиплексоров

По заданной логической функции (табл. 13) постройте схему с использованием мультиплексора.

Таблица 13.
Варианты логических функций

Вариант	Логическая функция
1	$\bar{C} \cdot B \cdot \bar{A} + \bar{C} \cdot B \cdot A + C \cdot \bar{B} \cdot \bar{A} + C \cdot \bar{B} \cdot A + C \cdot B \cdot \bar{A} + C \cdot B \cdot A$
2	$\bar{C} \cdot \bar{B} \cdot A + \bar{C} \cdot B \cdot \bar{A} + \bar{C} \cdot B \cdot A + C \cdot B \cdot \bar{A} + C \cdot B \cdot A$
3	$\bar{C} \cdot \bar{B} \cdot \bar{A} + \bar{C} \cdot \bar{B} \cdot A + C \cdot \bar{B} \cdot \bar{A} + C \cdot \bar{B} \cdot A + C \cdot B \cdot \bar{A} + C \cdot B \cdot A$
4	$\bar{C} \cdot \bar{B} \cdot \bar{A} + \bar{C} \cdot \bar{B} \cdot A + C \cdot \bar{B} \cdot \bar{A} + C \cdot B \cdot \bar{A} + C \cdot B \cdot A$
5	$\bar{C} \cdot \bar{B} \cdot \bar{A} + \bar{C} \cdot \bar{B} \cdot A + \bar{C} \cdot B \cdot \bar{A} + \bar{C} \cdot B \cdot A + C \cdot B \cdot \bar{A} + C \cdot B \cdot A$
6	$\bar{C} \cdot \bar{B} \cdot \bar{A} + \bar{C} \cdot \bar{B} \cdot A + \bar{C} \cdot B \cdot \bar{A} + C \cdot \bar{B} \cdot \bar{A} + C \cdot B \cdot \bar{A}$
7	$\bar{C} \cdot \bar{B} \cdot \bar{A} + \bar{C} \cdot \bar{B} \cdot A + \bar{C} \cdot B \cdot \bar{A} + \bar{C} \cdot B \cdot A + C \cdot \bar{B} \cdot \bar{A} + C \cdot \bar{B} \cdot A$
8	$\bar{C} \cdot \bar{B} \cdot \bar{A} + \bar{C} \cdot B \cdot \bar{A} + C \cdot \bar{B} \cdot \bar{A} + C \cdot B \cdot \bar{A} + C \cdot B \cdot A$
9	$\bar{C} \cdot \bar{B} \cdot \bar{A} + \bar{C} \cdot B \cdot \bar{A} + C \cdot \bar{B} \cdot \bar{A} + C \cdot \bar{B} \cdot A + C \cdot B \cdot \bar{A} + C \cdot B \cdot A$
10	$\bar{C} \cdot \bar{B} \cdot A + \bar{C} \cdot B \cdot \bar{A} + C \cdot \bar{B} \cdot \bar{A} + C \cdot \bar{B} \cdot A + C \cdot B \cdot \bar{A}$

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3

ИЗУЧЕНИЕ РАБОТЫ ТРИГГЕРОВ

Цель работы.

1. Изучение структуры и исследование работы асинхронных и синхронных триггеров.
2. Исследование функций переходов и возбуждения основных типов триггеров.
3. Изучение взаимозаменяемости триггеров различных типов.

Приборы и элементы.

Логические пробники (панель «Indicators/Red probe»).

Источник напряжения + 5 В (панель «Basic/Pull-Up Resistor»).

Земля (панель «Sources/Ground»).

Двухвходовые элементы И, И-НЕ, ИЛИ, ИЛИ-НЕ (панель «Logic Gates/2-Input AND, NAND, OR, NOR Gates»).

Двухпозиционные переключатели (панель «Basic/Switch»).

Базовые триггеры RS, JK, D (панель «Digital/»).

Схемы различных серий (панель «Digital/MUX,DEC»).

Краткие теоретические сведения

Последовательные цифровые устройства часто называют последовательными схемами, последовательными автоматами, дискретными автоматами с памятью, многотактными автоматами. Простейшим примером устройств данного типа являются триггеры.

Триггеры

Триггер – простейшая цифровая схема последовательного типа. У рассмотренных в предыдущих работах комбинационных схем состояние выхода Y в любой момент времени определяется только текущим состоянием входа X . В отличие от них состояние выхода последовательной схемы (цифрового автомата) зависит еще и от внутреннего состояния схемы Q .

Таким образом, цифровой автомат является не только преобразователем, но и хранителем предшествующей и источником текущей информации (состояния). Данное свойство обеспечивается наличием в схемах обратных связей.

Триггер имеет два устойчивых состояния: $Q=1$ и $Q=0$, поэтому его иногда называют бистабильной схемой. В каком из этих состояний окажется триггер, зависит от сигналов на информационном входе триггера и от его предыдущего состояния, т.е. он имеет память. Можно сказать, что триггер является элементарной ячейкой памяти.

Тип триггера определяется алгоритмом его работы. В зависимости от алгоритма триггер может иметь установочные, информационные и управляющие входы. Установочные входы служат для перевода триггера в одно из определенных состояний, независимо от состояния других входов. Входы управления разрешают запись данных, подающихся на информационные входы. Наиболее распространенными являются триггеры RS , JK , D и T типов.

1. Триггер типа RS

RS -триггер – простейший автомат с памятью, который может находиться в двух состояниях. Триггер имеет два информационных входа: установки S (*set* – установка) и сброса R (*reset* – сброс), на которые подаются входные сигналы от внешних источников. При подаче на вход установки активного логического уровня триггер устанавливается в «1» ($Q=1, \bar{Q}=0$), при подаче активного уровня на вход сброса – в «0» ($Q=0, \bar{Q}=1$). Если подать на оба входа установки (возбуждения) пассивный уровень, то триггер будет сохранять предыдущее состояние выходов: $Q=0$ ($\bar{Q}=1$) либо $Q=1$ ($\bar{Q}=0$). Каждое такое состояние устойчиво и поддерживается за счет действия обратных связей.

Для триггеров этого типа недопустима одновременная подача активного уровня на оба входа установки и сброса, поскольку триггер по определению не может одновременно быть установлен в ноль и единицу. На практике подача активного уровня на оба установочных входа приводит к тому, что это состоя-

ние не может быть сохранено и невозможно определить, в каком состоянии будет находиться триггер при последующей подаче на установочные входы сигналов пассивного уровня.

На рис. 1 и 2 показаны два вида *RS-триггера*, выполненных на элементах «ИЛИ-НЕ» и «И-НЕ».



Рис. 1. *RS-триггер* на элементах «ИЛИ-НЕ».



Рис. 2. *RS-триггер* на элементах «И-НЕ» (\overline{RS} -триггер).

Для схемы на рис. 1 активным уровнем является уровень логической единицы, для схемы на рис. 2 – уровень логического нуля. Схема на рис. 2 получила название *RS-триггера* с инверсными входами, или просто – \overline{RS} -триггер.

RS-триггер является основным узлом для построения последовательных схем. Напомним: название схем такого типа «последовательные» означает, то что состояние выхода зависит от того, в какой последовательности на входы подаются сигналы и каково было предшествующее внутреннее состояние. Так, если в *RS-триггере* (рис. 1) сначала установить комбинацию $R=0, S=1$, а потом перейти к $R=0, S=0$, то состояние выхода будет $Q=1$. Если же сначала установить комбинацию $R=1, S=0$, а потом перейти к $R=0, S=0$, то состояние выхода

будет другим – $Q=0$. Таким образом, при одном и том же входном наборе $R=0$, $S=0$ выход триггера может находиться в разных состояниях.

Условия переходов триггеров из одного состояния в другое (алгоритм работы) можно описать табличным, аналитическим или графическим способами. Табличное описание работы *RS-триггера* (рис. 1) представлено в табл. 1 (таблица переходов и таблица функций возбуждения).

Таблица 1.
Таблица переходов и функций возбуждения RS-триггера

Таблица переходов			Таблица функций возбуждений			
R	S	Q_{t+1}	Q_t	Q_{t+1}	R	S
0	0	Q_t	0	0	-	0
0	1	1	0	1	0	1
1	0	0	1	0	1	0
1	1	x	1	1	0	-

В таблице использованы следующие обозначения: « Q_t » – предшествующее состояние выхода; « Q_{t+1} » – новое состояние, устанавливающееся после перехода (возможно $Q_{t+1} = Q_t$); «-» – безразличное значение сигнала: «0» или «1»; «x» – запрещенное состояние.

Аналитическое описание (характеристическое уравнение) можно получить из табл. 1 по правилам алгебры логики

$$Q_{t+1} = \bar{R}S + \bar{R}Q_t = \bar{R}(S + Q_t). \quad (1)$$

Зависимость Q_{t+1} от Q_t характеризует свойство запоминания предшествующего состояния.

Табл. 1 показывает, что схема, которая находилась в состоянии $Q=0$, сохраняет это состояние как при воздействии входного набора $R=0$, $S=0$, так и при воздействии $R=1$, $S=0$. Если же на вход схемы, находящейся в состоянии $Q=0$, подействовать набором $R=0$, $S=1$, то она переходит в состояние $Q=1$ и сохраняет его при входных наборах $R=0$, $S=1$ либо $R=0$, $S=0$.

Таблицы переходов и функций возбуждения легче запомнить, держа в уме следующее (для *RS-триггера*): вход S – вход установки, т.е. при подаче на него логической единицы триггер должен перейти в активное состояние; уста-

новить триггер в ноль можно только подав сигнал сброса R ; запрещенным является сигнал одновременного сброса и установки $R=1, S=1$; сигнал $R=0, S=0$ – сохраняет предыдущее состояние.

Схема триггера позволяет запоминать состояние логической схемы, но так как в начальный момент времени может возникать переходный процесс (в цифровых схемах этот процесс называется «опасные гонки»), то запоминать состояния логической схемы нужно только в определенные моменты времени, когда все переходные процессы закончены. Таким образом, цифровые схемы требуют синхросигнала. Схемы с сигналом управления (синхронизации) представлены ниже. Необходимо отметить также, что существуют схемы и синхронных *RS-триггеров*.

2. *JK-триггер*

Триггер *JK-типа* имеет более сложную по сравнению с *RS-триггером* структуру и более широкие функциональные возможности. Помимо информационных входов J и K , прямого и инверсного выходов Q и \bar{Q} , *JK-триггер* имеет вход синхронизации C (его также называют управляющим, тактирующим, счетным), а также асинхронные установочные R и S входы (такими же входами могут снабжаться и обычные *RS-триггеры*). Обычно активными уровнями установочных сигналов являются нули, как в схеме \overline{RS} -триггера, изображенной на рис. 2. Установочные входы имеют приоритет над остальными. Активный уровень сигнала на входе S устанавливает триггер в состояние $Q=1$, а активный уровень сигнала на входе R – в состояние $Q=0$, независимо от сигналов на остальных входах.

Если на входы установки одновременно подать пассивный уровень сигнала, то состояние триггера будет изменяться по фронту импульса на счетном входе в зависимости от состояния входов J и K , как показано в табл. 2.

Один из вариантов функциональной схемы *JK-триггера* с входами установки логическим нулем и его условное графическое обозначение приведены на рис. 3; временные диаграммы его работы при $\bar{R} = \bar{S} = 1$ – на рис. 4.

Таблица 2.
Таблица переходов и возбуждения JK-триггера

Таблица переходов			Таблица функций возбуждений			
J	K	Q_{t+1}	Q_t	Q_{t+1}	K	J
0	0	Q_t	0	0	-	0
0	1	0	0	1	0	1
1	0	1	1	0	1	0
1	1	Q'_t	1	1	0	-

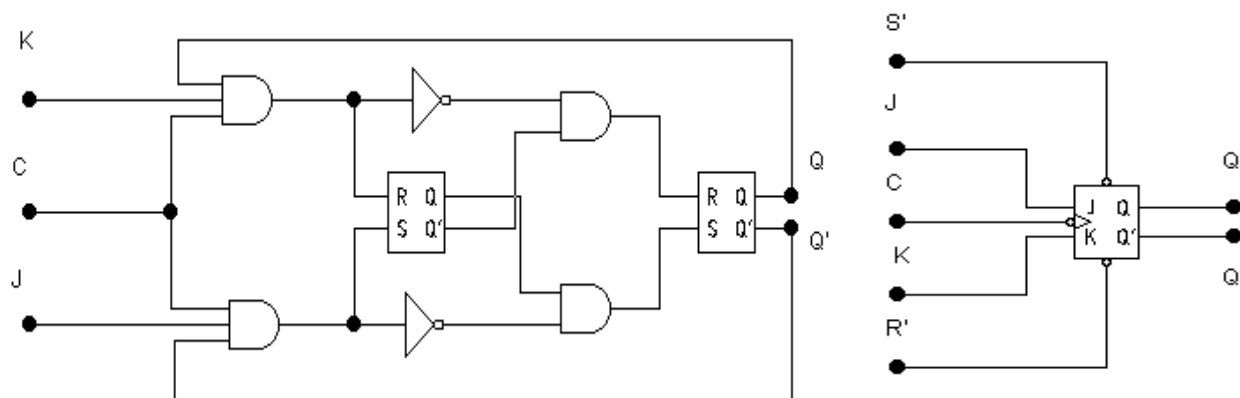


Рис. 3. Схема JK-триггера:

1) расширенная схема,

2) условное обозначение.

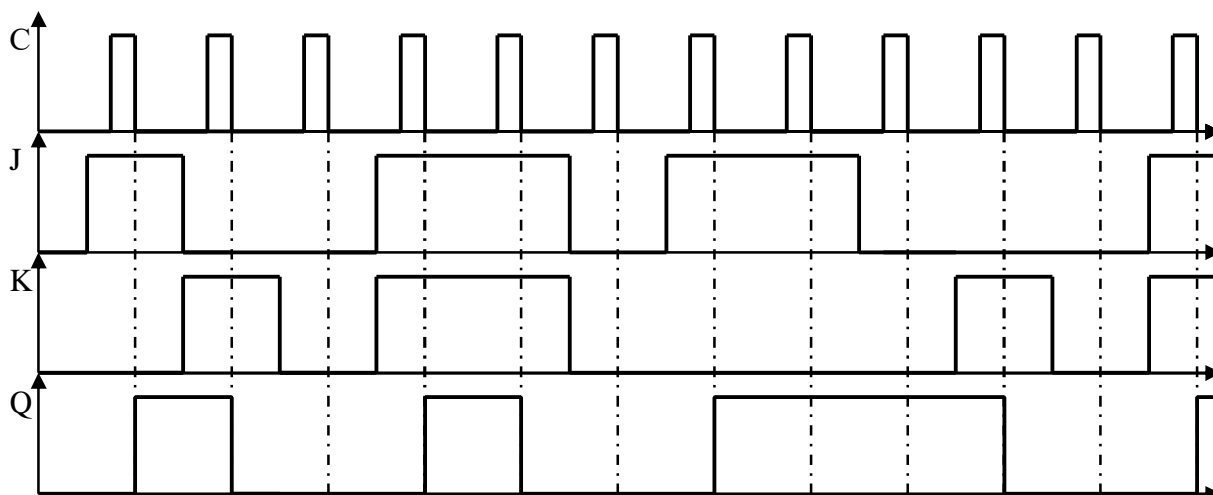


Рис. 4. Временная диаграмма JK-триггера.

В данном случае все изменения выхода происходят только в момент отрицательного перепада тактового сигнала (по заднему фронту импульса C).

3. D-триггер

D-триггер имеет один информационный вход D (*data* – данные). Информация с входа D заносится в триггер по положительному перепаду импульса на входе синхронизации C и сохраняется до следующего положительного перепада. Помимо входов C и D , триггер снабжен асинхронными установочными R и S входами. Установочные входы имеют наивысший приоритет. Они устанавливают триггер независимо от сигналов на входах C и D . Функционирование *D-триггера* описывается табл. 3 и рис. 5.

Таблица 3.
Таблица переходов и возбуждения D-триггера

Таблица переходов		Таблица функций возбуждений		
D	Q_{t+1}	Q_t	Q_{t+1}	D
0	0	0	0	0
		0	1	1
1	1	1	0	0
		1	1	1

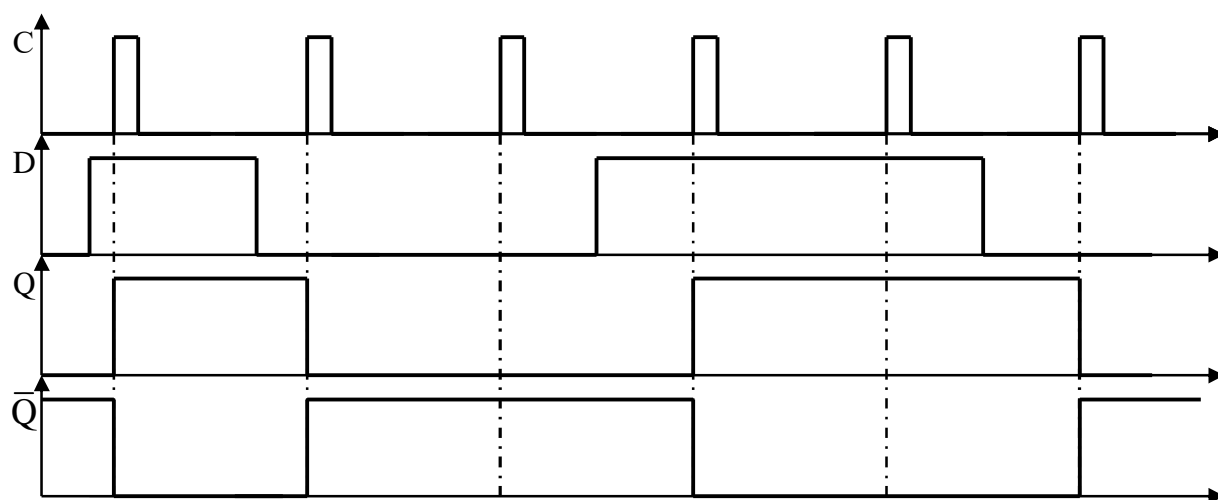


Рис. 5. Временная диаграмма D-триггера.

Характеристическое уравнение D-триггера:

$$Q_{t+1} = D_t. \quad (2)$$

Уравнение триггера показывает, что состояние триггера на $t+1$ такте равно входному сигналу в момент, предшествующий тактовому перепаду сигнала C . Условное обозначение D -триггера представлено на рис 6.1. Функциональная схема D -триггера может быть получена из схемы JK -триггера путем подключения входа D к входу J через инвертор (рис. 6.2).

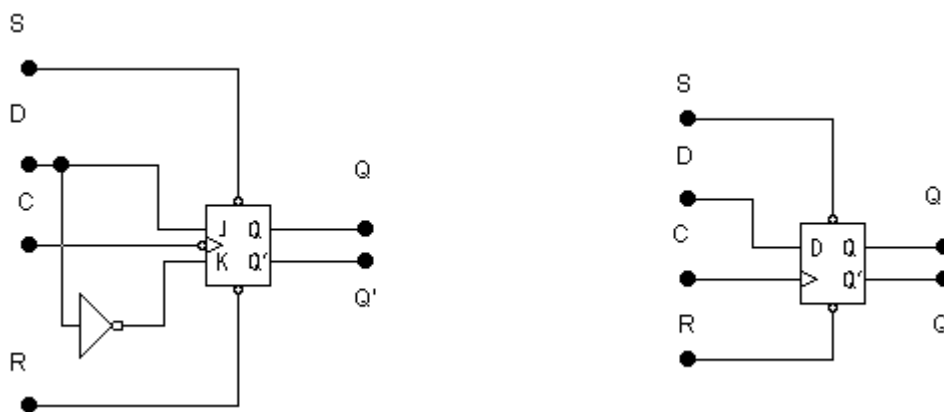


Рис. 6 Схема D -триггера:

1) расширенная схема,

2) условное обозначение.

4. T -триггер (счетный триггер)

На основе JK -триггеров и D -триггеров можно построить схемы, осуществляющие так называемый счетный режим. Такие схемы называют T -триггерами, или счетными триггерами, что связано со способом их функционирования. На рис. 7 представлены схемы организации T -триггера на основе JK -триггера (рис. 7.1) и D -триггера (рис. 7.2). Счетный режим иллюстрируется временными диаграммами (рис. 8).

В JK -триггере с входами установки логическим нулем счетный режим реализуется путем подачи констант $J=K=1$ и $R'=S'=1$ и сигнала T на вход C .

В соответствии с таблицей функционирования при каждом отрицательном перепаде входного сигнала T состояние триггера изменяет свое значение на противоположное.

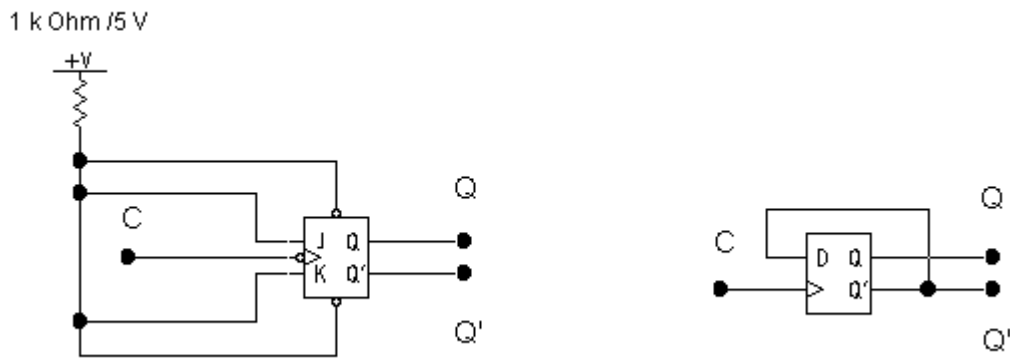
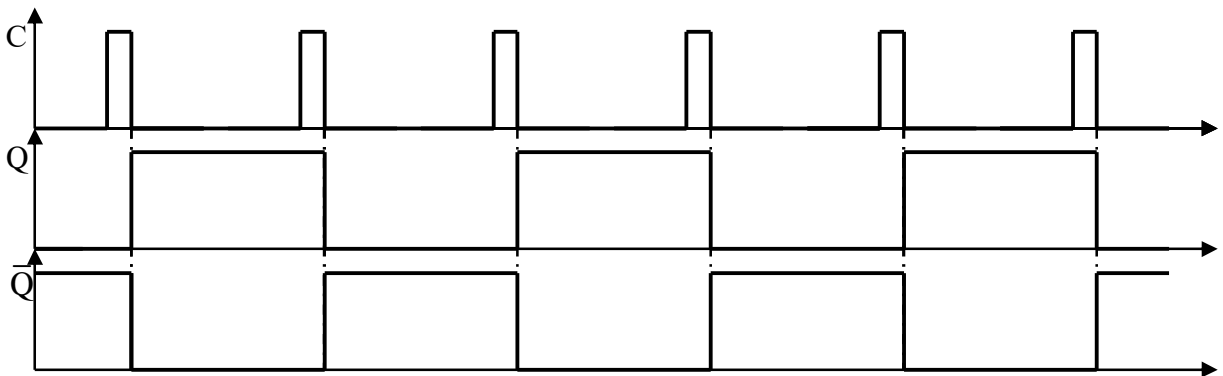


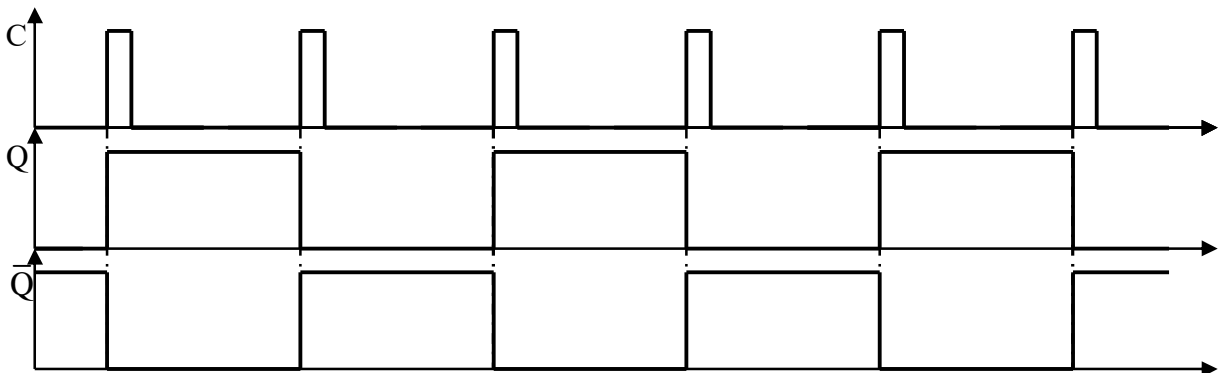
Рис. 7. Схема T-триггера:

1) на базе JK-триггера,

2) на базе D-триггера.



1) на базе JK-триггера



2) на базе D-триггера

Рис. 8. Временная диаграмма T-триггера.

В *D-триггере* счетный режим реализуется при помощи обратной связи (на вход *D* подается сигнал с инверсного выхода). Таким образом, всегда существует неравенство сигнала на входе *D* и сигнала на выходе *Q*: если $Q=1$, $D=0$.

Следовательно, при каждом положительном перепаде сигнала на счетном входе *C* в соответствии с принципом действия *D-триггера* состояние выхода будет изменяться на противоположное.

Таким образом, на каждые два входных тактовых импульса *T-триггер* формирует один период выходного сигнала *Q*. Следовательно, триггер осуществляет деление частоты f_T на его входе на 2:

$$f_Q = \frac{f_T}{2}. \quad (3)$$

Порядок работы

Задание 1. Исследование работы схемы *RS* триггера

1.1. Исследование *RS* триггера, составленного из двух элементов «ИЛИ-НЕ».

Создайте схему, изображенную на рис. 9.

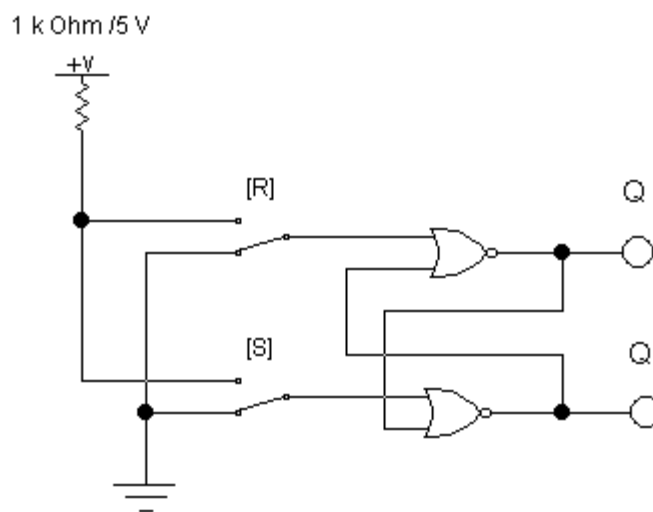


Рис. 9. Схема *RS* триггера на базе элементов «ИЛИ-НЕ».

Включите схему. Убедитесь в правильности работы триггера (перехода из одного состояния в другое), проверив следующие утверждения:

при $S=0, R=1$ триггер сбрасывается в состояние $Q=0$;

при $S=0, R=0$ триггер сохраняет свое прежнее состояние $Q=0$;

при $S=1, R=0$ триггер устанавливается в состояние $Q=1$;

при $S=0, R=0$ триггер сохраняет прежнее состояние $Q=1$;

при $S=1, R=1$ триггер находится в запрещенном состоянии.

Заполните таблицу возбуждения данного типа триггера (табл. 4).

Таблица 4.
RS-триггер на базе элементов «ИЛИ-НЕ»

Q_t	Q_{t+1}	R	S
0		0	0
0		1	0
0		0	1
1		0	0
1		1	0
1		0	1

Примечание. Таблица возбуждения триггера составляется для различных комбинаций R и S -входов. При этом предварительно необходимо добиться начального состояния триггера Q_t , помня, что установить триггер в состояние $Q_t=0$ можно подав сигнал $R=1$ ($S=0$), а установить триггер в состояние $Q_t=1$ – подав сигнал $S=1$ ($R=0$).

2.2. Исследование \overline{RS} -триггера, составленного из двух элементов «И-НЕ».

Создайте схему изображенной на рис. 10.

На схеме инверсные входы \overline{RS} -триггера \overline{R} и \overline{S} обозначаются как R' и S' соответственно. Управляющие клавиши ключей (напомним, что управляющая клавиша задается в закладке «Кеу» окна свойств ключа и предназначена для изменения положения ключа) заданы соответственно «R» для входа \overline{R} и «S» – для входа \overline{S} .

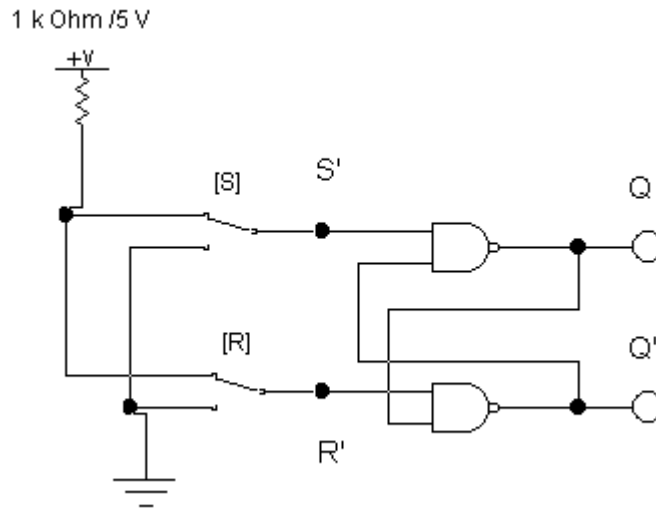


Рис. 10. Схема $\overline{R}\overline{S}$ -триггера на базе элементов «И-НЕ».

Включите схему. Убедитесь в правильности работы триггера (перехода из одного состояния в другое), проверив следующие утверждения:

при $\overline{S} = 1, \overline{R} = 0$ триггер сбрасывается в состояние $Q=0$;

при $\overline{S} = 1, \overline{R} = 1$ триггер сохраняет прежнее состояние $Q=0$;

при $\overline{S} = 0, \overline{R} = 1$ триггер устанавливается в состояние $Q=1$;

при $\overline{S} = 1, \overline{R} = 1$ триггер сохраняет прежнее состояние $Q=1$;

при $\overline{S} = 0, \overline{R} = 0$ триггер находится в запрещенном состоянии.

Заполните таблицу возбуждения данного типа триггера (табл. 5).

Таблица 5.
 $\overline{R}\overline{S}$ -триггер на базе элементов «И-НЕ»

Q_t	Q_{t+1}	$\overline{R} = R'$	$\overline{S} = S'$
0		1	1
0		1	0
0		0	1
1		1	0
1		1	0
1		0	1

Примечание. Таблица возбуждения триггера составляется для различных комбинаций \overline{R} и \overline{S} входов. При этом предварительно необходимо добиться начального состояния триггера Q_t , помня, что установить триггер в состояние

$Q_t=1$ можно подав сигнал $\bar{S}=0$ ($\bar{R}=1$), а установить триггер в состояние $Q_t=0$ подав сигнал $\bar{R}=0$ ($\bar{S}=1$).

Задание 2. Исследование работы JK-триггера

3.1. Составление функции возбуждения JK-триггера.

Соберите схему, изображенную на рис. 11.

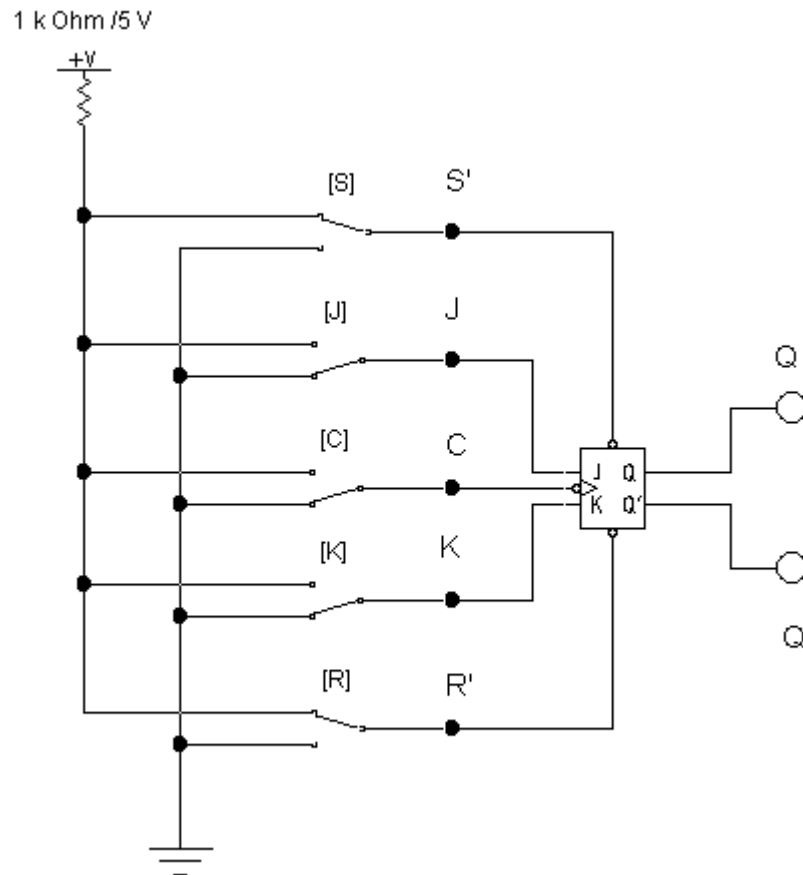


Рис. 11. Схема JK-триггера.

Отметим, что на схеме используется упрощенная микросхема JK-триггера, в которой установочные входы \bar{R} и \bar{S} инверсные (на микросхеме такие входы имеют кружок на линии, входящей в корпус).

Включите схему. Убедитесь в правильности работы установочных входов триггера, проверив следующие утверждения:

при $\bar{S}=1$, $\bar{R}=0$ триггер сбрасывается в состояние $Q=0$ независимо от входов J , K , C ;

при $\bar{S} = 0$, $\bar{R} = 1$ триггер устанавливается в состояние $Q=1$ независимо от входов J , K , C .

Таким образом, для установки триггера в требуемое исходное состояние Q_t необходимо подать на его вход одну из перечисленных комбинаций, затем установить $\bar{S} = 1$, $\bar{R} = 1$.

Установив триггер в необходимое исходное состояние, заполните таблицу возбуждения *JK-триггера* (табл. 6).

Таблица 6.
Таблица возбуждения JK-триггера

Q_t	Q_{t+1}	J	K
0		0	0
0		0	1
0		1	0
0		1	1
1		0	0
1		0	1
1		1	0
1		1	1

Примечание. Переход триггера в новое состояние происходит по заднему фронту импульса C . Таким образом, для получения нового состояния Q_{t+1} нужно установить начальное состояние триггера Q_t (ключами \bar{R} и \bar{S}), затем необходимую комбинацию входов J и K (при этом $\bar{S} = 1$, $\bar{R} = 1$) и произвести переключение ключа C .

3.2. Составление временных диаграмм JK-триггера.

По таблице возбуждения *JK-триггера* (табл. 6) составьте временную диаграмму работы триггера. Оси графика необходимо выбрать аналогично рис. 4. При этом по оси « C » также откладываются последовательно импульсы синхронизации. Значения, откладываемые на других осях временной диаграммы, необходимо выбирать построчно из табл. 6 по следующим правилам:

до появления импульса C значения J и K должны устанавливаться согласно каждой выбранной строке таблице возбуждения;

значение по оси Q выбирается равным Q_t (согласно выбранной строке) до каждого момента исчезновения импульса C (до появления так называемого заднего фронта);

после исчезновения импульса C значение по оси Q выбирается равным Q_{t+1} (согласно выбранной строке) до момента установки новых значений J и K (перехода к анализу новой строки таблицы возбуждения);

переход к новым значениям J и K производится после исчезновения исследуемого импульса C , но до появления нового (и далее по каждой строке аналогично).

При этом полученные временные диаграммы будут отличными от приведенных на рис. 4, так как в соответствии с табл. 6 каждый раз триггер необходимо сбрасывать в состояние Q_t , до анализа исследуемой строки.

Задание 3. Исследование работы D-триггера

3.1. Исследование D триггера, составленного на базе JK-триггера.

Создайте схему, изображенную на рис. 12.

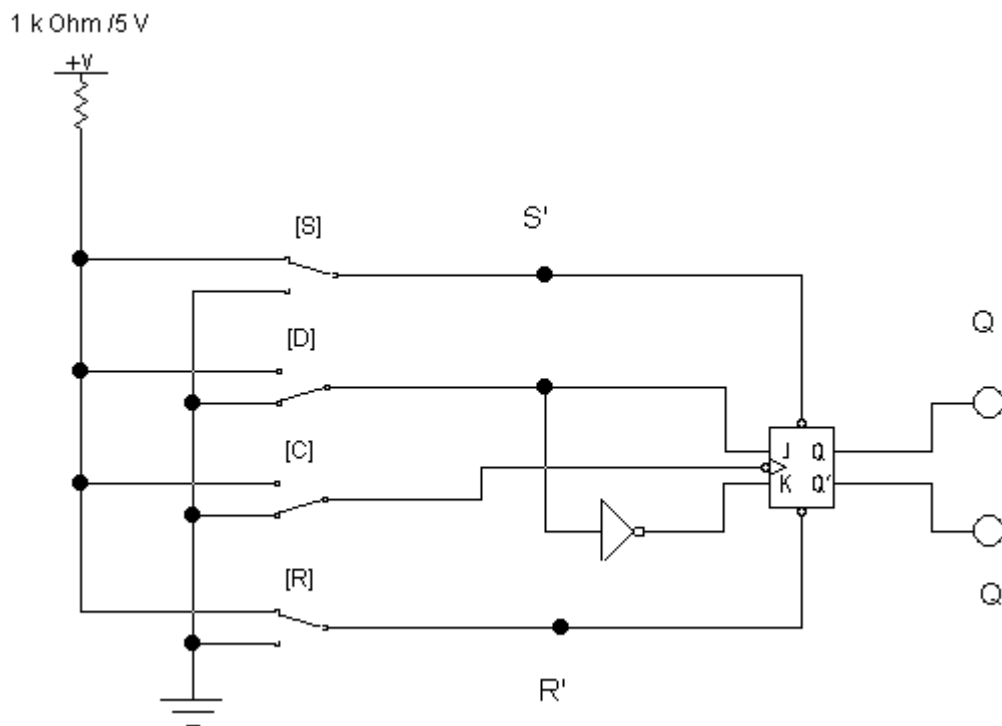


Рис. 12. Схема D-триггера на базе JK-триггера.

Включите схему. Убедитесь в правильности функционирования установочных входов:

при $\bar{S} = 1$, $\bar{R} = 0$ триггер сбрасывается в состояние $Q=0$ независимо от входов D , C ;

при $\bar{S} = 0$, $\bar{R} = 1$ триггер устанавливается в состояние $Q=1$ независимо от входов D , C .

Заполните таблицу переходов (табл. 7), переведя предварительно установочные входы в разрешающее состояние $\bar{S} = 1$ и $\bar{R} = 1$.

Таблица 7.
Таблица переходов D-триггера

D	Q_{t+1}
0	
1	

3.2. Получение функций возбуждения D триггера.

Создайте схему, изображенную на рис. 13.

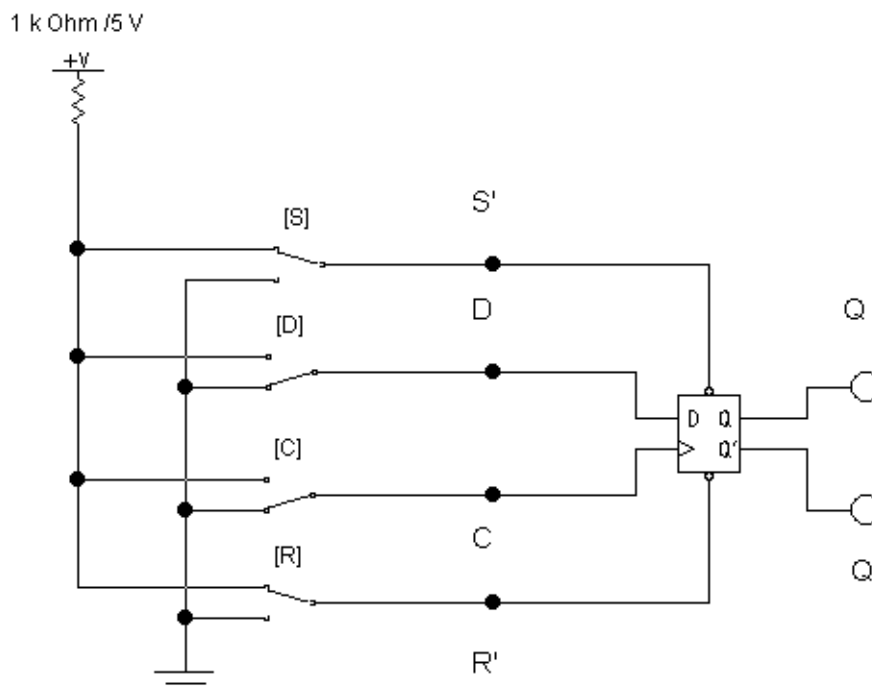


Рис. 13. Схема D-триггера.

Проверьте правильность работы установочных входов \bar{R} и \bar{S} . Убедитесь в идентичной работе схем рис. 12 и рис. 13 с помощью полученной в предыдущем пункте таблицы переходов.

Заполните таблицу возбуждения *D-триггера* (табл. 8), предварительно устанавливая необходимое состояние Q_t сигналами \bar{R} и \bar{S} (после установки необходимо перевести данные входы в разрешающие положение $\bar{R} = 1, \bar{S} = 1$).

Таблица 8.
Функции возбуждения D-триггера

Q_t	D	Q_{t+1}
0	0	
0	1	
1	0	
1	1	

Примечание. Необходимо помнить, что переключение триггера в новое состояние происходит по переднему фронту импульса *C*.

3.2. Составление временной диаграммы *D* триггера.

По таблице возбуждения *D-триггера* (табл. 8) составьте временную диаграмму работы триггера. Оси графика необходимо выбрать аналогично рис. 5. При этом на оси «*C*» так же откладываются последовательно импульсы синхронизации. Значения, откладываемые на других осях временной диаграммы, необходимо выбирать из табл. 8, аналогично пункту 3.1.

Полученные временные диаграммы будут отличны от диаграмм рис. 5, так как в соответствии с табл. 8 каждый раз триггер необходимо сбрасывать в значение Q_t .

Задание 4. Исследование работы *T*-триггера

4.1. Исследование *T*-триггера, составленного на основе *JK*-триггера.

Соберите *T-триггер* на основе *JK-триггера* согласно схеме, изображенной на рис. 14.

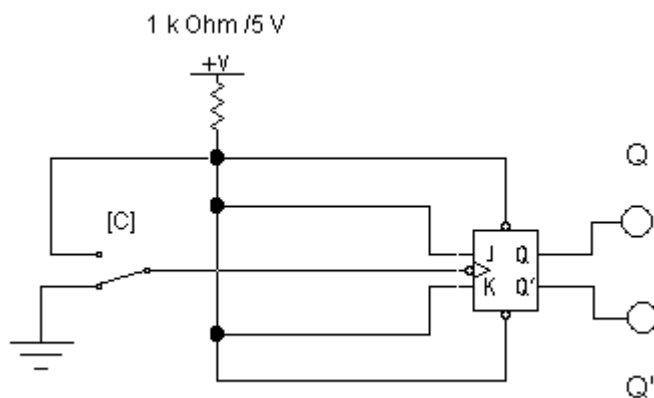


Рис. 14. Схема *T*-триггера на основе *JK*-триггера.

Включите схему. Изменяя состояние входа *C* соответствующим ключом, постройте временную диаграмму *T*-триггера. Сравните полученный результат с рис. 8.

4.2. Исследование *T*-триггера, составленного на основе *D*-триггера.

Соберите *T*-триггер на основе *D*-триггера согласно схеме, изображенной на рис. 15.

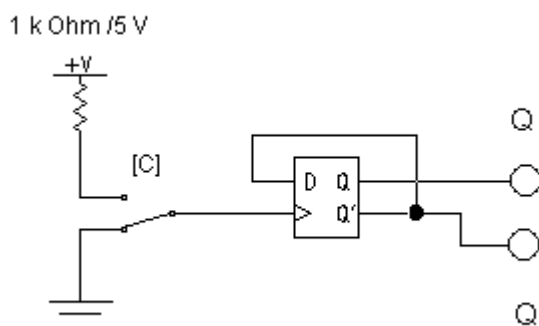


Рис. 15. Схема *T*-триггера на основе *D*-триггера.

Включите схему. Изменяя состояние входа *C* соответствующим ключом, постройте временную диаграмму *T*-триггера.

Сравните полученный результат с рис. 8.

Контрольные вопросы

1. Дайте определение триггера.
2. Чем отличается *RS-триггер* с обычными входами от \overline{RS} -триггера с инверсными входами?
3. Что называется запрещенным и неопределенным состоянием триггера?
4. Приведите примеры запрещенного и неопределенного состояния различных триггерных схем.
5. Чем отличается таблица переходов от таблицы возбуждения?
6. Приведите характеристическое уравнение *RS-триггера*.
7. Чем отличается *JK-триггер* от *RS-триггера*?
8. Приведите характеристическое уравнение *JK-триггера*.
9. Зачем нужны установочные входы в триггерах?
10. Каков приоритет установочных входов в триггерах по сравнению с информационными входами?
11. Охарактеризуйте основное применение *D-триггера*.
12. Приведите характеристическое уравнение *D-триггера*.
13. Чем отличается *D-триггер* от *T-триггера*?
14. Чему равна частота следования импульсов в *T-триггере*?

Упражнения

Построение временных диаграмм

По заданной таблице истинности некоторой логической функции постройте временную диаграмму. Считайте, что переключение в новое состояние схемы должно происходить по отрицательному фронту импульса *C*.

Варианты таблицы истинности приведены в табл. 9.

Таблица 9.
Варианты задания логической функции.

Значения логических переменных (для всех вариантов)			Варианты задания									
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
X	Y	Z	Значения логической функции (для каждого варианта)									
0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	1	0
0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0
0	1	0	0	1	1	0	1	1	0	0	0	0
0	1	1	1	0	1	1	0	0	0	1	0	1
1	0	0	0	1	0	1	0	1	1	1	1	1
1	0	1	1	1	0	1	0	1	1	1	1	1
1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	1
1	1	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4

ИЗУЧЕНИЕ СУММАТОРОВ, ПОЛУСУММАТОРОВ, РЕГИСТРОВ И СЧЕТЧИКОВ

Цель работы.

1. Исследование сумматоров и полусумматоров.
2. Изучение структуры и исследование работы суммирующих и вычитающих счетчиков, счетчиков с измененным коэффициентом пересчета.
3. Изучение регистров.

Приборы и элементы.

Генератор слов (панель «Instruments/Word Generator»).

Логические пробники (панель «Indicators/Red probe»).

Источник напряжения + 5 В (панель «Basic/Pull-Up Resistor»).

Земля (панель «Sources/Ground»).

Двухпозиционные переключатели (панель «Basic/Switch»).

Двухвходовые элементы И, И-НЕ, ИЛИ, ИЛИ-НЕ

(панель «Logic Gates/2-Input AND, NAND, OR, NOR Gates»).

Сумматор (панель «Digital/Half-Adder»).

D-триггер (панель «Digital/»).

Декодер (панель «Indicators/Decoded 7 segment display»).

Краткие теоретические сведения

Сумматоры и полусумматоры

Широкое применение в цифровой технике находят элементы, выполняющие различные арифметические действия. Операция суммирования – базовая арифметическая операция в двоичной алгебре. Поэтому для дальнейшего изучения цифровой техники необходимо исследовать способы получения сумматоров.

1. Сумматоры по модулю два

Построение двоичных сумматоров обычно начинается с сумматора по модулю 2. Ниже представлена таблица истинности этого сумматора.

Таблица 1.

Таблица истинности сумматора по модулю два

Входы		Выход
X	Y	Out
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

Из табл. 1 видно, что логическая функция, выражающая принцип работы сумматора по модулю два, имеет вид:

$$F = X \oplus Y = X\bar{Y} \vee \bar{X}Y \quad (1)$$

и представляет собой описанную ранее (формула 7, в лабораторной работе №1) функцию «исключающего ИЛИ».

На рис. 1.1 представлена схемная реализация сумматора по модулю два, составленная по табл. 1. На рис. 1.2 приведено условное обозначение этой же схемы в виде одного элемента – «Исключающего ИЛИ».

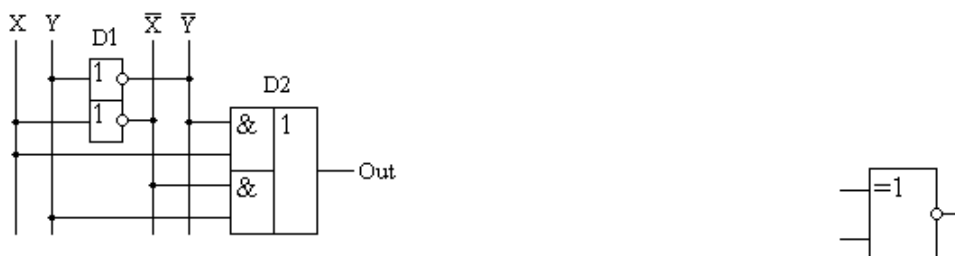


Рис. 1. Сумматор по модулю два:

- 1) расширенная схема,
- 2) «исключающее ИЛИ».

Однако представленная схема имеет недостаток, который можно увидеть в табл. 1, – неучет переноса при сложении $X = 1$ и $Y = 1$.

Сумматор по модулю 2 выполняет суммирование без учета переноса. В обычном двоичном сумматоре требуется учитывать перенос, поэтому нужны схемы, позволяющие формировать перенос в следующий двоичный разряд.

2. Полусумматоры

Таблица истинности полусумматора приведена ниже.

Таблица 2.
Таблица истинности полусумматора

Входы		Выходы	
A	B	S	PO
0	0	0	0
0	1	1	0
1	0	1	0
1	1	0	1

На рис. 2 представлена соответствующая схемная реализация полусумматора на базе логических элементов (рис. 2.1) и в виде одного устройства (рис. 2.2).

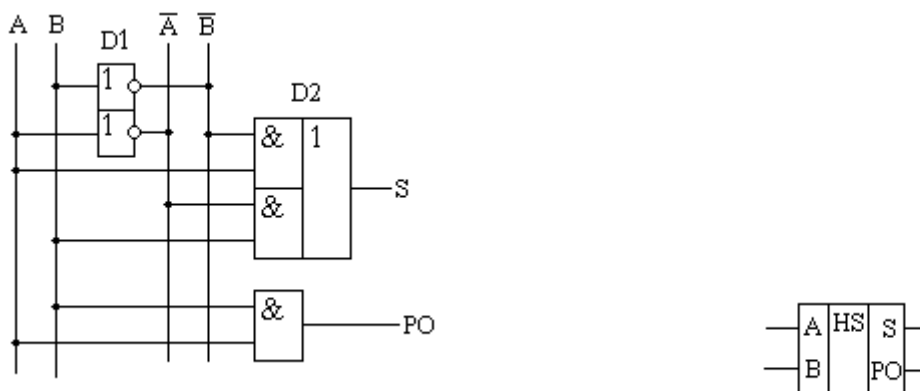


Рис. 2. Схема полусумматора:

1) расширенная схема,

2) условное обозначение.

Схема полусумматора формирует перенос в следующий разряд (*PO*), но не может учитывать перенос из предыдущего разряда, поэтому она и называется полусумматором. Для реализации же полного суммирования (пусть пока и одноразрядного) необходимо, помимо формирования переноса в следующий разряд, учитывать еще и перенос из предыдущего разряда (это нужно для формирования многоразрядных сумматоров).

3. Одноразрядные сумматоры

Таблица истинности полного двоичного одноразрядного сумматора приведена в табл. 3.

Таблица 3.

Таблица истинности одноразрядного сумматора

Входы			Выходы	
PI	A	B	S	PO
0	0	0	0	0
0	0	1	1	0
0	1	0	1	0
0	1	1	0	1
1	0	0	1	0
1	0	1	0	1
1	1	0	0	1
1	1	1	1	1

Здесь, помимо формирования переноса в следующий разряд (PO), учитывается еще и перенос из предыдущего разряда (PI).

На рис. 3 представлена соответствующая схемная реализация сумматора на базе логических элементов (рис. 3.1) и в виде одного устройства (рис. 3.2).

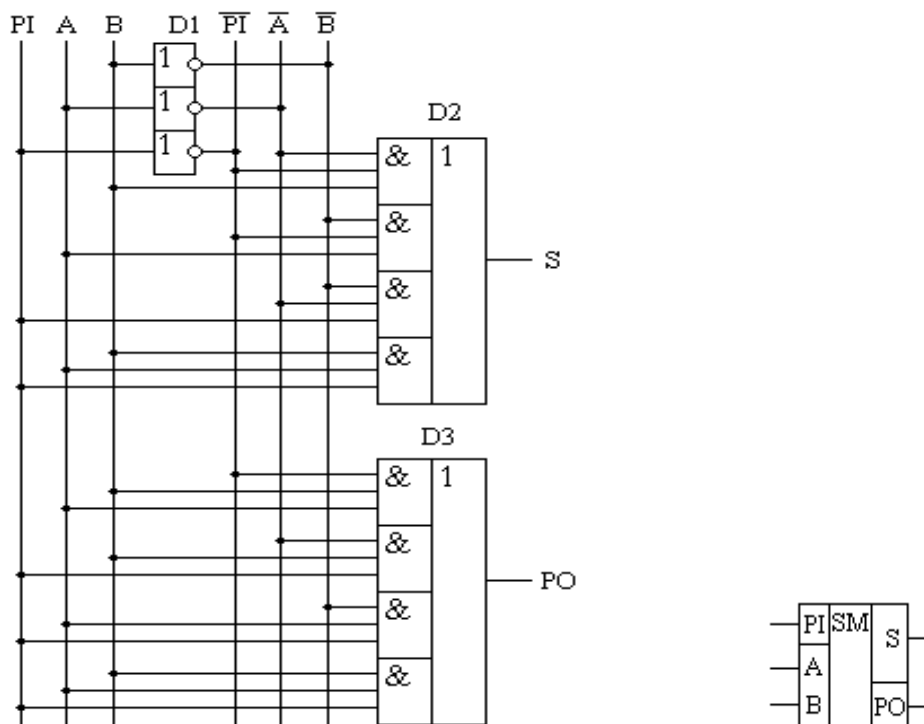


Рис. 3. Схема двоичного одноразрядного сумматора:

- 1) расширенная схема, 2) условное обозначение.

4. Многоразрядные сумматоры

Чтобы получить многоразрядный сумматор, необходимо соединить входы и выходы переносов соответствующих двоичных разрядов. Схема соединения для трехразрядного сумматора показана на рис. 4.1. Здесь же приведено условное обозначение данного сумматора, применяемого на схемах (рис. 4.2).

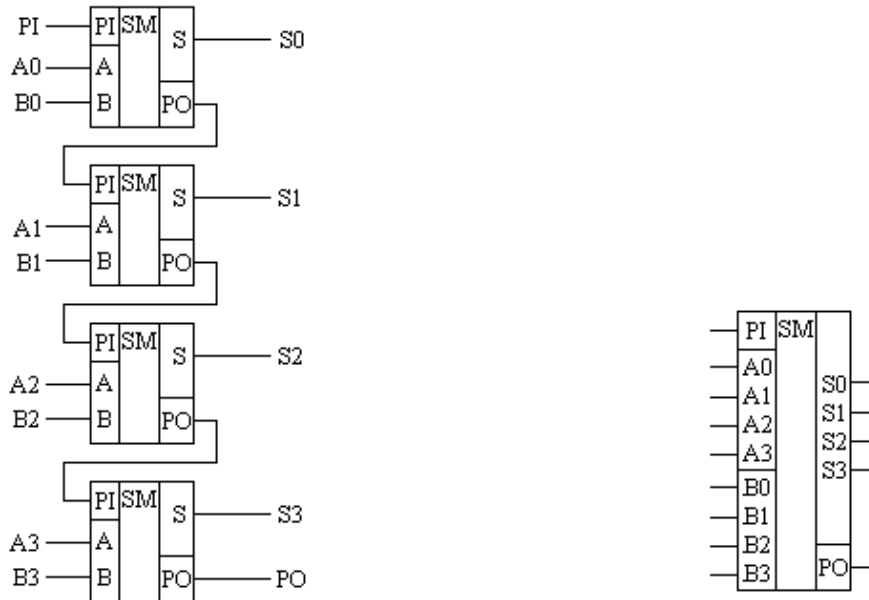


Рис. 4. Схема полного двоичного трехразрядного сумматора:

- 1) расширенная схема,
- 2) условное обозначение.

На схеме рис. 4.1 представлен принцип построения двоичного последовательного сумматора. Данной схеме присущ один недостаток – невысокое быстродействие. В реальных же схемах для увеличения скорости работы применяется отдельная схема формирования переносов для каждого двоичного разряда.

Таблицу истинности для такой схемы легко получить, следуя правилам суммирования двоичных чисел, а затем применить хорошо известные принципы построения схемы по произвольной таблице истинности.

Счетчики

Счетчик – это устройство, предназначенное для подсчета числа входных импульсов. Число, представляющее состояние его выходов, с приходом нового импульса изменяется на единицу. Счетчик можно реализовать на нескольких

триггерах. В суммирующих счетчиках каждый входной импульс увеличивает число на его выходе на единицу, в вычитающих счетчиках каждый входной импульс уменьшает это число на единицу. Наиболее простые счетчики – двоичные. На рис. 5 представлен суммирующий двоичный счетчик. Диаграмма работы двоичного суммирующего счетчика представлена на рис. 6.

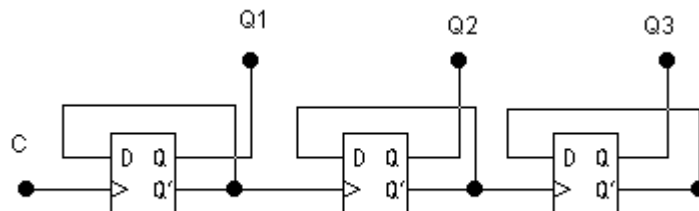


Рис. 5. Суммирующий двоичный счетчик.

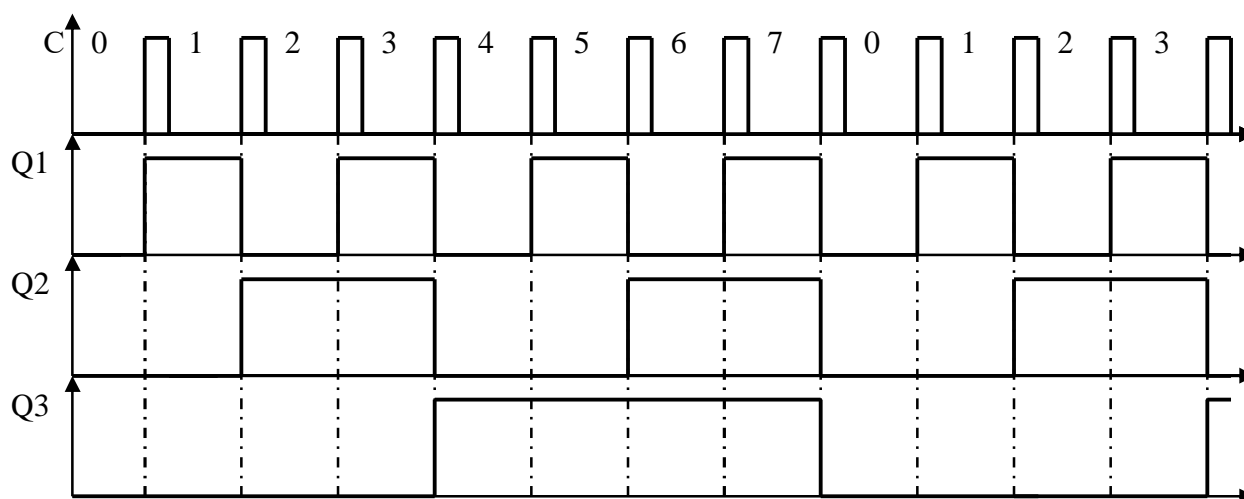


Рис. 6. Диаграмма работы двоичного суммирующего счетчика.

1. Изменение направления счета

Как уже говорилось, счетчики можно реализовать на триггерах. При этом триггеры соединяют последовательно. Выход каждого триггера непосредственно действует на тактовый вход следующего. Чтобы реализовать суммирующий счетчик, необходимо счетный вход очередного триггера подключать к инверсному выходу предыдущего. А чтобы изменить направление счета (реализовать вычитающий счетчик), можно предложить несколько способов.

1. Считывать выходные сигналы счетчика не с прямых, а с инверсных выходов триггеров. Число, образуемое состоянием инверсных выходов тригге-

ров счетчика, связано с числом, образованным состоянием прямых выходов триггеров, соотношением:

$$N_{пр} = 2^n - N_{инв} - 1, \quad (2)$$

где n – разрядность выхода счетчика. В табл. 4 приведен пример связи числа на прямых выходах с числом на инверсных выходах триггеров счетчика.

Таблица 4.

Связь между прямыми и инверсными выходами счетчика

Состояние прямых выходов			Число	Состояние инверсных выходов			Число
Q3	Q2	Q1		$\overline{Q3}$	$\overline{Q2}$	$\overline{Q1}$	
0	0	0	0	1	1	1	7
0	0	1	1	1	1	0	6
0	1	0	2	1	0	1	5

2. Изменить структуру связей в счетчике: подавать на счетный вход следующего триггера сигнал не с инверсного, а с прямого выхода предыдущего, как показано на рис. 7. Временная диаграмма для такого способа реализации счетчика приведена на рис. 8. В этом случае изменяется последовательность переключения триггеров.

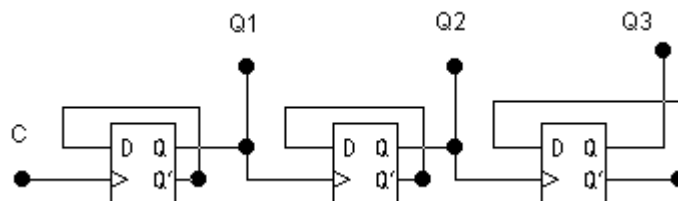


Рис. 7. Вычитающий счетчик.

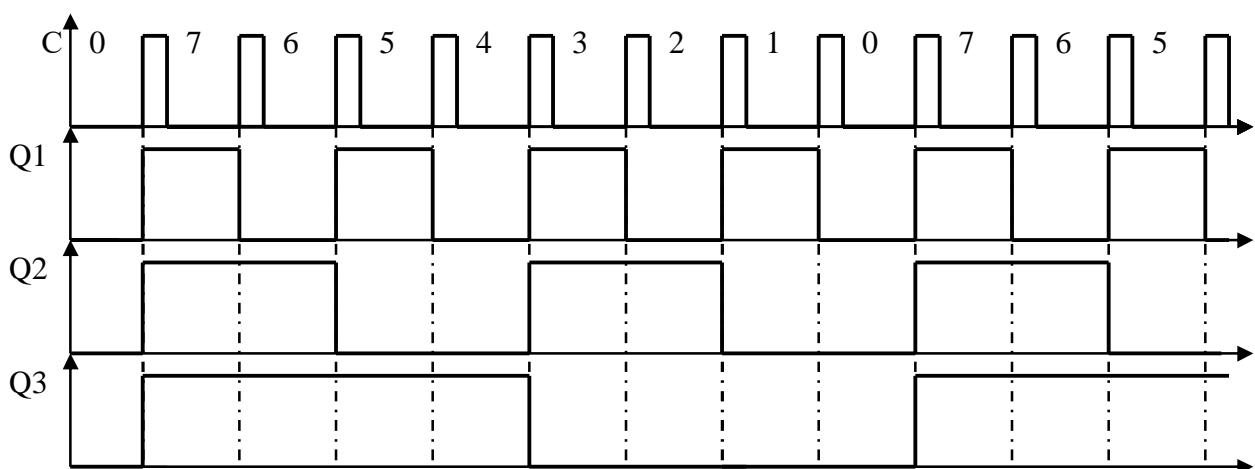


Рис. 8. Диаграмма работы вычитающего счетчика.

2. Изменение коэффициента пересчета

Счетчики характеризуются числом состояний в течение одного периода (цикла). Для схем на рис. 5 и рис. 7 цикл содержит $N=2^3=8$ состояний (от «000» до «111»). Часто число состояний называют *коэффициентом пересчета* $K_{сч}$, который равен отношению числа импульсов N_c на входе к числу импульсов N_{Qcm} на выходе старшего разряда за период:

$$K_{сч} = \frac{N_c}{N_{Qcm}}. \quad (3)$$

Если на вход счетчика подавать периодическую последовательность импульсов с частотой f_c , то частота f_Q на выходе старшего, разряда счетчика будет меньше в $K_{сч}$ раз:

$$K_{сч} = \frac{f_c}{f_Q}. \quad (4)$$

Поэтому счетчики также называют делителями частоты, а величину $K_{сч}$ – коэффициентом деления. Для увеличения величины $K_{сч}$ приходится увеличивать число триггеров в цепочке. Каждый дополнительный триггер удваивает число состояний счетчика и число $K_{сч}$. Для уменьшения коэффициента $K_{сч}$ можно в качестве выхода счетчика рассматривать выходы триггеров промежуточных каскадов. Например, для счетчика на трех триггерах $K_{сч}=8$, если взять выход 1 и 2-го триггера, $K_{сч}=4$. При этом $K_{сч}$ является целой степенью числа 2: 2, 4, 8, 16 и т. д.

Можно реализовать счетчик, для которого $K_{сч}$ – любое целое число. Например, для счетчика на трех триггерах можно сделать $K_{сч}$ от «2» до «7», но при этом один или два триггера могут оказаться лишними. При использовании всех трех триггеров можно получить $K_{сч}=5...7$:

$$2^2 < K_{сч} < 2^3. \quad (5)$$

Счетчик с $K_{сч}=5$ должен иметь 5 состояний, которые в простейшем случае образуют последовательность: {0, 1, 2, 3, 4}. Циклическое повторение этой последовательности означает, что коэффициент деления счетчика равен «5».

Для построения суммирующего счетчика с $K_{сч}=5$ надо, чтобы после формирования последнего числа из последовательности {0, 1, 2, 3, 4} счетчик

переходил не к числу «5», а к числу «0». В двоичном коде это означает, что от числа «100» нужно перейти к числу «000», а не «101». Изменение естественного порядка счета возможно при введении дополнительных связей между триггерами счетчика. Можно воспользоваться следующим способом: как только счетчик попадает в нерабочее состояние (в данном случае «101»), этот факт должен быть опознан и повлечь последующую выработку сигнала, который перевел бы счетчик в состояние «000». Рассмотрим этот способ более детально.

Факт попадания счетчика в нерабочее состояние описывается логическим уравнением:

$$F = (101) \vee (110) \vee (111) = Q_3 \cdot \bar{Q}_2 \cdot Q_1 \vee Q_3 \cdot Q_2 \cdot \bar{Q}_1 \vee Q_3 \cdot Q_2 \cdot Q_1 = Q_3 \cdot Q_1 \vee Q_3 \cdot Q_2 \quad (6)$$

Состояния «110» и «111» также являются нерабочими и поэтому учтены при составлении уравнения. Если на выходе эквивалентной логической схемы $F=0$, – значит, счетчик находится в одном из рабочих состояний: «0» или «1» или «2» или «3» или «4». Как только он попадает в одно из нерабочих состояний – «5», «6» или «7», – формируется сигнал $F=1$. Появление сигнала $F=1$ должно переводить счетчик в начальное состояние «000». Следовательно, этот сигнал нужно использовать для воздействия на установочные входы триггеров счетчика, которые осуществляли бы сброс в состояние $Q_1 = Q_2 = Q_3 = 0$. При реализации счетчика на триггерах с входами установки логическим нулем для сброса триггеров требуется подать на входы сброса сигнал $R'=0$, следовательно, логическую функцию F необходимо инвертировать. Для обнаружения факта попадания в нерабочее состояние применим схему, реализующую функцию F и выполненную на элементах И-НЕ. Для этого преобразуем выражение для функции:

$$\bar{F} = \overline{Q_3 \cdot Q_1 \vee Q_3 \cdot Q_2} = \overline{Q_3 \cdot (Q_1 \cdot Q_2)}. \quad (7)$$

Соответствующая схемная реализация приведена на рис. 9.

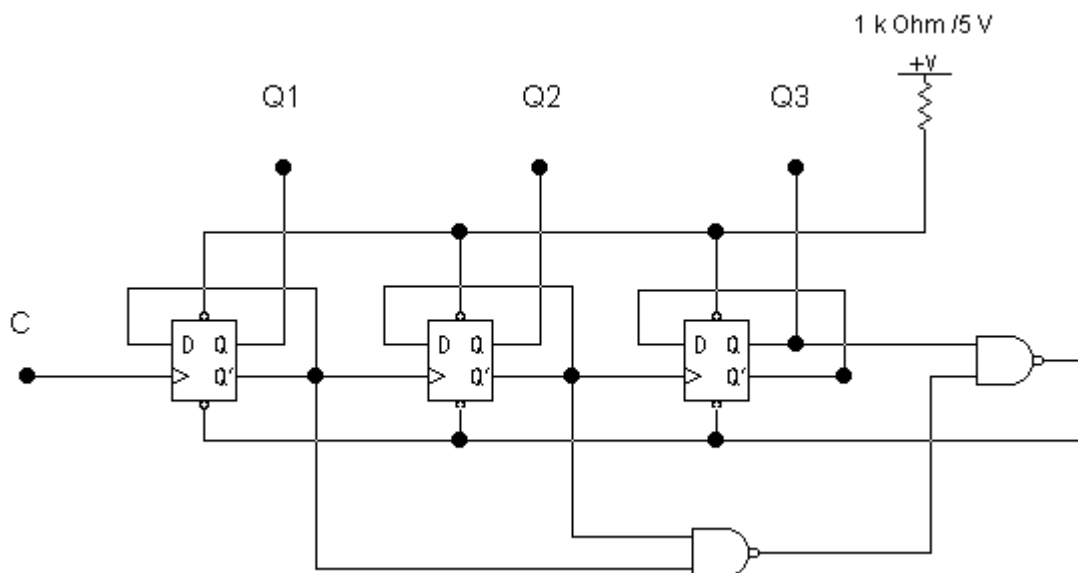


Рис. 9. Счетчик с измененным коэффициентом пересчета.

Счетчик будет работать следующим образом: при счете от «0» до «4» все происходит как в обычном суммирующем счетчике с $K_{сч}=8$. Установочные сигналы равны «1» и естественному порядку счета не препятствуют. Счет происходит по положительному фронту импульса на счетном входе C . В тот момент, когда счетчик находится в состоянии «4» («100»), следующий тактовый импульс сначала переводит его в состояние «5» («101»), что немедленно (задолго до прихода следующего тактового импульса) приводит к формированию сигнала сброса, который поступает на установочный вход R' триггеров. В результате счетчик сбрасывается в «0» и ждет прихода следующего тактового импульса на счетный вход. Один цикл счета закончился, счетчик готов к началу следующего цикла.

Применяя такие схемы с обратной связью для сброса счетчика, нужно иметь в виду, что операция сброса занимает конечное время, поэтому непосредственно перед сбросом счетчика в «0» на выходе первого триггера появляются кратковременные импульсы, или «иголки». Это не имеет значения при подключении счетчика напрямую к индикатору, но при использовании этого выхода счетчика в качестве источника тактовых импульсов могут возникнуть определенные проблемы. Схема, в которой данное явление устранено, приведена на рис. 10.

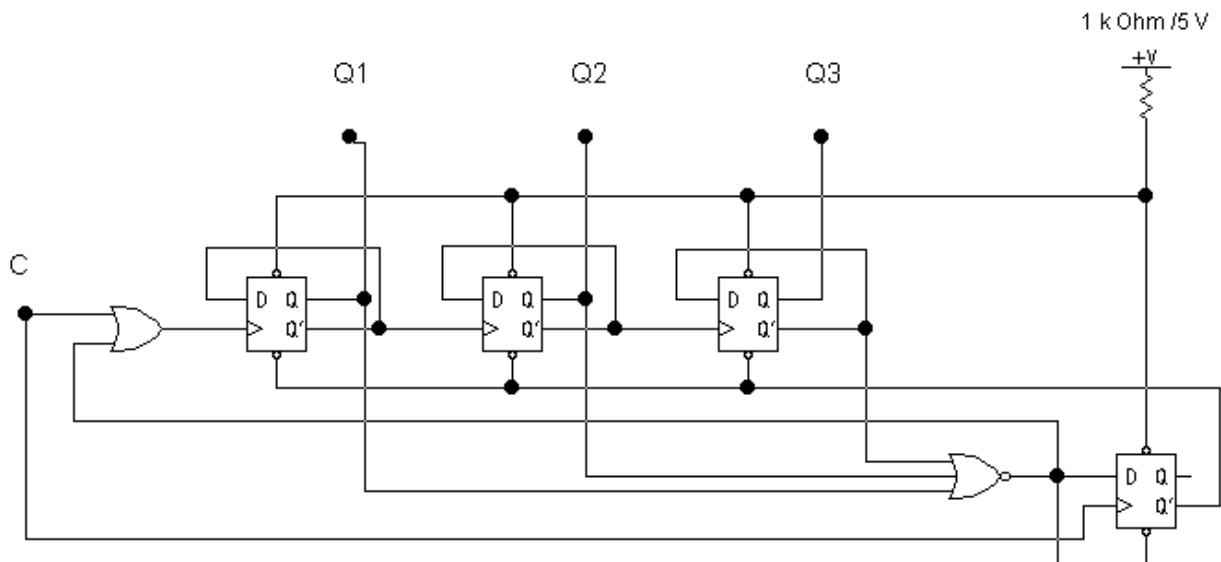


Рис. 10. Счетчик с измененным коэффициентом пересчета.

Важным отличием является то, что схема обнаруживает не факт попадания в нерабочее состояние «101», а факт попадания в состояние «100» и в следующем такте вырабатывает сигнал сброса.

Регистры

Регистром называется последовательное или параллельное соединение триггеров. Регистры обычно строятся на основе *D-триггеров*. При этом для их построения могут использоваться как универсальные *D-триггеры*, так и триггеры-защелки.

1. Параллельный регистр

Параллельный регистр служит для запоминания многоразрядного двоичного слова. При использовании для построения параллельного регистра триггеров-защелок регистр называется *регистр-защелка*. Количество триггеров, входящее в состав параллельного регистра, определяет его разрядность. При записи информации в параллельный регистр все биты (двоичные разряды) записываются одновременно. Схема четырёхразрядного параллельного регистра приведена на рис. 11.1, а его обозначение – на рис. 11.2.

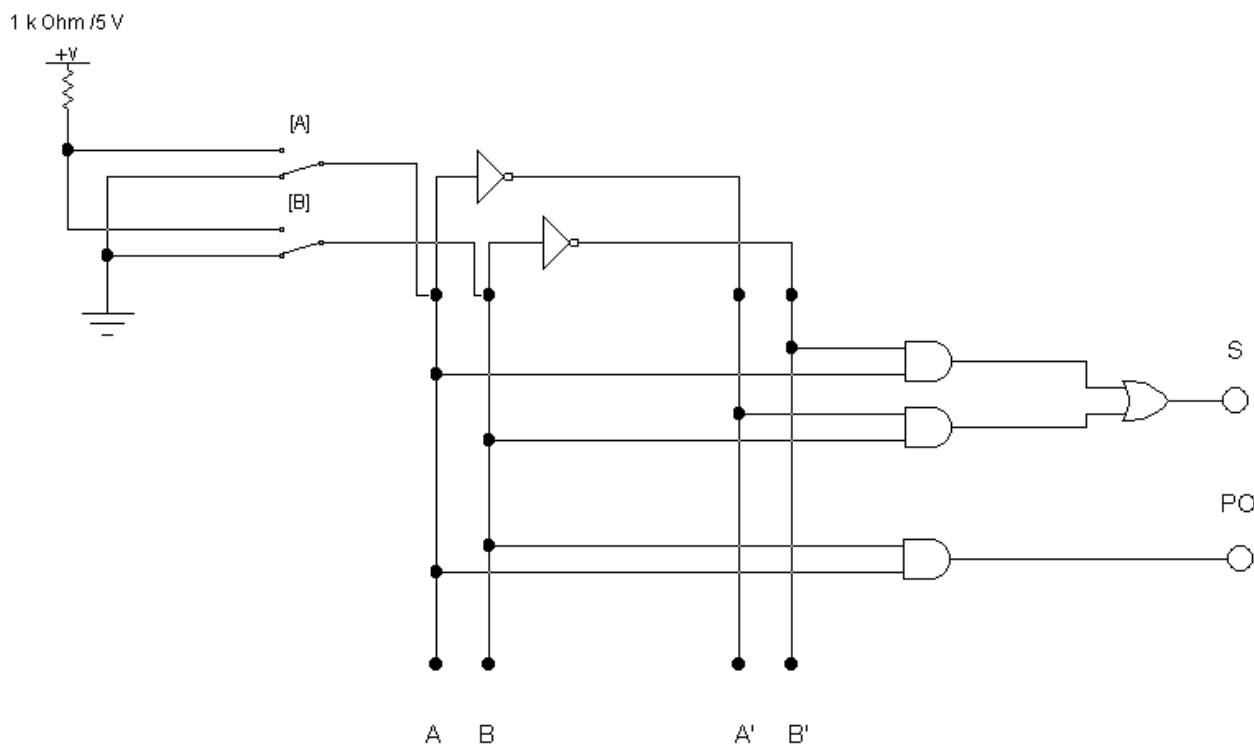


Рис. 14. Схема двоичного полусумматора.

Таблица 5.
Таблица истинности полусумматора

Входы		Выходы	
A	B	S	PO
0	0		
0	1		
1	0		
1	1		

1.2. Изучение работы одноразрядного сумматора.

Соберите схему, приведенную на рис. 15.

Задавая различные комбинации логических уровней на входах сумматора A и B , а также уровень сигнала переноса из предыдущего разряда PI , заполните таблицу истинности (табл. 6).

Сравните полученную табл. 6 с табл. 2, сделайте выводы.

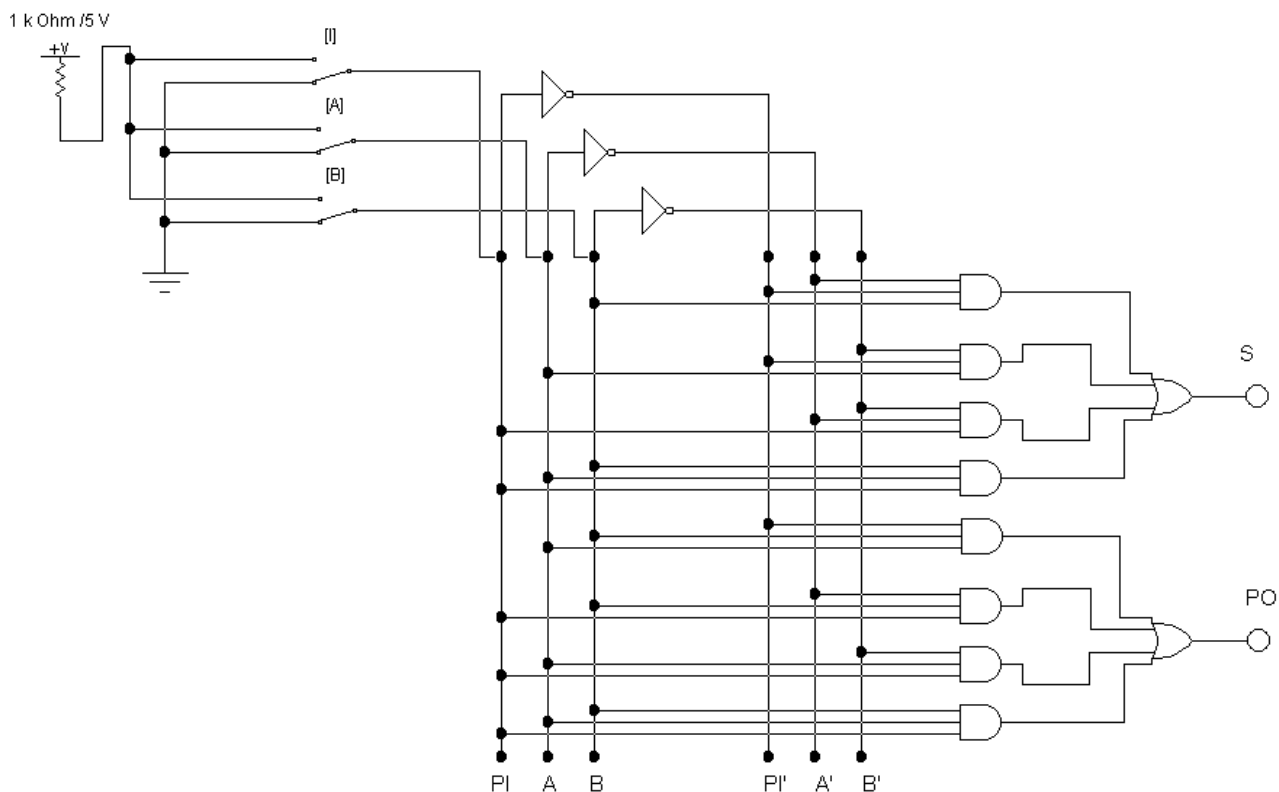


Рис. 15. Схема одnorазрядного двоичного сумматора.

Таблица 6.
Таблица истинности одnorазрядного сумматора

Входы			Выходы	
PI	A	B	S	PO
0	0	0		
0	0	1		
0	1	0		
0	1	1		
1	0	0		
1	0	1		
1	1	0		
1	1	1		

1.3. Изучение работы двоичного трехразрядного сумматора.

Соберите схему, аналогичную рис. 16.

Здесь в качестве сумматоров используются специальные блоки EWB «Half-Adder», имеющие аналогично условному обозначению рис. 3.2 два входа A и B , выход сума «S» (в нашем случае – « Σ ») и сигнал переноса в следующий разряд «PO» (в нашем случае – « C_0 »). В отличие от сумматора, приведенного

на рис. 3.2 у данного сумматора нет учета переноса из предыдущего разряда. Для формирования переноса в следующий разряд в схеме рис. 16 используются дополнительные сумматоры и логические элементы.

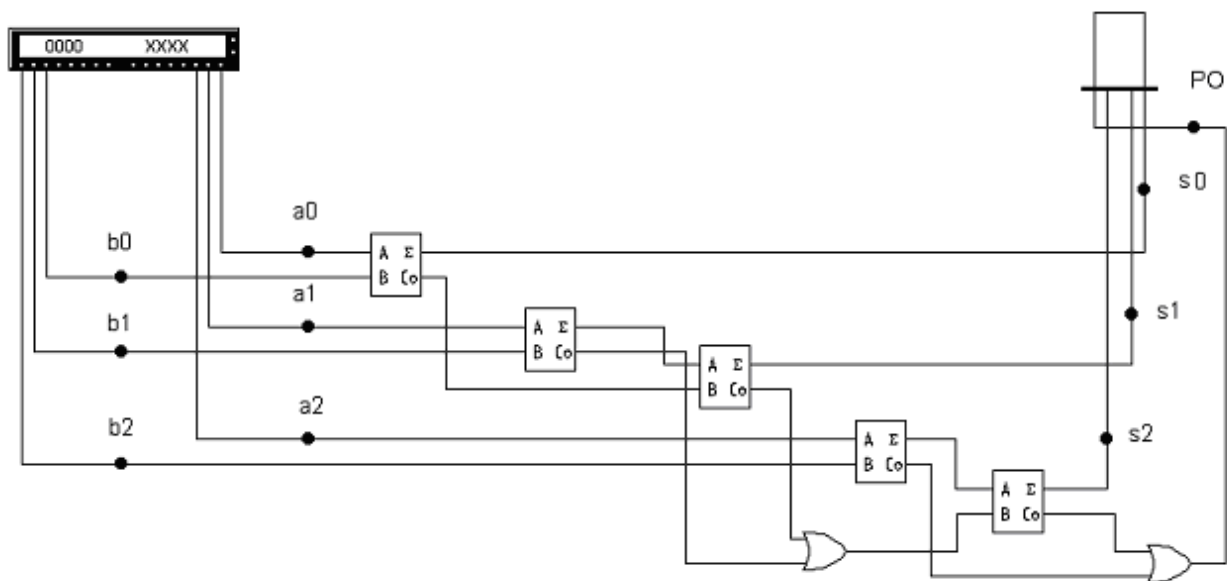


Рис. 16. Схема трехразрядного двоичного сумматора.

Для проверки правильности функционирования данной схемы необходимо предварительно запрограммировать генератор слов так, чтобы на его используемых выходах формировались все возможные комбинации суммируемых двоичных чисел «a2 a1 a0» и «b2 b1 b0». Ниже приведена таблица, поясняющая принцип программирования генератора слов (табл. 7).

Таким образом, из табл. 7 видно, что при подключении к трем младшим разрядам генератора слов одного двоичного числа «a2 a1 a0», а к трем старшим разрядам другого двоичного числа «b2 b1 b0» можно просуммировать все возможные комбинации двух-, трехразрядных чисел.

Примечание. Генератор слов удобнее программировать в 16-теричном коде (см. лабораторную работу №1); семисегментный дисплей («Decoded Seven-Segment Display») сразу декодирует двоичное число (переводит его в 16-теричное) «s2 s1 s0» и отображает его в удобном для анализа виде.

Запрограммировав генератор слов, необходимо изучить работу трехразрядного двоичного сумматора, заполнив табл. 8.

Таблица 7.
Программирование генератора слов

16-теричный код	Двоичный код
0000	0000 0000
0001	0000 0001
0002	0000 0010
0003	0000 0011
0004	0000 0100
0005	0000 0101
0006	0000 0110
0007	0000 0111
2000	0010 0000
2001	0010 0001
2002	0010 0010
2003	0010 0011
2004	0010 0100
2005	0010 0101
2006	0010 0110
2007	0010 0111
4000	0100 0000
...	...
4007	0100 0111
6000	0110 0000
...	...
6007	0110 0111
8000	1000 0000
...	...
8007	1000 0111
A000	1010 0000
...	...
A007	1010 0111
C000	1100 0000
...	...
C007	1100 0111
E000	1110 0000
...	...
E007	1110 0111

Таблица 8.
Суммирование в трехразрядном двоичном сумматоре

Входы, в различных кодах						Выходы, в различных кодах						
2 ^{ый}						10 ^{ый} b ₂ b ₁ b ₀	16 ^{ый} s ₂ s ₁ s ₀	2 ^{ый}				10 ^{ый} s ₂ s ₁ s ₀
a ₂	a ₁	a ₀	b ₂	b ₁	b ₀			PO	s ₂	s ₁	s ₀	
0	0	0	0	0	0							
0	0	1	0	0	0							
0	1	0	0	0	0							
0	1	1	0	0	0							
1	0	0	0	0	0							
1	0	1	0	0	0							
1	1	0	0	0	0							
1	1	1	0	0	0							
0	0	0	0	0	1							
0	0	1	0	0	1							
0	1	0	0	0	1							
0	1	1	0	0	1							
1	0	0	0	0	1							
1	0	1	0	0	1							
1	1	0	0	0	1							
1	1	1	0	0	1							
0	0	0	0	1	0							
...
1	1	1	0	1	0							
0	0	0	0	1	1							
...
1	1	1	0	1	1							
0	0	0	1	0	0							
...
1	1	1	1	0	0							
0	0	0	1	0	1							
...
1	1	1	1	0	1							
0	0	0	1	1	0							
...
1	1	1	1	1	0							
0	0	0	1	1	1							
...
1	1	1	1	1	1							

**Задание 2. Исследование работы суммирующего
и вычитающего счетчиков**

2.1. Исследование первой реализации счетчика.

Соберите схему, изображенную на рис. 17.

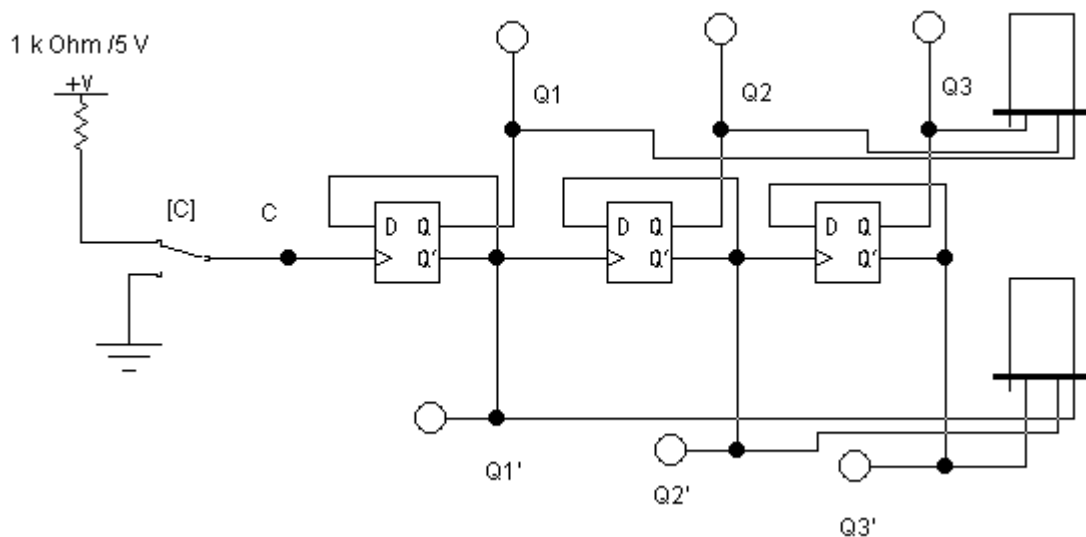


Рис. 17. Первая реализация счетчика.

Включите схему. Подавая на вход схемы тактовые импульсы при помощи ключа C и наблюдая состояние выходов счетчика при помощи семисегментного дисплея декодера и логических пробников, составьте временные диаграммы работы суммирующего (вычитающего) счетчика. Сделайте выводы о работе схемы.

Примечание. В данном случае семисегментный дисплей предназначен для автоматического перевода поступающего на его вход двоичного числа в шестнадцатеричное и отображение последнего.

2.2. Исследование второй реализации счетчика.

Создайте вторую реализацию суммирующего и вычитающего счетчика (см. теорию).

Занесите полученную схему.

Составьте временные диаграммы данной реализации.

Задание 3. Исследование счетчика с измененным коэффициентом пересчета

3.1. Первый вариант.

Соберите схему, изображенную на рис. 18.

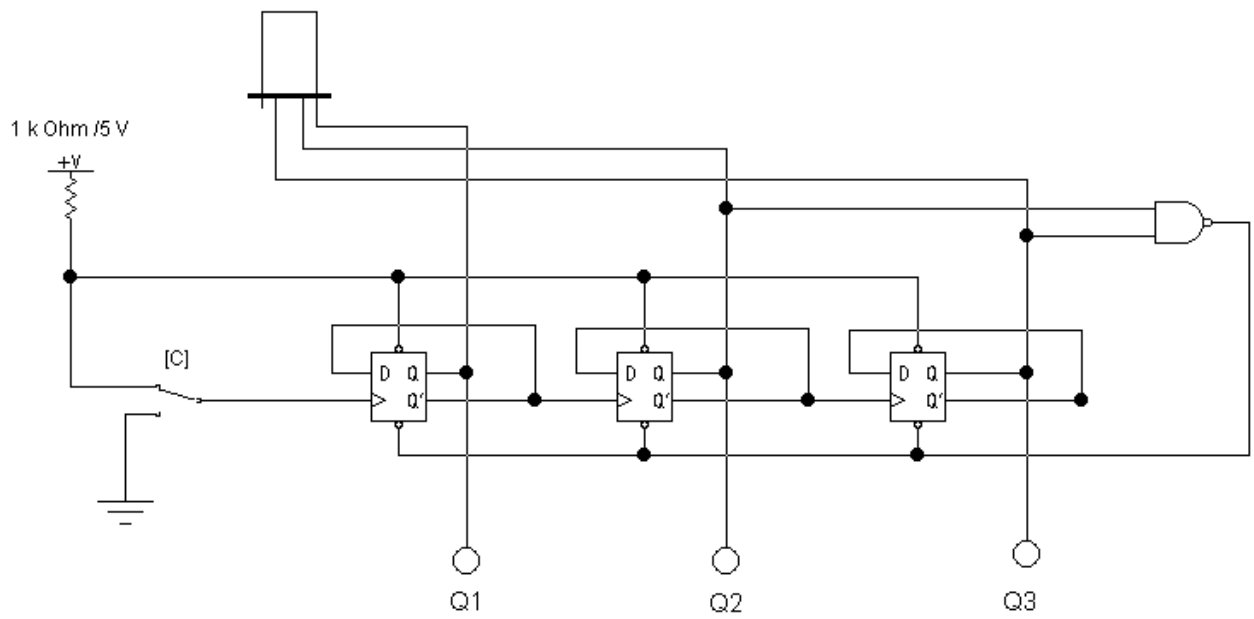


Рис. 18. Счетчик с измененным коэффициентом пересчета.

Включите схему. Подавая на вход схемы тактовые импульсы при помощи ключа *C* и наблюдая состояние выходов счетчика при помощи логических пробников, составьте временные диаграммы работы счетчика и определите коэффициент пересчета.

3.2. Второй вариант.

Соберите схему, изображенную на рис. 19.

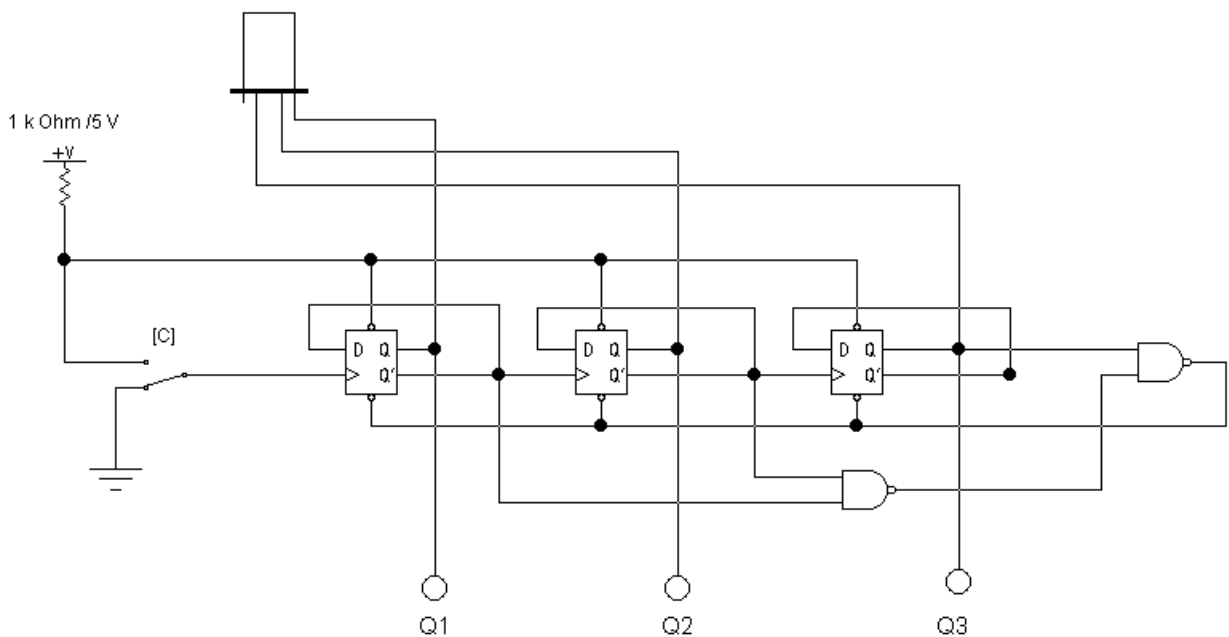


Рис. 19. Счетчик с измененным коэффициентом пересчета.

Включите схему. Подавая на вход схемы тактовые импульсы при помощи ключа *C* и наблюдая состояние выходов счетчика при помощи логических пробников, составьте временные диаграммы работы счетчика и определите коэффициент пересчета.

Задание 4. Исследование регистров

4.1. Исследование параллельного регистра.

Создайте схему, изображенную на рис. 20.

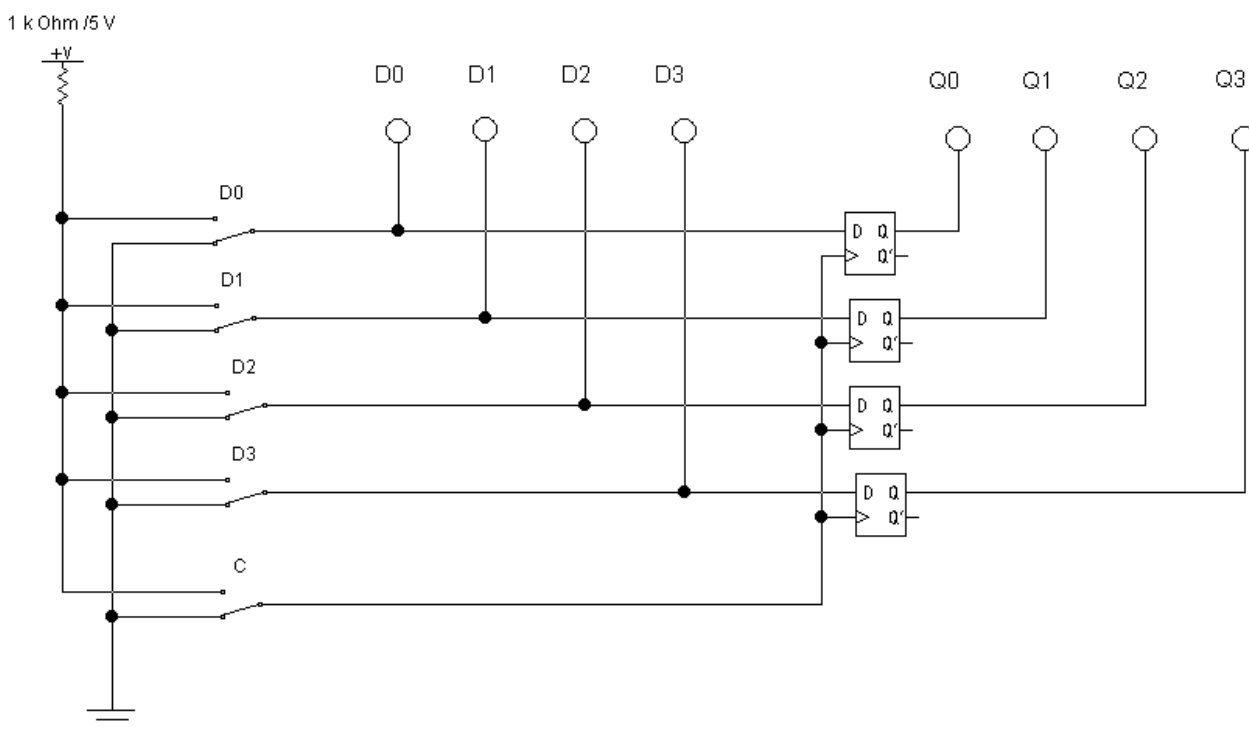


Рис. 20. Схема четырехразрядного параллельного регистра.

Включите схему. Исследуйте работу полученного двоичного четырехразрядного регистра, заполнив таблицу истинности, приведенную ниже (табл. 9).

Примечание. Запись числа в регистр происходит по переднему фронту разрешающего импульса и сохраняется до появления следующего импульса.

Таблица 9.
Параллельный регистр

Входы				Выходы			
D0	D1	D2	D3	Q0	Q1	Q2	Q3
0	0	0	0				
0	0	0	1				
0	0	1	0				
0	0	1	1				
0	1	0	0				
0	1	0	1				
0	1	1	0				
0	1	1	1				
1	0	0	0				
1	0	0	1				
1	0	1	0				
1	0	1	1				
1	1	0	0				
1	1	0	1				
1	1	1	0				
1	1	1	1				

4.2. Исследование параллельного регистра.

Создайте схему, изображенную на рис. 21.

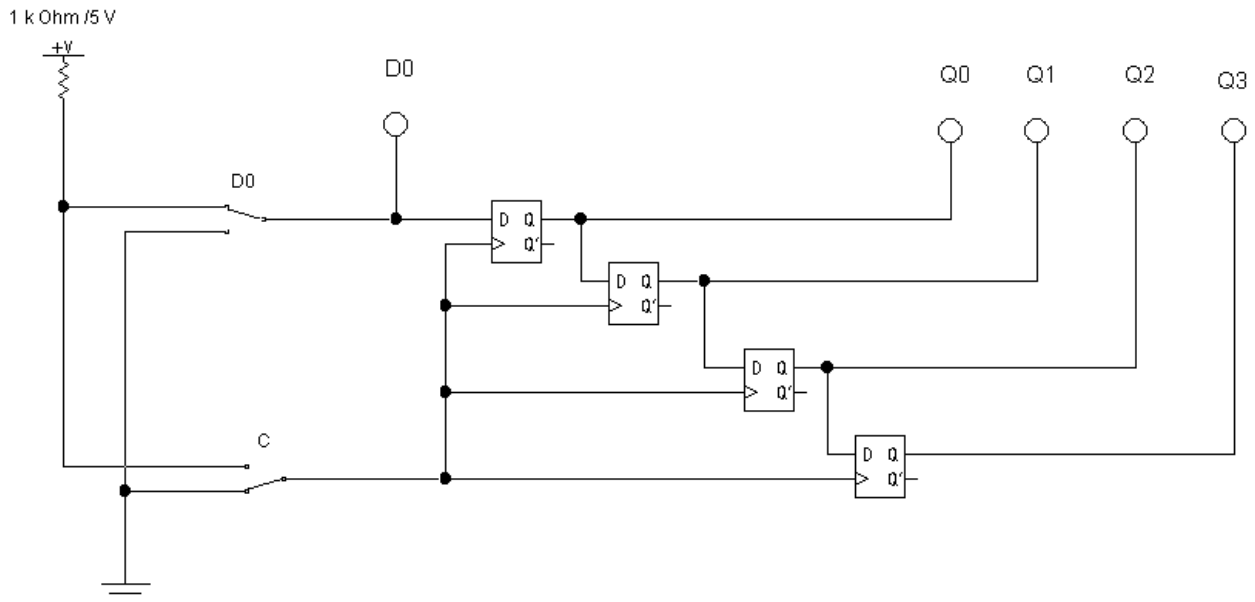


Рис. 21. Схема четырехразрядного последовательного регистра.

Включите схему. Согласно вашему варианту из табл. 10 необходимо выбрать двоичное число, которое требуется получить на выходе регистра сдвига (последовательного регистра).

Таблица 10.

Варианты задания числа для последовательного регистра

Вариант	Число			
	Q0	Q1	Q2	Q3
1	0	0	1	1
2	0	1	0	0
3	0	1	0	1
4	0	1	1	0
5	0	1	1	1
6	1	0	0	0
7	1	0	0	1
8	1	0	1	0
9	1	0	1	1
10	1	1	0	0

Задавая необходимые комбинации на входе $D0$ и занося информацию в регистр с помощью сигнала разрешения C , добейтесь получения на выходе $Q0 Q1 Q2 Q3$ требуемого числа.

Постройте временную диаграмму получения в регистре сдвига требуемого числа.

Контрольные вопросы

1. Дайте определение сумматора.
2. Опишите принцип работы сумматоров.
3. Чем отличается полусумматор от сумматора?
4. Как можно составить схему четырехразрядного сумматора в EWB?
5. Приведите примеры применения сумматоров.
6. На основе каких видов триггеров можно получить схему счетчика?
7. Как из суммирующего счетчика получить вычитающий?
8. Что такое коэффициент пересчета счетчика?
9. Как можно вычислить коэффициент пересчета счетчика?
10. Как можно изменить коэффициент пересчета счетчика?
11. Дайте определение регистра.
12. Чем отличается последовательный регистр от параллельного?
13. Приведите примеры использования параллельных регистров.
14. Приведите примеры использования последовательных регистров.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Янсен Й. Курс цифровой электроники: В 4-х т. – Т. 2. Проектирование устройств на цифровых ИС /пер. с голланд. – М.: Мир, 1987.
2. Блейкли Т.Р. Проектирование цифровых устройств с малыми и большими интегральными схемами /пер. с англ. – К.: Выща школа, 1981.
3. Трачик В. Дискретные устройства автоматики /пер. с польск., под ред. Д.А. Пospelова. – М.: Энергия, 1978.
4. Аппаратные средства макетирования узлов и устройств ЭВМ /Ковригин Б.Н., Сидуков В.М., Мифтахов Р.К., Тышкевич В.Г., Иванов М.А.; под ред. Б.Н. Ковригина: учебное пособие. – М.: МИФИ, 1991.
5. Ковригин Б.Н. Триггерные схемы. – Ч. 1. Описание и классификация. – М.: МИФИ, 1976.
6. Ковригин Б.Н. Триггерные схемы. – Ч. 2. Синтез и анализ. – М.: МИФИ, 1977.
7. Миллер Р. Теория переключательных схем. В 2-х т. – Т. 1. Комбинационные схемы /пер. с англ.; под ред. П.П. Пархоменко. – М.: Наука, 1970.
8. Голдсуорт Б. Проектирование цифровых логических устройств /пер. с англ.; под ред. Ю.И.Топчеева. – М.: Машиностроение, 1985.
9. Самофалов К.Г., Корнейчук В.И., Тарасенко В.П. Цифровые ЭВМ: Теория и проектирование /под общ. ред. К.Г. Самофалова. – 3-е изд., перераб. и доп. – К.: Выща школа, 1989.
10. Антонию А. Цифровые фильтры: анализ и проектирование /пер. с англ. – М.: Радио и связь, 1983.
11. Электротехника и электроника в экспериментах и упражнениях. Практикум на Electronics Workbench /под общ. ред. Д. И. Панфилова. – Т. 2 – Электроника. –М.: Додека, 2000.
12. Лачин В.И., Савелов Н.С.. Электроника: учеб. пособие. – Ростов н/Д: Феникс, 2004.
13. Прянишников В.А. Электроника. Полный курс лекций. – СПб.: Корона принт, 2004.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1	
ИЗУЧЕНИЕ ЛОГИЧЕСКИХ СХЕМ И ФУНКЦИЙ.....	4
Краткие теоретические сведения	
1. Основные определения и аксиомы алгебры логики.....	5
2. Логические выражения.....	6
3. Логические тождества.....	6
4. Логические функции.....	6
5. Логические схемы.....	7
6. Таблица истинности.....	8
7. Получение логических выражений.....	9
Порядок работы	
Задание 1. Исследование логической функции «И».....	11
Задание 2. Исследование логической функции «И-НЕ».....	13
Задание 3. Исследование логической функции «ИЛИ»	14
Задание 4. Исследование логической функции «ИЛИ-НЕ».....	15
Задание 5. Исследование логических схем с помощью генератора слов.....	17
Задание 6. Реализация логической функции 3-х и большого числа переменных.....	22
Контрольные вопросы.....	26
Упражнения	
1. Получение логических функций.....	27
2. Построение структурных схем.....	28
3. Составление логических функций.....	28

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2

ИЗУЧЕНИЕ РАБОТЫ ШИФРАТОРОВ, ДЕШИФРАТОРОВ И

МУЛЬТИПЛЕКСОРОВ..... 34

Краткие теоретические сведения

1. Комбинационные схемы..... 34

2. Шифраторы..... 35

3. Дешифраторы..... 35

4. Мультиплексоры..... 39

5. Реализация логических функций..... 41

Порядок работы

Задание 1. Исследование работы шифратора..... 46

Задание 2. Исследование работы дешифраторов..... 48

Задание 3. Применение дешифраторов..... 51

Задание 4. Исследование работы мультиплексора..... 54

Задание 5. Реализация логической функции с помощью
мультиплексора..... 57

Контрольные вопросы..... 58

Упражнения

1. Применение дешифраторов 58

2. Применение мультиплексора 60

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3

ИЗУЧЕНИЕ РАБОТЫ ТРИГГЕРОВ..... 61

Краткие теоретические сведения

Триггеры..... 61

1. Триггер типа RS..... 62

2. JK-триггер..... 65

3. D-триггер..... 67

4. T-триггер (счетный триггер)..... 68

Порядок работы

Задание 1. Исследование работы схемы RS триггера..... 70

Задание 2. Исследование работы JK-триггера..... 73

<i>Задание 3. Исследование работы D-триггера.....</i>	75
<i>Задание 4. Исследование работы T триггера.....</i>	77
Контрольные вопросы.....	79
Упражнения	
<i>Построение временных диаграмм.....</i>	79

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4

ИЗУЧЕНИЕ СУММАТОРОВ, ПОЛУСУММАТОРОВ, РЕГИСТРОВ И СЧЕТЧИКОВ.....	81
---	----

Краткие теоретические сведения

<i>Сумматоры и полусумматоры.....</i>	81
1. <i>Сумматоры по модулю два.....</i>	82
2. <i>Полусумматоры.....</i>	83
3. <i>Одноразрядные сумматоры.....</i>	84
4. <i>Многоразрядные сумматоры.....</i>	85
<i>Счетчики.....</i>	85
1. <i>Изменение направления счета.....</i>	86
2. <i>Изменение коэффициента пересчета.....</i>	88
<i>Регистры.....</i>	91
1. <i>Параллельный регистр.....</i>	91
2. <i>Последовательный регистр.....</i>	92

Порядок работы

<i>Задание 1. Изучение полусумматоров и сумматоров.....</i>	93
<i>Задание 2. Исследование работы суммирующего и вычитающего счетчиков.....</i>	98
<i>Задание 3. Исследование счетчика с измененным коэффициентом пересчета.....</i>	99
<i>Задание 4. Исследование регистров.....</i>	101
Контрольные вопросы.....	103

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	104
-------------------------------	-----