

Министерство образования и молодежной политики
Чувашской Республики
Государственное автономное профессиональное
образовательное учреждение Чувашской Республики
«Чебоксарский техникум транспортных и строительных технологий»
(ГАПОУ «Чебоксарский техникум ТрансСтройТех»
Минобразования Чувашии)



Ю. В. Гуськов

Исследование электронных приборов и устройств
в программе Electronics Workbench 5.12

Лабораторный практикум

Чебоксары 2020

ББК 31.21
Г-96

Рецензенты:

Андреев С.Б., преподаватель высшей категории ГАПОУ «Чебоксарский техникум ТрансСтройТех» Минобразования Чувашии.

Иванов М.Ю., кандидат технических наук, доцент кафедры «Транспортные, технологические машины и наземные транспортно-технологические средства» Волжского филиала МАДИ.

Гуськов Ю. В.

Исследование электронных приборов и устройств в программе Electronics Workbench 5.12: Лабораторный практикум. - Чебоксары: Изд-во Чебоксарского техникума ТрансСтройТех, 2020. – 59 с.: ил.

Приведены общие сведения о программе Electronics Workbench 5.12, описания компонентов, измерительных приборов, рекомендации по моделированию электрических схем, лабораторный практикум по основам электроники.

Для студентов специальностей 23.02.04 Техническая эксплуатация подъемно-транспортных, строительных, дорожных машин и оборудования, 22.02.06 Сварочное производство, 35.02.03 Технология деревообработки, профессий 23.01.06 Машинист дорожных и строительных машин, 15.01.05 Сварщик (ручной и частично механизированной сварки (наплавки)).

Рассмотрено и одобрено предметно-цикловой комиссией «Дорожник» ГАПОУ «Чебоксарский техникум ТрансСтройТех» Минобразования Чувашии (протокол № 02 от 15 октября 2020 г.).

Рекомендовано методическим советом ГАПОУ «Чебоксарский техникум ТрансСтройТех» Минобразования Чувашии (протокол № __ от __ ____ 2020 г.).

ББК 31.21

© Ю. В. Гуськов, 2020
© Чебоксарский техникум
ТрансСтройтех, 2020

Содержание

ВВЕДЕНИЕ	4
1. КОМПОНЕНТЫ ELECTRONICS WORKBENCH 5.12	5
1.1. Группа Sources	5
1.2. Группа Basic	6
1.3. Группа Diodes	7
1.4. Группа Transistors	8
1.5. Группа Analog ICs	9
1.6. Группа Mixed ICs	9
1.7. Группа Digital ICs	10
1.8. Группа Logic Gates	11
1.9. Группа Digital	12
1.10. Группа Indicators	13
1.11. Группа Controls	14
1.12. Группа Miscellaneous	15
1.13. Группа Instruments	16
2. МОДЕЛИРОВАНИЕ СХЕМ ЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ	17
3. ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ	18
Лабораторная работа 1. Исследование стабилитронов	18
Лабораторная работа 2. Исследование полевых транзисторов	21
Лабораторная работа 3. Исследование тиристорov	24
Лабораторная работа 4. Исследование однофазных выпрямителей	27
Лабораторная работа 5. Исследование электрических фильтров	30
Лабораторная работа 6. Исследование усилительных каскадов	33
Лабораторная работа 7. Исследование операционных усилителей	36
Лабораторная работа 8. Исследование электронных генераторов	39
Лабораторная работа 9. Исследование логических элементов	41
Лабораторная работа 10. Исследование триггеров	45
Лабораторная работа 11. Исследование преобразователей сигналов ...	49
Лабораторная работа 12. Исследование счетчиков и регистров	52
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	56
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	57

ВВЕДЕНИЕ

Проведение занятий по дисциплинам «Основы электротехники», «Электротехника», «Электротехника и электроника» в учреждениях среднего профессионального образования предусматривает проведение лекционных уроков, практических занятий и лабораторных работ, требует наличия материально-технической базы и оснащения учебных кабинетов современным оборудованием.

В настоящее время для проведения лабораторных работ по разделу «Основы электроники» все большее применение получают пакеты прикладных программ и электронные лаборатории. Моделирование электронных приборов и устройств на компьютерах позволяет обойтись без дорогостоящих измерительных приборов и стендов, уменьшить погрешности экспериментов, сократить время опытов, незаменимо при дистанционном обучении.

Для исследования электрических схем и электронных устройств широко применяются такие программы, как Electronics Workbench 5.12, NI MULTISIM, Micro-Cap, Matlab, Proteus 7.7 и др.

Моделирование электрических схем в Electronics Workbench 5.12 предусматривает следующие операции: выбор компонентов и приборов из библиотек; перемещение элементов на рабочее поле; поворот компонентов и групп компонентов; соединение компонентов схемы между собой; присваивание компонентам условных обозначений; включение схем и получение показаний приборов и графических зависимостей. Все операции производятся при помощи мыши и клавиатуры.

В программе имеется возможность одновременного наблюдения нескольких экспериментальных кривых на графике, изменения цвета кривых, измерения координат точек кривых.

Программа EWB 5.12 проста в освоении и удобна в работе, отличается широким набором электронных компонентов и наличием измерительных приборов, которые по внешнему виду, органам управления и характеристикам приближены к реальным промышленным аналогам. Названные достоинства программы обуславливают ее широкое и многолетнее применение в учебных заведениях России.

1. КОМПОНЕНТЫ ELECTRONICS WORKBENCH 5.12

Панель компонентов программы EWB 5.12 (рисунок 1) содержит пиктограммы тринадцати групп: 1 – Sources (Источники); 2 - Basic (Базовые компоненты); 3 – Diodes (Диоды); 4 - Transistors (Транзисторы); 5 - Analog ICs (Аналоговые микросхемы); 6 - Mixed ICs (Микросхемы смешанного типа); 7 - Digital ICs (Цифровые микросхемы); 8 - Logic Gates (Логические цифровые микросхемы); 9 - Digital (Цифровые микросхемы); 10 - Indicators (Индикаторные устройства); 11 - Controls (Аналоговые вычислительные устройства); 12 - Miscellaneous (Компоненты смешанного типа); 13 - Instruments (Контрольно-измерительные приборы).

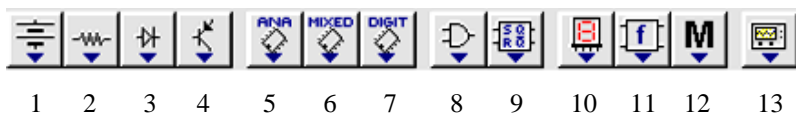


Рисунок 1 - Панель компонентов

Рассмотрим компоненты более детально, для этого приведем характеристику каждой группы.

1.1. Группа Sources

Группа Sources (Источники) содержит набор идеальных источников напряжения и тока (рисунок 2).

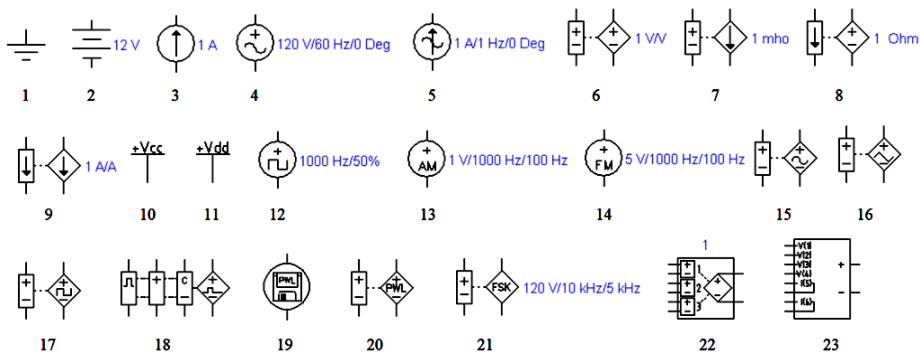


Рисунок 2 - Компоненты группы Sources

Компоненты на рисунке 2 пронумерованы для того, чтобы при их описании ссылаться на эти номера:

- 1 – заземление;
- 2 – источник постоянного напряжения;
- 3 – источник постоянного тока;
- 4 – источник переменного синусоидального напряжения;
- 5 – источник переменного синусоидального тока;
- 6 – источник напряжения, управляемый напряжением;
- 7 – источник напряжения, управляемый током;
- 8 – источник тока, управляемый напряжением;
- 9 – источник тока, управляемый током;
- 10 – источник питания ТТЛ-логики;
- 11 – источник питания КМОП-логики;
- 12 – генератор однополярных прямоугольных импульсов;
- 13 – генератор амплитудно-модулированных колебаний;
- 14 – генератор фазомодулированных колебаний;
- 15, 16, 17, 18 – источники напряжения, управляемые синусоидальным, треугольным и прямоугольным по форме сигналами;
- 19 – источник сигнала подается от внешнего устройства;
- 20, 21 – источники напряжения, управляемые внешним и фазомодулированными сигналами;
- 22 – полиномиальный источник питания;
- 23 – источник питания с переключаемыми напряжениями.

1.2. Группа Basic

В группу Basic (Базовые компоненты) включены узел, резисторы, конденсаторы, катушки индуктивности, переключатели, выключатели, трансформаторы и электромагнитное реле (рисунок 3):

- 1 – узел (точка соединения проводников);
- 2 – резистор;
- 3 – конденсатор;
- 4 – катушка индуктивности;
- 5 – трансформатор;
- 6 – электромагнитное реле с контактами;
- 7 – переключатель, по умолчанию управляемый клавишей [Space];
- 8 – переключатель, автоматически срабатывающий через заданное время;
- 9, 10 – переключатель, срабатывающий в заданном диапазоне входных напряжений (токов);

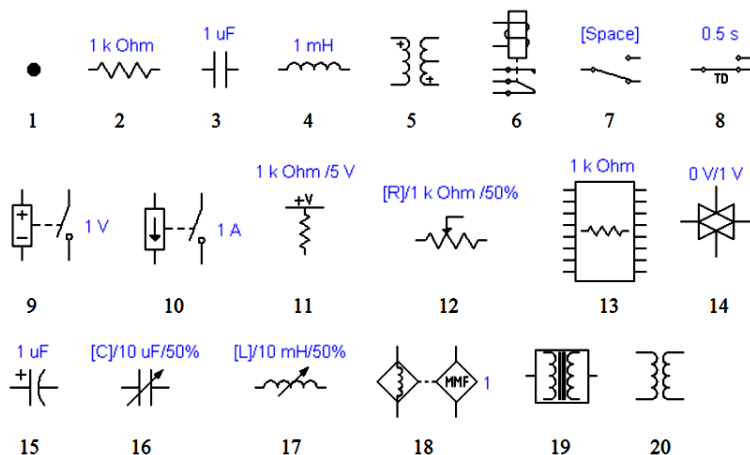


Рисунок 3 - Компоненты группы Basic

- 11 – источник постоянного напряжения с последовательно включенным резистором;
- 12 – потенциометр;
- 13 – сборка (пакет) из резисторов, имеющих одинаковую величину сопротивления;
- 14 – переключатель, управляемый напряжением;
- 15 – электролитический конденсатор;
- 16 – конденсатор переменной емкости;
- 17 – катушка переменной индуктивности;
- 18 – катушка с сердечником в виде спирали;
- 19 – катушка с магнитным сердечником;
- 20 – трансформатор с нелинейной характеристикой.

1.3. Группа Diodes

В группе Diodes (Диоды) представлены модели диодов, тиристоров и выпрямительный мост (рисунок 4).

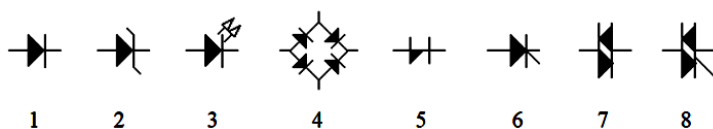


Рисунок 4 – Компоненты группы Diodes

- 1 – полупроводниковый диод;
- 2 – стабилитрон;
- 3 – светодиод;
- 4 – выпрямительный мост;
- 5 – диод Шоттки;
- 6 – тиристор или динистор;
- 7 – симметричный динистор (диак);
- 8 – симметричный тринистор (триак).

1.4. Группа Transistors

В группу Transistors (Транзисторы) входят модели биполярных и полевых транзисторов (рисунок 5).

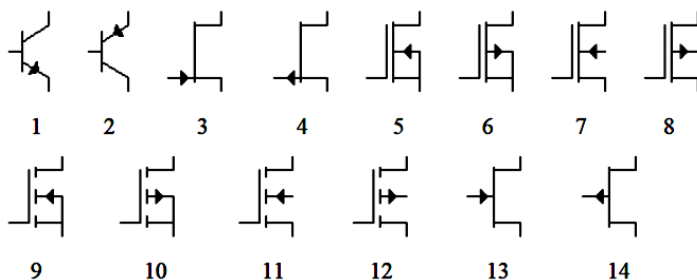


Рисунок 5 – Компоненты группы Transistors

- 1, 2 – биполярные транзисторы n-p-n и p-n-p-типов;
- 3, 4 – полевые транзисторы с управляющим p-n-переходом (JFET) n- и p-канальный соответственно;
- 5...8 – полевые транзисторы с изолированным затвором и встроенным каналом (Depletion MOSFETs);
- 9...12 – полевые транзисторы с изолированным затвором и индуцированным каналом (Enhancement MOSFETs);
- 13, 14 – полевые арсенид-галлиевые транзисторы с каналами n- и p-типов соответственно.

1.5. Группа Analog ICs

В группе Analog ICs (Аналоговые микросхемы) представлены операционные усилители (ОУ) и микросхема фазовой автоподстройки частоты (рисунок 6).

Операционный усилитель предназначен для работы с обратной связью. Он имеет очень высокий коэффициент усиления по напряжению, высокое входное и низкое выходное сопротивление. Вход «+» является неинвертирующим, вход «-» – инвертирующим.

Модель ОУ позволяет задавать параметры: коэффициент усиления, напряжение смещения, входные токи, входное и выходное сопротивления. Входные и выходные сигналы усилителя должны быть заданы относительно земли.

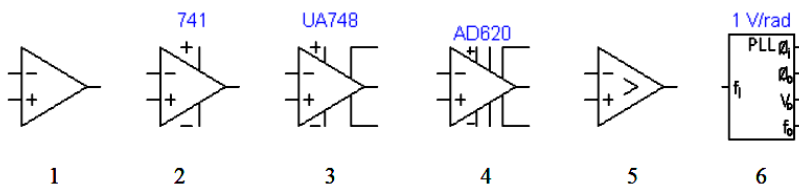


Рисунок 6 – Компоненты группы Analog ICs

- 1 – линейная модель ОУ с тремя выводами;
- 2 – нелинейная модель ОУ с пятью выводами;
- 3 – нелинейная модель ОУ с семью выводами;
- 4 – нелинейная модель ОУ с девятью выводами;
- 5 – компаратор;
- 6 – микросхема фазовой автоподстройки частоты (Phase-Locked Loop).

1.6. Группа Mixed ICs

Группа Mixed ICs (Микросхемы смешанного типа) содержит преобразователи сигналов, моностабильный мультивибратор и таймер 555 (рисунок 7):

- 1 – 8-разрядный аналого-цифровой преобразователь (АЦП или ADC);
- 2 – 8-разрядный цифроаналоговый преобразователь (ЦАП или DAC) с внешним опорным источником напряжения и парафазным выходом;

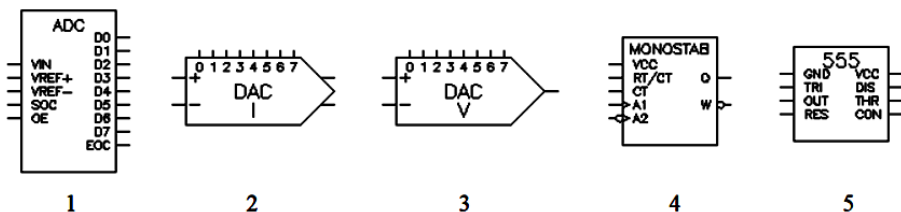


Рисунок 7 – Компоненты группы Mixed ICs

- 3 – 8-разрядный цифроаналоговый преобразователь (ЦАП или DAC) с внешним опорным источником напряжения;
- 4 – моностабильный одновибратор;
- 5 – таймер 555.

АЦП производит преобразование аналогового напряжения в число.

ЦАП осуществляет преобразование цифрового сигнала в аналоговый.

Моностабильный одновибратор вырабатывает импульс фиксированной длительности в ответ на управляющий перепад на его входе. Длина выходного импульса определяется внешней времязадающей RC-цепью.

Таймер 555 – интегральная схема (ИС), употребляемая как мультивибратор, одновибратор или управляемый напряжением генератор. Состояние выхода таймера определяется внешней времязадающей RC-цепью.

1.7. Группа Digital ICs

В группу Digital ICs (Цифровые микросхемы) включены микросхемы серий 74xx, 741xx...744xx, 4xxx (рисунок 8):

- 1 – шаблон для выбора цифровых микросхем серии 74xx;
- 2...5 – шаблоны для выбора цифровых микросхем серий 741xx...744xx;
- 6 – шаблон для выбора цифровых микросхем серии 4xxx.

Над каждым из номеров показана одна микросхема из данного шаблона. Изображения шаблонов размещены сверху над схемами.

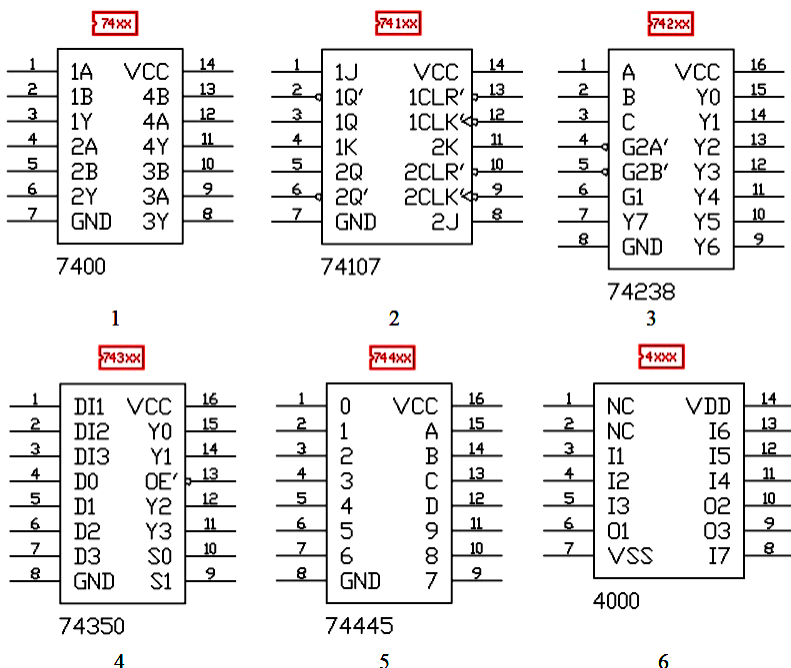


Рисунок 8 – Компоненты группы Digital ICs

1.8. Группа Logic Gates

Группа Logic Gates (логические цифровые микросхемы) содержит модели логических элементов, триггера Шмитта с инвертором (рисунок 9).

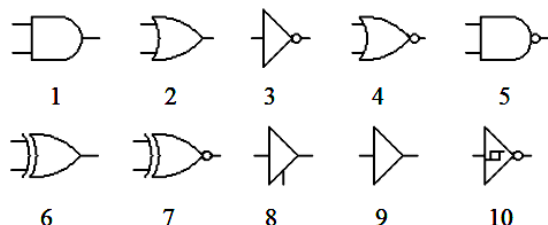


Рисунок 9 – Компоненты группы Logic Gates

- 1 – логический элемент И;
- 2 – логический элемент ИЛИ;
- 3 – логический элемент НЕ;
- 4 – логический элемент ИЛИ-НЕ;
- 5 – логический элемент И-НЕ;
- 6 – логический элемент ИСКЛЮЧАЮЩЕЕ ИЛИ;
- 7 – логический элемент ИЛИ-НЕ;
- 8 – логический элемент ТРЕХСТАБИЛЬНЫЙ БУФЕР;
- 9 – логический элемент БУФЕР;
- 10 – триггер Шмитта с инвертером.

1.9. Группа Digital

Группу Digital (Цифровые микросхемы) представляют полусумматор, сумматор, триггеры, шаблоны серийных микросхем (рисунок 10).

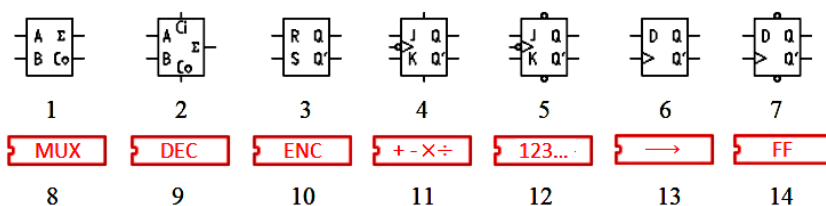


Рисунок 10 – Компоненты группы Digital

1 – арифметический полусумматор (A, B – ввод слагаемых, Σ - выход результата суммы, Co – выход переноса);

2 – полный арифметический сумматор (Ci – ввод переноса);

3 – RS-триггер (R, S – входы предустановки, Q, Q' - прямой и инверсный выходы);

4, 5 – JK-триггеры с прямым или инверсным тактовым входом и выходами);

6, 7 – D-триггеры без предустановки и со входами предустановки;

8...14 – шаблоны серийных микросхем (мультиплексоры, декодеры/демультиплексоры, кодеры, элементы арифметико-логических устройств).

1.10. Группа Indicators

В группе Indicators (Индикаторные устройства) присутствуют вольтметр, амперметр, лампа накаливания, пробник логического уровня, индикаторы, зуммер, линейки из светодиодов (рисунок 11).

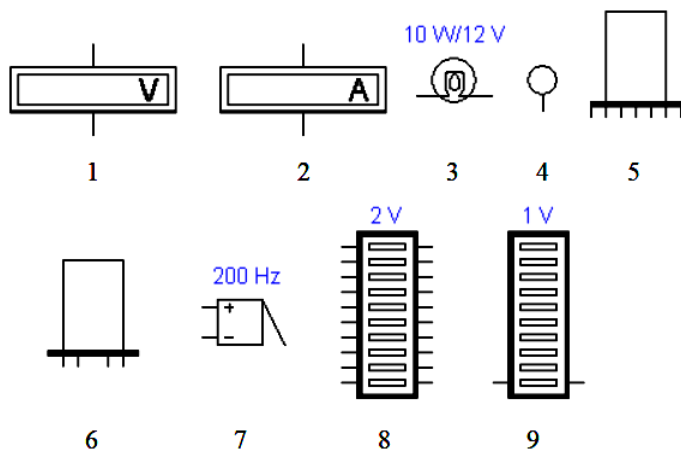


Рисунок 11 – Компоненты группы Indicators

- 1 – вольтметр;
- 2 – амперметр;
- 3 – лампа накаливания;
- 4 – пробник логического уровня;
- 5 – семисегментный индикатор;
- 6 – дешифрирующий семисегментный индикатор;
- 7 – зуммер для звуковой индикации;
- 8 – линейка из десяти независимых светодиодов;
- 9 – линейка из десяти светодиодов со встроенным АЦП.

1.11. Группа Controls

Группа Controls (Аналоговые вычислительные устройства) содержит модели разнообразных вычислительных устройств (рисунок 12).

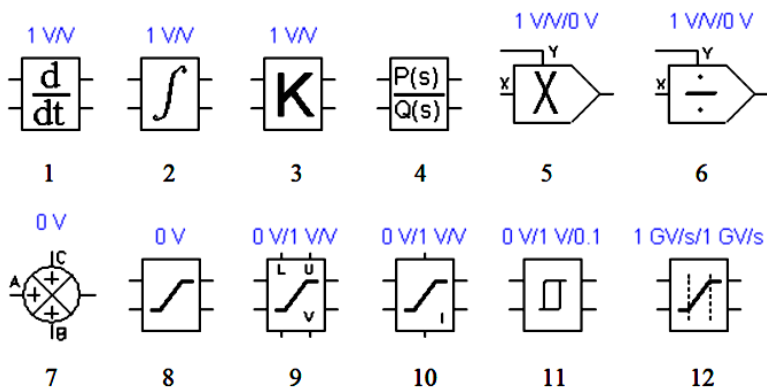


Рисунок 12 – Компоненты группы Controls

- 1 – дифференциатор напряжений;
- 2 – интегратор напряжения;
- 3 – масштабирующее звено;
- 4 – формирователь передаточных функций;
- 5 – аналоговый умножитель;
- 6 – аналоговый делитель;
- 7 – сумматор трех напряжений;
- 8 – неуправляемый ограничитель напряжения;
- 9 – управляемый ограничитель напряжения;
- 10 – управляемый ограничитель тока;
- 11 – блок с гистерезисной характеристикой по напряжению;
- 12 – селектор сигналов по напряжению.

1.12. Группа Miscellaneous

Представителями группы Miscellaneous (Компоненты смешанного типа) являются модели устройства записи данных, длинных линий, кварцевый резонатор, двигатель постоянного тока и др.

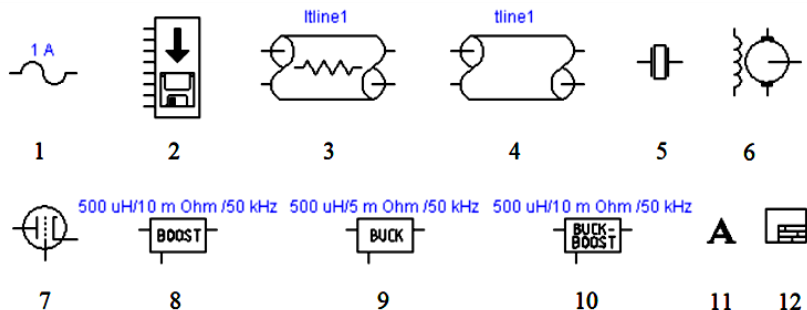


Рисунок 13 – Компоненты группы Miscellaneous

- 1 – предохранитель;
- 2 – 8-разрядное устройство записи данных;
- 3 – линия передачи с потерями;
- 4 – линия передачи без потерь;
- 5 – кварцевый резонатор;
- 6 – коллекторный двигатель постоянного тока;
- 7 – электровакуумный триод;
- 8...10 – фильтры накопительные на переключаемых индуктивностях;
- 11 – создание текста (вывести значок на экран и выполнить двойной щелчок мышью);
- 12 – оформление титульного блока.

Линия передачи с потерями характеризуется длиной LEN (м), сопротивлением на единицу длины R (Ом/м), индуктивностью на единицу длины L (Гн/м), емкостью на единицу длины C (Ф/м), проводимостью на единицу длины G (См/м), количеством последовательно включенных сегментов n .

Линия передачи без потерь представляет возможность редактирования волнового сопротивления Z_0 (Ом) и времени задержки распространения сигнала в линии TD (с).

1.13. Группа Instruments

В группе Instruments (Контрольно-измерительные приборы) представлены модели аналоговых и цифровых приборов (рис. 1.14).

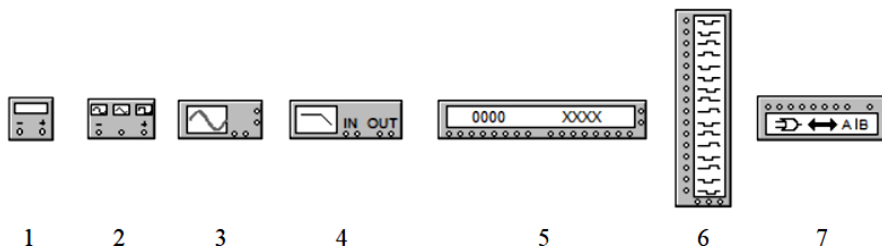


Рисунок 14 – Компоненты группы Instruments

- 1 – мультиметр;
- 2 – функциональный генератор;
- 3 – осциллограф;
- 4 – анализатор частотных характеристик;
- 5 – генератор слов;
- 6 – логический анализатор;
- 7 – логический преобразователь.

Мультиметр (Multimeter) предназначен для измерения напряжения тока или сопротивления. Выбор режима измерения осуществляется нажатием соответствующей кнопки.

Функциональный генератор (Function Generator) используется для формирования синусоидальных, треугольных или прямоугольных сигналов. На панели прибора можно изменять амплитуду и частоту сигнала, амплитуду напряжения и смещение.

Осциллограф (Oscilloscope) позволяет наблюдать форму сигналов, поступающих на два входа прибора.

Анализатор частотных характеристик (Bode Plotter) позволяет получать амплитудно-частотные и фазочастотные характеристики.

Генератор слов (Word Generator) предназначен для создания на выходных зажимах последовательности 16-разрядных двоичных слов.

Логический анализатор (Logic Analyzer) используется для наглядного представления и измерения параметров цифрового сигнала.

Логический преобразователь (Logic Converter) выполняет функциональные преобразования в цифровой схеме.

2. МОДЕЛИРОВАНИЕ СХЕМ ЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ

Процесс моделирования схем электронных устройств включает в себя следующие операции:

- поиск компонентов в группах и размещение их на рабочем столе программы;
- соединение компонентов проводами;
- обозначение компонентов и установка значений их параметров;
- запуск моделирования и получение результатов.

Поиск компонентов и размещение их на рабочем поле EWB 5.12 производится с помощью мыши. Выбранный компонент «захватывается» и «устанавливается» в нужное место окна схем при нажатой левой клавише мыши.

Соединение выводов компонентов друг с другом осуществляется с помощью проводов. Для создания проводника выделяют узел первого компонента, перемещают мышь по короткой траектории к выводу другого элемента и отпускают левую кнопку мыши.

Обозначение компонентов производят в поле Label, установку параметров – в поле Value (рисунок 15).

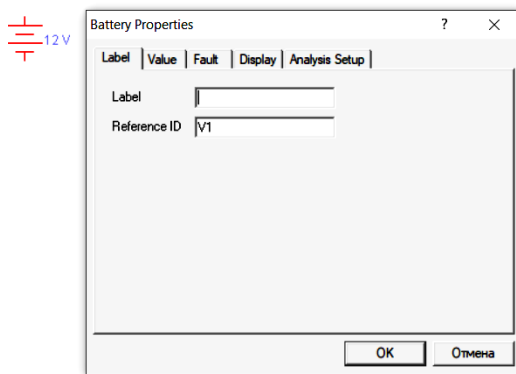



Рисунок 15 - Установка обозначений и параметров компонентов

Запуск моделирования осуществляется нажатием кнопки  в правом верхнем углу рабочего поля программы EWB 5.12. Результаты моделирования записывают по измерительным приборам.

3. ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ

Лабораторная работа 1. Исследование стабилитронов

Цель работы. Исследование цепей со стабилитронами, снятие и построение вольт-амперных характеристик, расчет параметров.

Эксперимент 1. Измерение напряжения и тока в цепи со стабилитроном

1. Собрать схему электрической цепи, изображенной на рисунке 16.

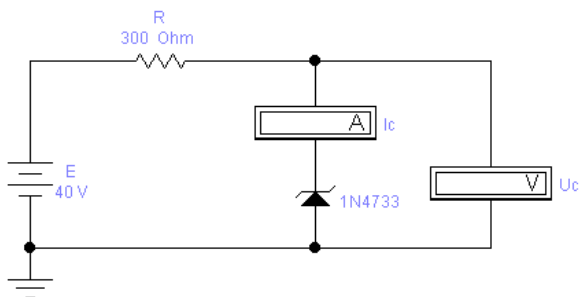


Рисунок 16 - Цепь со стабилитроном

2. Измерить значение напряжения U_c на стабилитроне и тока I_c через него при значениях ЭДС источника, приведенных в таблице 1.

Таблица 1 - Результаты первого эксперимента

$E, \text{В}$	$U_c, \text{В}$	$I_c, \text{мА}$
0		
4		
6		
10		
15		
20		
25		
30		
40		

3. Построить вольт-амперную характеристику (ВАХ) стабилитрона по данным таблицы 1.
4. Определить по ВАХ напряжение стабилизации $U_{ст}$.
5. Вычислить мощность $P_{ст} = U_c I_c$, рассеиваемую на стабилитроне при значении ЭДС источника $E = 20 \text{ В}$.
6. Измерить наклон ВАХ в области стабилизации напряжения и оценить дифференциальное сопротивление стабилитрона в этой области ($R_{диф} = \Delta U_c / \Delta I_c$).

Эксперимент 2. Получение нагрузочной характеристики параметрического стабилизатора

1. Собрать схему параметрического стабилизатора по рисунку 17.

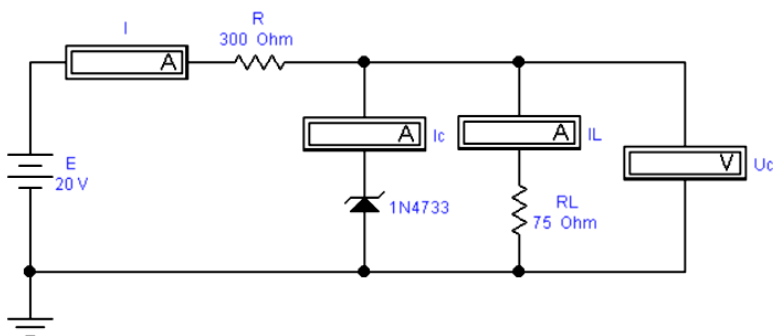


Рисунок 17 – Схема параметрического стабилизатора

2. Изменяя сопротивление резистора R_L , получить значения измерительных приборов и занести их в таблицу 2.

Таблица 2 - Результаты второго эксперимента

$R_L, \text{ Ом}$	$U_c, \text{ В}$	$I, \text{ А}$	$I_c, \text{ А}$	$I_L, \text{ А}$
75				
100				
200				
300				
600				
1000				
КЗ				

Эксперимент 3. Получение вольт-амперной характеристики стабилитрона на экране осциллографа

1. Собрать схему цепи, изображенной на рисунке 18.

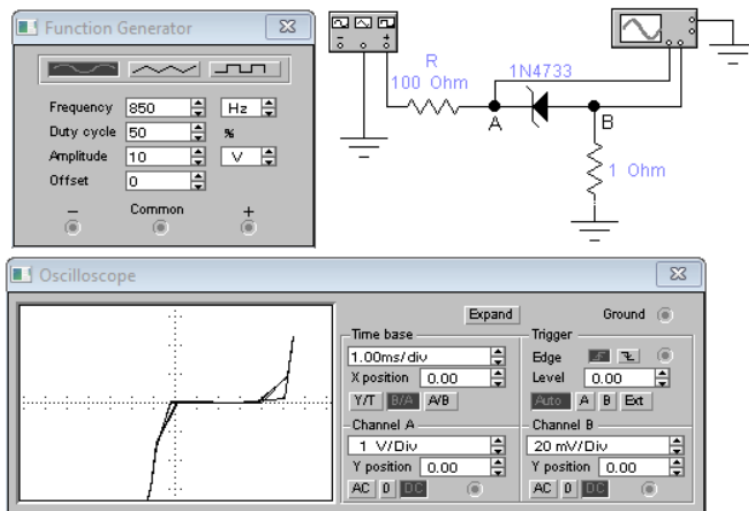


Рисунок 18 - Схема электрической цепи

2. Установить настройки функционального генератора и осциллографа.
3. Включить схему. Получить вольт-амперную характеристику стабилитрона.
4. Определить по ВАХ напряжение стабилизации

Содержание отчета:

- тема и цель работы;
- результаты экспериментов 1...3.;
- выводы по работе.

Лабораторная работа 2. Исследование полевых транзисторов

Цель работы. Исследование полевых транзисторов, снятие и построение характеристик, расчет параметров.

Эксперимент 1. Исследование полевого транзистора с управляющим p-n-переходом

1. Собрать схему электрической цепи по рисунку 19.

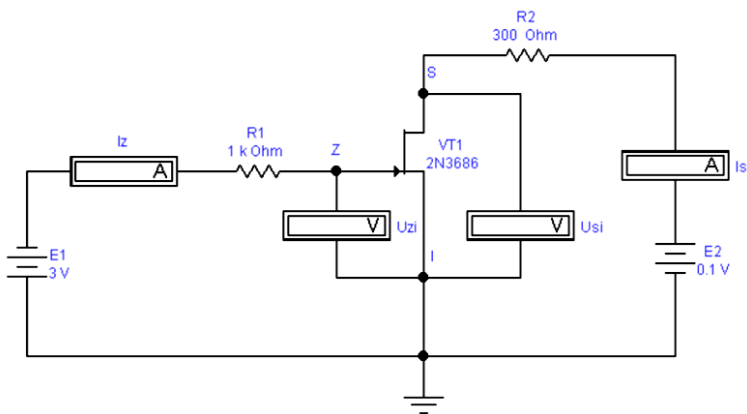


Рисунок 19 - Схема исследуемой цепи

2. Изменяя напряжения $U_{зи}$ источником E1 и $U_{си}$ источником E2, снять выходные характеристики полевого транзистора $I_c(U_{си})$ при $U_{зи} = \text{const}$. Результаты занести в таблицу 3

Таблица 3 – Результаты первого эксперимента

Параметры			$U_{си}, \text{В}$							
$U_{зи}, \text{В}$	$I_z, \text{мкА}$	$I_c, \text{мкА}$	0,1	0,5	1	2	4	6	8	10
-3										
-0,6										
-0,5										
-0,2										
0										
0,2										

3. Построить выходные характеристики транзистора $I_C(U_{СИ})$ при $U_{ЗИ} = \text{const}$ на одном графике.

4. Определить дифференциальное сопротивление транзистора для $U_{ЗИ} = 0$ В по формуле $R_{\text{диф}} = \Delta U_{СИ} / \Delta I_C$.

5. Записать первый и последний столбцы из таблицы 3 в виде таблицы 4.

Таблица 4 - Результаты снятия стокзатворной характеристики

$U_{ЗИ}, \text{В}$	0,2	0	-0,2	-0,5	-0,6	-3
$I_C, \text{мкА}$						

6. Построить передаточную характеристику транзистора $I_C(U_{ЗИ})$ при $U_{СИ} = 10$ В.

7. Определить напряжение отсечки $U_{\text{отс}}$ для $I_C = 0$.

8. Определить крутизну передаточной характеристики по формуле $S = \Delta I_C / \Delta U_{ЗИ}$ (мкСм).

Эксперимент 2. Исследование полевого транзистора с изолированным затвором

1. Собрать схему электрической цепи по рисунку 20.

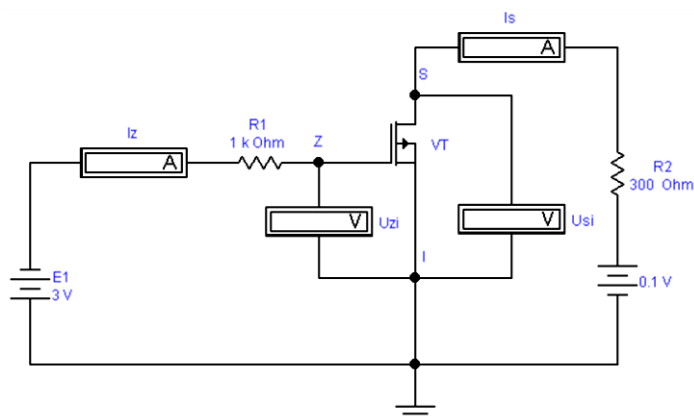


Рисунок 20 - Схема исследуемой цепи

2. Изменяя напряжения $U_{зи}$ источником Е1 и $U_{си}$ источником Е2, снять выходные характеристики полевого транзистора $I_C(U_{си})$ при $U_{зи} = \text{const}$. Результаты занести в таблицу 5.

Таблица 5 – Результаты второго эксперимента

Параметры			$U_{си}, \text{В}$							
$U_{зи}, \text{В}$	$I_3, \text{мкА}$	$I_C, \text{мкА}$	0,1	0,5	1	2	4	6	8	10
-3										
-1,5										
-1										
-0,5										
0										
0,5										

3. Построить выходные характеристики транзистора $I_C(U_{си})$ при $U_{зи} = \text{const}$ на одном графике.

4. Определить дифференциальное сопротивление транзистора для $U_{зи} = 0 \text{ В}$ по формуле $R_{диф} = \Delta U_{си} / \Delta I_C$.

5. Записать первый и последний столбцы из таблицы 3 в виде таблицы 6.

Таблица 6 - Результаты снятия передаточной характеристики

$U_{зи}, \text{В}$	0,5	0	-0,5	-1	-1,5	-3
$I_C, \text{мкА}$						

6. Построить передаточную характеристику транзистора $I_C(U_{зи})$ при $U_{си} = 10 \text{ В}$.

7. Определить напряжение отсечки $U_{отс}$ для $I_C = 0$.

8. Определить крутизну передаточной характеристики по формуле $S = \Delta I_C / \Delta U_{зи}$ (мкСм).

Содержание отчета:

- тема и цель работы;
- результаты экспериментов 1 и 2;
- выводы по работе.

Лабораторная работа 3. Исследование тиристоров

Цель работы. Исследование схемы регулятора мощности с триодным тиристором, снятие осциллограмм, расчет параметров.

Эксперимент 1. Исследование цепи для $R1 = 90 \%$

1. Собрать схему электрической цепи по рисунку 21.

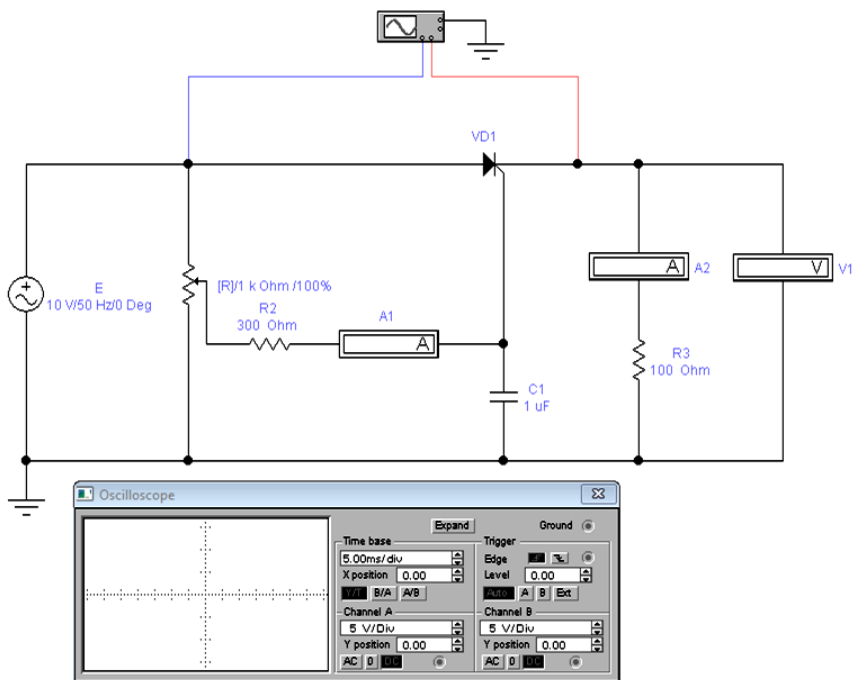


Рисунок 21 - Схема исследуемой цепи

2. Включить питание схемы при положении движка переменного резистора $R1$ - 100 % .

3. Уменьшая сопротивление резистора $R1$, получить состояние включения тиристора - появление осциллограммы выходного напряжения.

4. По осциллограмме определить величину напряжения включения тиристора U_T и время задержки включения тиристора $T_3 = T2 - T1$, а по

показаниям приборов - ток управления на момент включения $I_{упр}$ (A1), ток в нагрузке I_n (A2) и напряжение на нагрузке U_n (V1).

5. Рассчитать мощность в нагрузке (Вт) по формуле: $P_n = U_n I_n$.

Эксперимент 2. Исследование цепи для R1 = 85 %

1. Уменьшить сопротивление резистора R1 до 85 % и повторить измерения согласно п. 3 эксперимента 1. Получить осциллограмму.

2. По осциллограмме определить величину напряжения включения тиристора U_T и время задержки включения тиристора $T_3 = T2 - T1$, а по показаниям приборов - ток управления на момент включения $I_{упр}$ (A1), ток в нагрузке I_n (A2) и напряжение на нагрузке U_n (V1).

3. Рассчитать мощность в нагрузке (Вт) по формуле: $P_n = U_n I_n$.

Эксперимент 3. Исследование цепи для R1 = 70 %

1. Уменьшить сопротивление резистора R1 до 70 % и повторить измерения согласно п. 3 эксперимента 1. Получить осциллограмму.

2. По осциллограмме определить величину напряжения включения тиристора U_T и время задержки включения тиристора $T_3 = T2 - T1$, а по показаниям приборов - ток управления на момент включения $I_{упр}$ (A1), ток в нагрузке I_n (A2) и напряжение на нагрузке U_n (V1).

3. Рассчитать мощность в нагрузке (Вт) по формуле: $P_n = U_n I_n$.

Эксперимент 4. Исследование цепи для R1 = 50 %

1. Уменьшить сопротивление резистора R1 до 50 % и повторить измерения согласно п. 3 эксперимента 1. Получить осциллограмму.

2. По осциллограмме определить величину напряжения включения тиристора U_T и время задержки включения тиристора $T_3 = T2 - T1$, а по показаниям приборов - ток управления на момент включения $I_{упр}$ (A1), ток в нагрузке I_n (A2) и напряжение на нагрузке U_n (V1).

3. Рассчитать мощность в нагрузке (Вт) по формуле: $P_n = U_n I_n$.

Эксперимент 5. Исследование цепи для $R1 = 35 \%$

1. Уменьшить сопротивление резистора $R1$ до 35% , когда $T_3 = 0$ (ток в нагрузке не изменяется): $I_n = \text{const}$, и по показаниям приборов определить максимальный ток управления, обеспечивающий постоянно открытое состояние тиристора $I_{\text{упр.мах}}$ (A1), ток в нагрузке I_n (A2) и напряжение на нагрузке U_n (V1). Получить осциллограмму.

2. По осциллограмме определить величину напряжения включения тиристора U_T и время задержки включения тиристора $T_3 = T2 - T1$, а по показаниям приборов - ток управления на момент включения $I_{\text{упр}}$ (A1), ток в нагрузке I_n (A2) и напряжение на нагрузке U_n (V1).

3. Рассчитать мощность в нагрузке (Вт) по формуле: $P_n = U_n I_n$.

4. Результаты измерений и вычислений свести в таблицу 7.

Таблица 7 – Результаты экспериментов

Измерения	$R1, \%$	$U_T, \text{В}$	$T_3, \text{мс}$	$I_{\text{упр}}, \text{мА}$	$I_n, \text{мА}$	$U_n, \text{В}$	$P_n, \text{Вт}$
1	90						
2	85						
3	70						
4	50						
5	35						

10. Построить график зависимости $P_n(I_{\text{упр}})$.

11. Отобразить результаты экспериментов в выводах.

Содержание отчета:

- тема и цель работы;
- осциллограммы и результаты экспериментов 1...5;
- заполненная таблица 7;
- график зависимости $P_n(I_{\text{упр}})$;
- выводы по работе.

Лабораторная работа 4. Исследование однофазных выпрямителей

Цель работы. Моделирование работы схем однополупериодного и двухполупериодного выпрямления, сравнение форм входного и выходного напряжений, определение параметров выпрямителей.

Эксперимент 1. Исследование однополупериодного выпрямителя

1. Собрать схему цепи по рисунку 22. Настроить приборы.

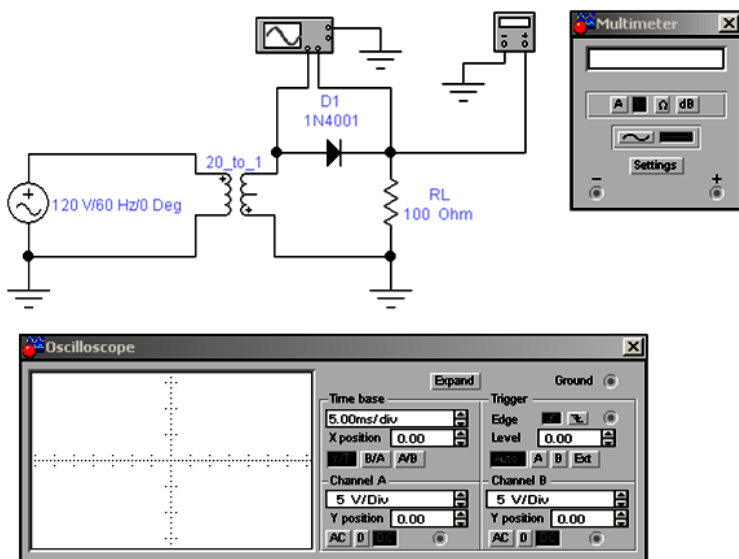


Рисунок 22 – Схема однополупериодного выпрямителя

2. Включить схему. Зарисовать осциллограмму. Измерить и записать максимальные входные и выходные напряжения.
3. Измерить период T выходного напряжения по осциллограмме. Вычислить частоту выходного сигнала по формуле $f = 1/T$.
4. Определить максимальное обратное напряжение $U_{max} = U_{\text{вых.max}}$.
5. Вычислить коэффициент трансформации: $n = U_{m1}/U_{m2xx}$.
6. Найти постоянную составляющую напряжения по формуле $U_0 = U_{2m}/\pi$. Записать постоянную составляющую U_{0m} по мультиметру.

Эксперимент 2. Исследование двухполупериодного выпрямителя с отводом от средней точки трансформатора

1. Собрать схему электрической цепи по рисунку 23. Настроить приборы.

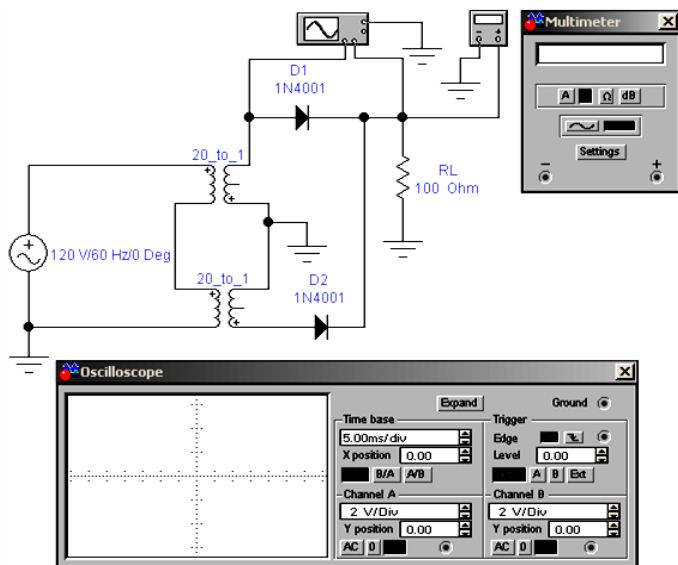


Рисунок 23 – Схема двухполупериодного выпрямителя

2. Включить схему. Зарисовать полученные осциллограмму. Измерить и записать максимальные входные и выходные напряжения.

3. Измерить период T по осциллограмме выходного напряжения. Вычислить частоту выходного сигнала по формуле $f = 1/T$.

4. По осциллограмме выходного напряжения определить максимальное обратное напряжение U_{\max} на диоде:

$$U_{\max} = U_{2m} - U_{\text{пр}},$$

где U_{2m} - удвоенное максимальное напряжение на вторичной обмотке трансформатора; $U_{\text{пр}}$ - прямое падение напряжения на диоде.

5. Вычислить постоянную составляющую выходного напряжения по формуле $U_0 = 2U_{2m}/\pi$. Записать постоянную составляющую $U_{0\text{м}}$ по мультиметру.

Эксперимент 3. Исследование мостового выпрямителя

1. Собрать схему электрической цепи по рисунку 24. Настроить приборы.

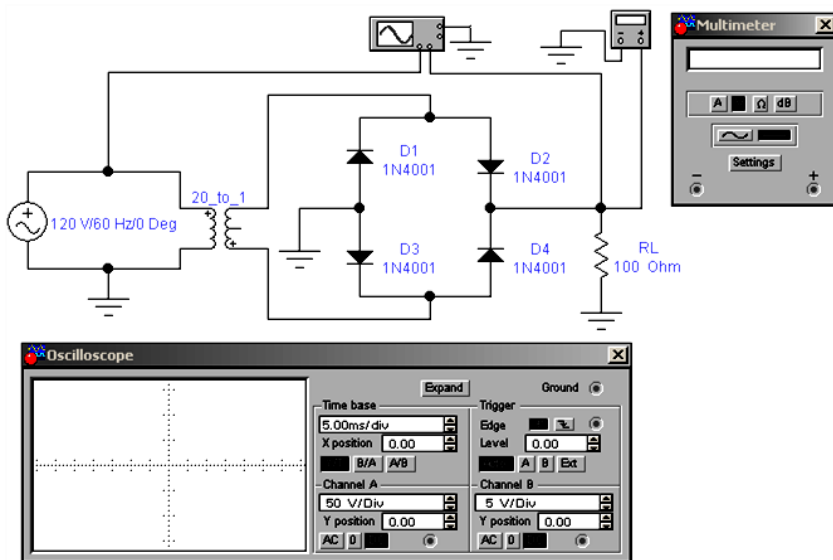


Рисунок 24 – Схема мостового выпрямителя

2. Включить схему. Зарисовать осциллограмму. Измерить входные и выходные напряжения.

3. Измерить период T по осциллограмме выходного напряжения. Вычислить частоту f выходного сигнала по формуле $f = 1/T$.

4. Определить максимальное обратное напряжение U_{\max} на диоде.

5. Вычислить коэффициент трансформации: $n = U_{m1xx}/U_{m2xx}$.

6. Рассчитать постоянную составляющую выходного напряжения по формуле $U_0 = 2U_{2m}/\pi$. Записать постоянную составляющую U_{0m} по мультиметру.

Содержание отчета:

- тема и цель работы;
- результаты экспериментов 1...3;
- выводы по работе.

Лабораторная работа 5. Исследование электрических фильтров

Цель работы. Исследование работы электрических фильтров, снятие характеристик.

Эксперимент 1. Исследование RC-фильтра нижних частот

1. Собрать электрическую цепь, изображенную на рисунке 25. Настроить приборы.

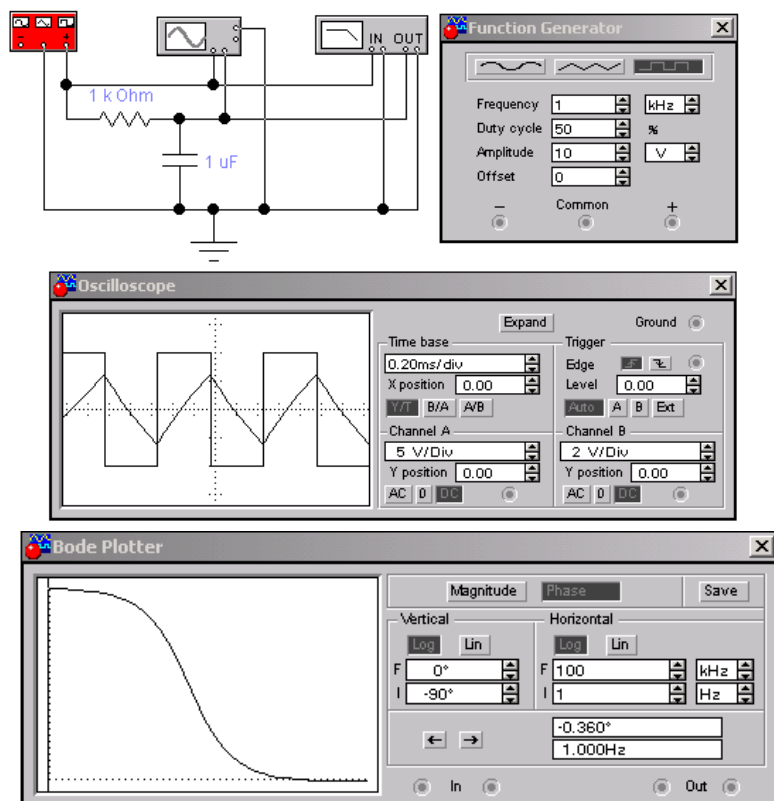


Рисунок 25 - Схема исследования RC-фильтра НЧ и настройки приборов

2. Включить схему и получить осциллограмму входного и выходного напряжений. Изобразить ее в отчете.
3. Подать команду Analysis > Activate > Fourier и получить спектр выходного напряжения. Изобразить его в отчете.
4. При помощи анализатора частотных характеристик (Bode Plotter) получить амплитудную и фазочастотную характеристики фильтра. Изобразить их в отчете.
5. Результаты эксперимента отразить в выводах.

Эксперимент 2. Исследование RC-фильтра верхних частот

1. Собрать схему электрической цепи по рисунку 26.

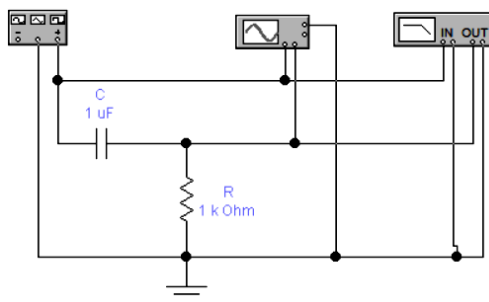


Рисунок 26 – Схема исследования RC-фильтра верхних частот

2. Настроить приборы по рисунку 27.

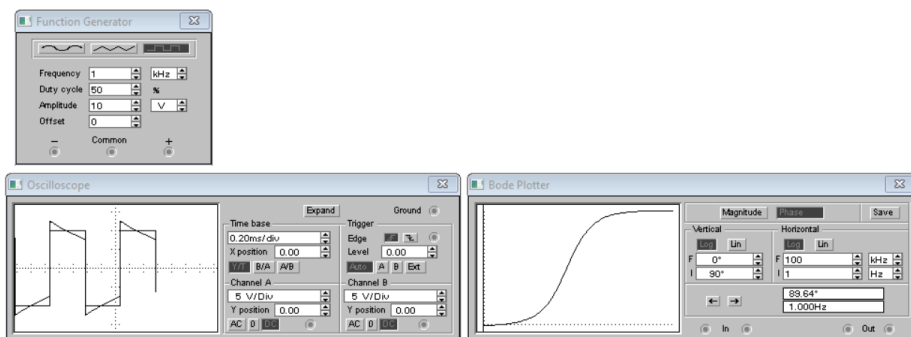


Рисунок 27 – Настройки приборов для второго эксперимента

2. Включить схему и получить осциллограмму входного и выходного напряжений. Изобразить ее в отчете.

3. Подать команду Analysis > Activate > Fourier и получить спектр выходного напряжения. Изобразить его в отчете.

4. При помощи анализатора частотных характеристик (Bode Plotter) получить амплитудную и фазочастотную характеристики фильтра. Изобразить их в отчете.

5. Результаты эксперимента отразить в выводах.

Эксперимент 3. Исследование полосового фильтра

1. Собрать электрическую цепь по рисунку 28.

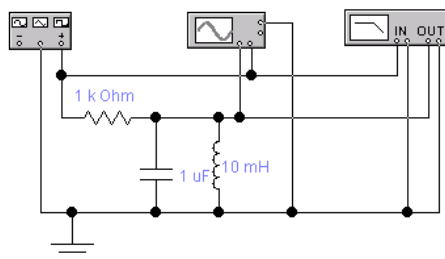


Рисунок 28 - Схема исследования полосового фильтра

2. Настроить измерительные приборы по рисунку 29.

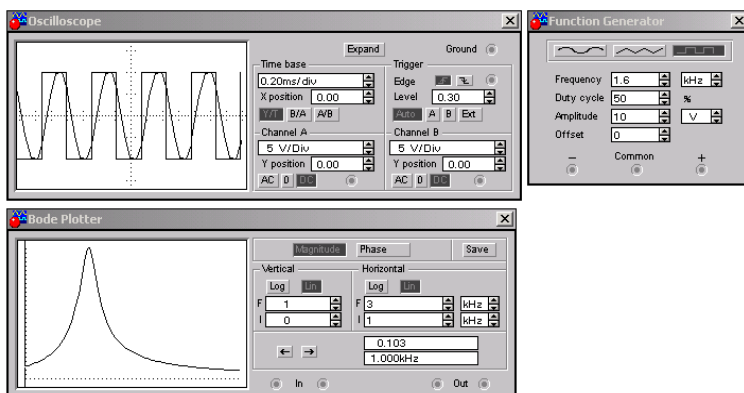


Рисунок 29 - Настройки приборов для третьего эксперимента

3. Подать команду Analysis > Activate и получить осциллограмму входного и выходного напряжений. Изобразить ее в отчете.

4. Подать команду Analysis > Activate > Fourier. В открывшемся окне Analysis Graphs получить спектр выходного напряжения фильтра. Изобразить его в отчете.

5. При помощи прибора Bode Plotter получить амплитудную и фазочастотную характеристики фильтра. Изобразить их в отчете.

6. Результаты эксперимента отразить в выводах.

Содержание отчета:

- тема и цель работы;
- схемы исследования фильтров и настройки приборов;
- осциллограммы напряжений, спектры, амплитудные и фазочастотные характеристики фильтров по каждому эксперименту;
- выводы по работе.

Лабораторная работа 6. Исследование усилительных каскадов

Цель работы. Моделирование работы усилительных каскадов на биполярных транзисторах, снятие характеристик, расчет параметров.

Эксперимент 1. Исследование каскада с общим эмиттером

1. Собрать схему электрической цепи по рисунку 30.

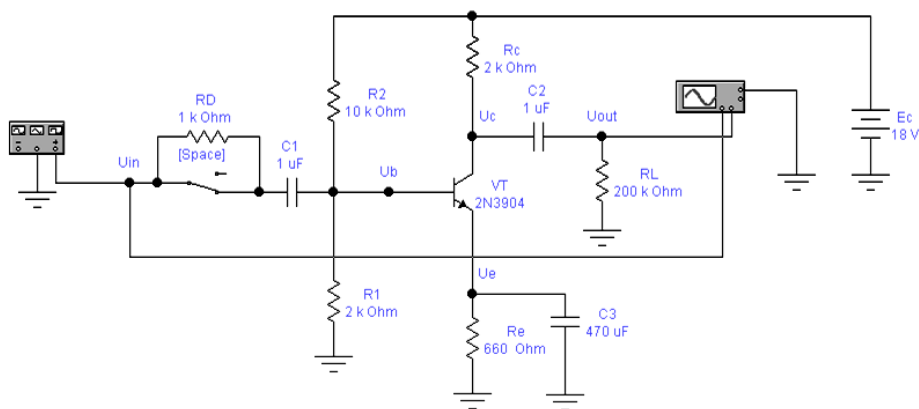


Рисунок 30 – Схема каскада с общим эмиттером

2. Настроить приборы по рисунку 31.

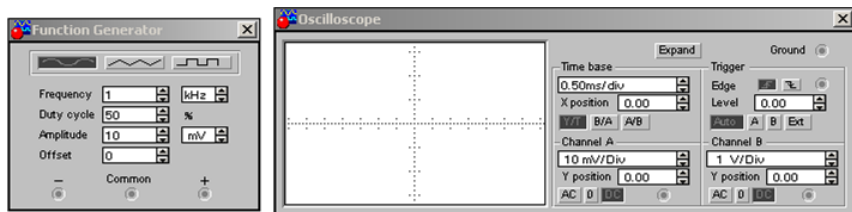


Рисунок 31 – Настройки приборов

2. Включить схему. Зарисовать осциллограммы входного и выходного напряжений на одном графике.

3. Определить по осциллограмме амплитуды входного и выходного напряжений, сдвиг фаз между входным и выходным сигналами. Вычислить коэффициент усиления по напряжению $K_U = U_{m\text{вых}}/U_{m\text{вх}}$.

4. Определить ток эмиттера I_3 (mA).

Найти дифференциальное сопротивление r_3 эмиттерного перехода: $r_3 = (25 \text{ мВ})/I_3$.

Вычислить коэффициент усиления каскада по напряжению:

$$K_U = \frac{R_K}{R_3 + r_3}.$$

5. Подключить резистор R_D между точкой U_{in} и конденсатором $C1$, разомкнув ключ [Space]. Включить схему. Измерить амплитуды входного и выходного напряжений. Вычислить новое значение коэффициента усиления по напряжению по результатам измерений.

6. Переместить щуп канала А осциллографа в узел U_b . Снова включить схему и измерить амплитуду входного синусоидального напряжения $U_{m\text{вх}}$ в точке U_b . По результатам измерения напряжения $U_{m\text{вх}}$ и $U_{m\text{вых}}$ вычислить коэффициент усиления по напряжению каскада:

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

Определить входной ток $I_{\text{вх}}$. По значениям $U_{\text{вх}}$ и $I_{\text{вх}}$ вычислить входное сопротивление $r_{\text{вх}}$ усилителя по переменному току:

$$r_{\text{вх}} = \frac{U_{\text{вх}}}{I_{\text{вх}}}.$$

7. Отразить результаты эксперимента в выводах.

Эксперимент 2. Исследование каскада с общим коллектором

1. Собрать схему электрической цепи по рисунку 32.

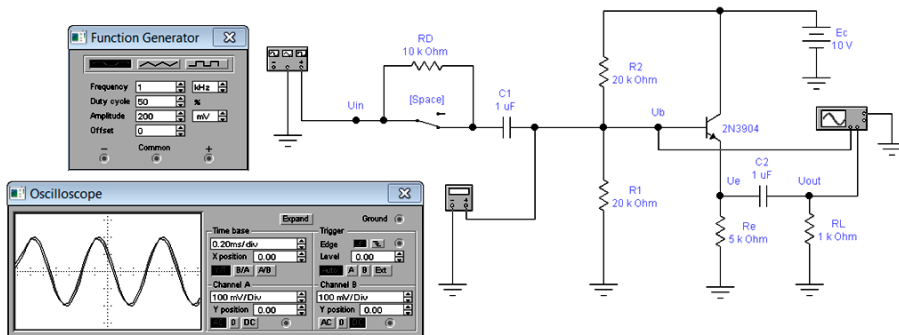


Рисунок 32 – Схема исследования каскада с общим коллектором и настройки приборов

2. Включить схему. Измерить напряжения в точках U_b и U_e . Вычислить напряжения в точках U_b , U_e и ток эмиттера, используя значения параметров компонентов схемы ($U_{БЭ}=0,7\text{ В}$).

3. Измерить амплитуды входного $U_{m_{вх}}$ и выходного $U_{m_{вых}}$ напряжений. Определить сдвиг фаз между входным и выходным напряжением. По результатам измерений вычислить коэффициент усиления по напряжению: $K_U = U_{m_{вых}}/U_{m_{вх}}$.

Определить коэффициент усиления эмиттерного повторителя по напряжению, используя параметры схемы: $K_U = R_3/(R_3 + r_3)$.

4. Подключить резистор между точкой U_{in} и конденсатором C_1 , разомкнув ключ [Space]. Включить схему. Измерить амплитуды входного $U_{m_{вх}}$ и выходного $U_{m_{вых}}$ напряжений. Определить входной ток $I_{вх}$. Рассчитать дифференциальное входное сопротивление $r_{вх}$: $r_{вх} = U_{вх}/I_{вх}$.

5. Используя значения параметров компонентов схемы, вычислить входное сопротивление каскада $r_{вх}$, приняв $\beta = 200$, по формуле:

$$r_{вх} = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{\beta r_3}}.$$

6. Отразить результаты эксперимента в выводах.

Содержание отчета:

- тема и цель работы;
- результаты экспериментов 1 и 2 и выводы по работе.

Лабораторная работа 7. Исследование операционных усилителей

Цель работы. Моделирование цепей с ОУ, измерение и расчет параметров ОУ.

Эксперимент 1. Измерение входных токов

1. Собрать схему электрической цепи по рисунку 33.

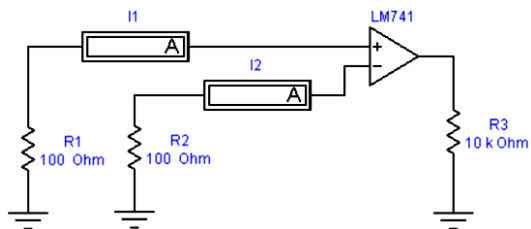


Рисунок 33 – Схема цепи первого эксперимента

2. Включить схему. Измерить входные токи ОУ.
3. По результатам измерений вычислим средний входной ток $I_{\text{вх}}$ и разность $\Delta I_{\text{вх}}$ по формулам:
$$I_{\text{вх}} = (I_1 + I_2)/2; \Delta I_{\text{вх}} = I_1 - I_2,$$
где I_1 и I_2 - соответственно токи неинвертирующего и инвертирующего входов.

Эксперимент 2. Измерение напряжения смещения

1. Соберем схему электрической цепи по рисунку 34.

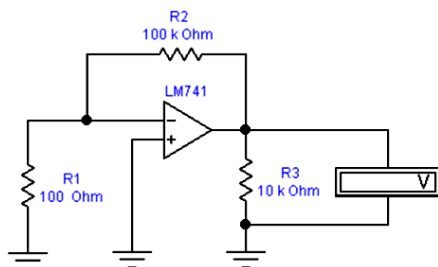


Рисунок 34 – Схема цепи второго эксперимента

2. Включить схему. Записать показания вольтметра pV .
3. Рассчитать коэффициент усиления схемы: $K_y = R_2/R_1$.
4. Определить напряжение смещения $U_{см}$ по формуле: $U_{см} = pV/K_y$.

Эксперимент 3. Измерение входного и выходного сопротивлений

1. Собрать схему цепи по рисунку 35.

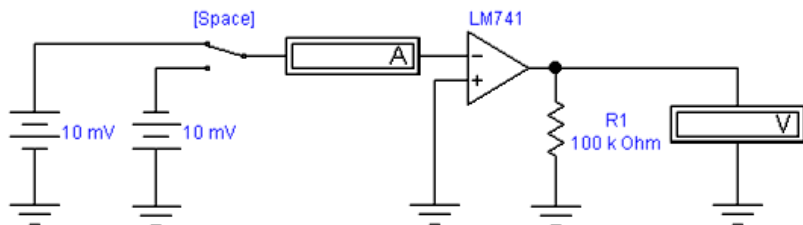


Рисунок 35 - Схема цепи третьего эксперимента

2. Включить схему. Измерить входной ток $I_{вх1}$.
3. Переключить ключ клавишей [Space]. Измерить входной ток после переключения ключа $I_{вх2}$.
4. Рассчитать изменения входного напряжения и тока:
 $\Delta I_{вх} = I_{вх1} - I_{вх2}$; $\Delta U_{вх} = U_{вх1} - U_{вх2}$.
 По полученным результатам вычислить дифференциальное входное сопротивление ОУ:

$$R_{вх,диф} = \Delta U_{вх} / \Delta I_{вх}.$$

5. Уменьшить сопротивление нагрузочного резистора R1 до такого значения, пока выходное напряжение $U_{вых}$ не будет примерно равно половине полученного в п. 2. Запишем значение сопротивления R1, которое в этом случае приблизительно равно выходному сопротивлению ОУ.

Эксперимент 4. Измерение времени нарастания выходного напряжения ОУ

1. Собрать схему электрической цепи по рисунку 36.
2. Настроить измерительные приборы по рисунку 37.
3. Включить схему. Зарисовать осциллограмму выходного напряжения $U_{вых}(t)$.

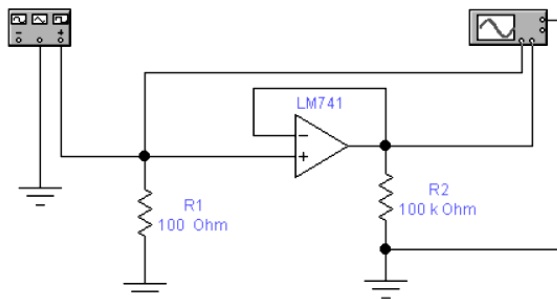


Рисунок 36 – Схема цепи четвертого эксперимента

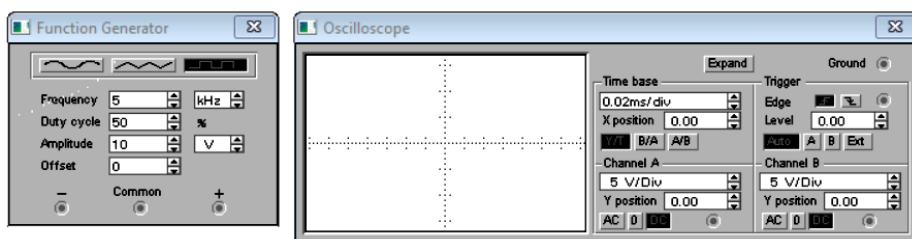


Рисунок 37 – Настройки приборов

4. По осциллограмме определить величину выходного напряжения $U_{\text{вых}}$, время его установления $t_{\text{уст}}$.

5. Вычислить скорость нарастания выходного напряжения $v_{\text{нар}}$ (В/мкс).

Содержание отчета:

- тема и цель работы;
- результаты экспериментов 1...4;
- выводы по работе.

Лабораторная работа 8. Исследование электронных генераторов

Цель работы. Исследование электронных генераторов, получение их характеристик и расчет параметров.

Эксперимент 1. Исследование LC-генератора

1. Собрать схему электрической цепи по рисунку 38, включить ее.

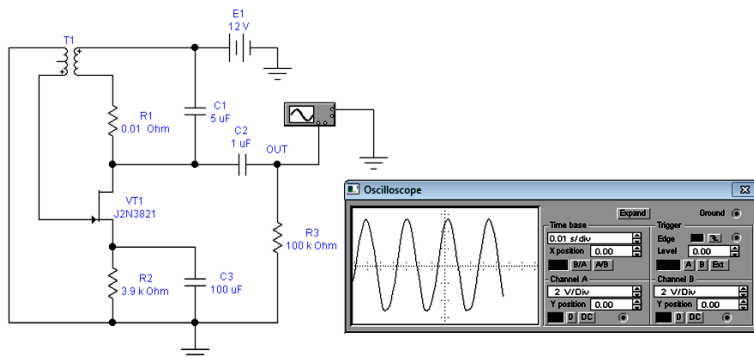


Рисунок 38 – Схема исследования LC-генератора

2. Изобразить осциллограмму выходного напряжения $U_{\text{вых}}(t)$.
3. Определить амплитуду выходного напряжения $U_{m\text{вых}}$, период T и частоту колебаний $f = 1/T$.

Эксперимент 2. Исследование RC-генератора

1. Собрать схему электрической цепи по рисунку 39.

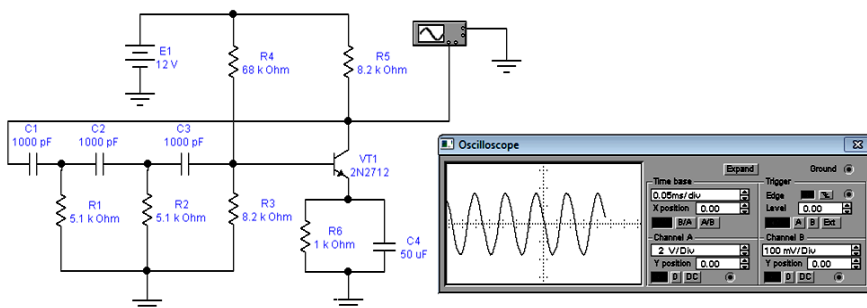


Рисунок 39 – Схема исследования RC-генератора

2. Включить схему. Изобразить осциллограмму выходного напряжения $U_{\text{вых}}(t)$.

3. Определить амплитуду выходного напряжения $U_{m\text{вых}}$, период T и частоту колебаний $f = 1/T$.

Эксперимент 3. Исследование мультивибратора

1. Собрать схему электрической цепи по рисунку 40. Настроить панель осциллографа.

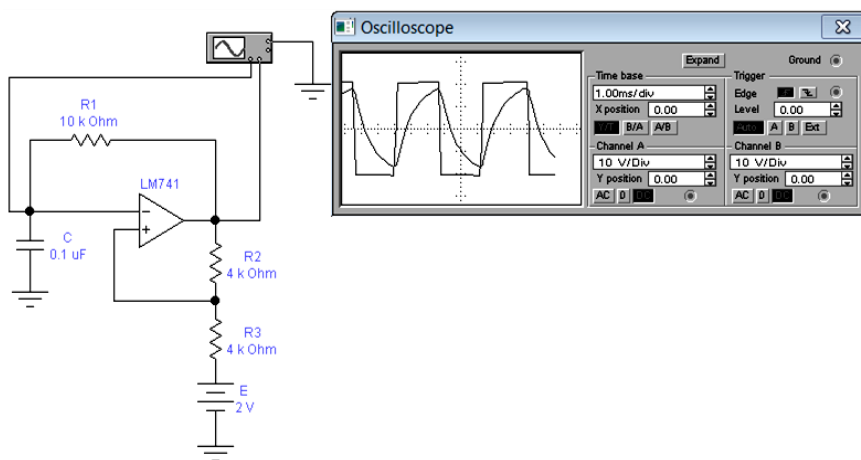


Рисунок 40 – Схема исследования мультивибратора

2. Включить схему. Зарисовать осциллограмму напряжений.

3. Рассчитать постоянную времени цепи по формуле $\tau = R_1 C$.

4. Определить для прямоугольных импульсов величину выходного напряжения $U_{\text{вых}}$.

5. Определить по графику $U_C(t)$ пороги срабатывания $U_{п1}$ (верхнее) и $U_{п2}$ (нижнее), время заряда T_1 и разряда T_2 конденсатора.

6. Рассчитать частоту работы мультивибратора по формуле:
 $f = 1/(T_1 + T_2)$.

Содержание отчета:

- тема и цель работы;
- результаты экспериментов 1...3;
- выводы по работе.

Лабораторная работа 9. Исследование логических элементов

Цель работы. Исследование логических элементов, реализация логических функций.

Эксперимент 1. Исследование логического элемента И

1. Собрать схему логического умножения по рисунку 41.

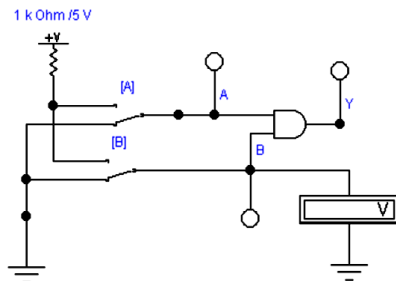


Рисунок 41 – Схема логического умножения

2. Включить схему. Установить переключатель [B] в верхнее положение и подать логический сигнал уровня 1 (пробник В загорится). Записать показание вольтметра (последнее значение).

3. Подавая на входы схемы возможные комбинации уровней сигналов А и В, зафиксировать для каждой комбинации уровень выходного сигнала Y.

4. Проверить выполнение условий:
$$\begin{cases} 1 \cdot 1 = 1; \\ 0 \cdot 0 = 0; \\ 0 \cdot 1 = 1 \cdot 0 = 0. \end{cases}$$

5. Заполнить таблицу истинности логического элемента И (таблицу 8).

Таблица 8 – Таблица истинности логического элемента И

Входы		Выход
A	B	Y

Эксперимент 2. Исследование логического элемента ИЛИ

1. Собрать схему логического сложения по рисунку 42.

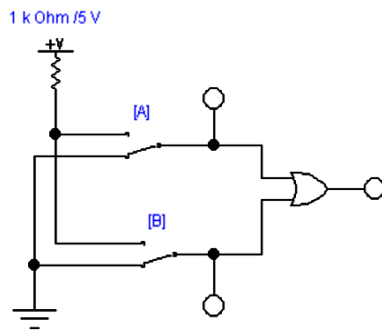


Рисунок 42 – Схема логического сложения

2. Включить схему. Изменяя на входах схемы комбинации уровней сигналов, провести наблюдения за уровнями сигналов с помощью логических пробников.

3. Проверить выполнение условий:
$$\begin{cases} 1 \vee 1 = 1; \\ 0 \vee 0 = 0; \\ 0 \vee 1 = 1 \vee 0 = 1. \end{cases}$$

4. Заполнить таблицу истинности логического элемента ИЛИ (таблицу 9).

Таблица 9 – Таблица истинности логического элемента ИЛИ

Входы		Выход
A	B	Y

5. Отразить результаты эксперимента в выводах.

Эксперимент 3. Исследование логического элемента И-НЕ

1. Собрать логическую схему по рисунку 43.

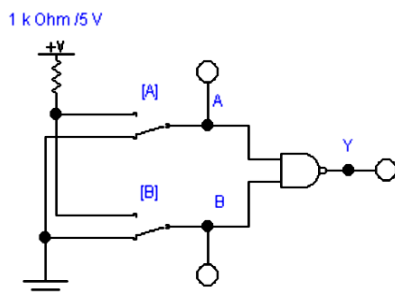


Рисунок 43 – Логическая схема И-НЕ

2. Включить схему. Изменяя на входах схемы комбинации уровней сигналов, провести наблюдения за уровнями сигналов с помощью логических пробников.

3. Заполнить таблицу 10 истинности логического элемента И-НЕ (таблицу 10).

Таблица 10 – Таблица истинности логического элемента И-НЕ

Входы		Выход
A	B	Y

4. Отразить результаты эксперимента в выводах.

Эксперимент 4. Исследование логического элемента ИЛИ-НЕ

1. Собрать логическую схему по рисунку 44.
2. Включить схему. Изменяя на входах комбинации уровней сигналов, провести наблюдения за уровнями сигналов с помощью логических пробников.
3. Заполнить таблицу истинности логического элемента ИЛИ-НЕ (таблицу 11).

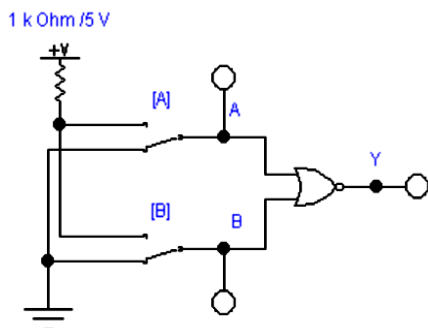


Рисунок 44 – Логическая схема ИЛИ-НЕ

Таблица 11 - Таблица истинности логического элемента ИЛИ-НЕ

Входы		Выход
A	B	Y

4. Отразить результаты эксперимента в выводах.

Содержание отчета:

- тема и цель работы;
- результаты экспериментов 1...4;
- выводы по работе.

Лабораторная работа 10. Исследование триггеров

Цель работы. Изучение структуры и алгоритмов работы триггеров, исследование функций переходов и возбуждения.

Эксперимент 1. Исследование RS-триггера

1. Собрать схему RS-триггера по рисунку 45.

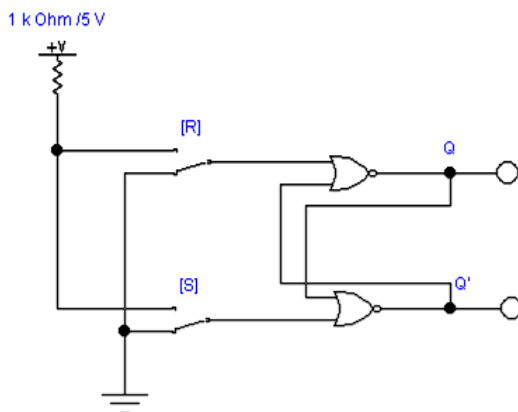


Рисунок 45 – Схема RS-триггера

2. Включить схему. Последовательно подать на схему следующие сигналы:

$S = 0, R = 1;$

$S = 0, R = 0;$

$S = 1, R = 0;$

$S = 0, R = 0.$

Убедиться в том, что:

- при $S = 0, R = 1$ триггер устанавливается в состояние $Q = 0$;
- при переходе к $S = 0, R = 0$ триггер сохраняет прежнее состояние выхода $Q = 0$;
- при $S = 1, R = 0$ триггер устанавливается в состояние $Q = 1$;
- при переходе к $S = 0, R = 0$ триггер сохраняет прежнее состояние выхода $Q = 1$.

3. По результатам эксперимента заполнить таблицу переходов (таблицу 12).

Таблица 12 - Таблица переходов

S	R	Q	Q'

4. Отобразить результаты эксперимента в выводах.

Эксперимент 2. Исследование JK-триггера

1. Собрать схему JK-триггера по рисунку 46.

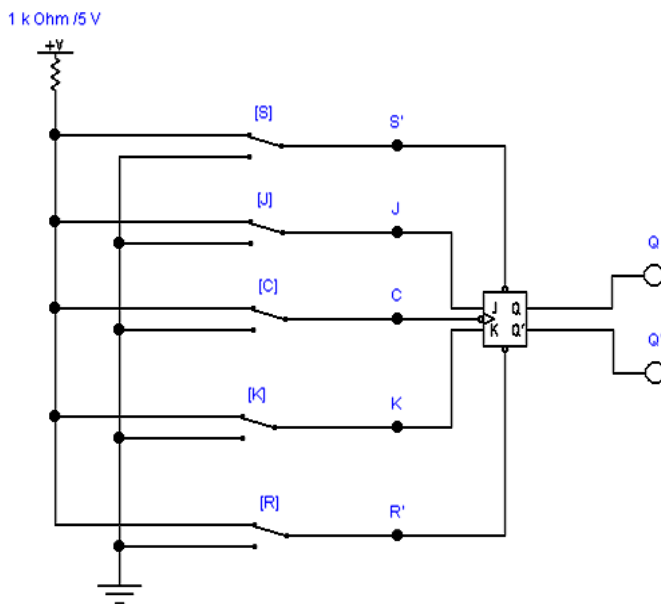


Рисунок 46 – Схема JK-триггера

2. Включить схему. Убедиться, что:

- при $R = 1, S = 0$ триггер устанавливается в 1 ($Q = 0, Q' = 0$) независимо от состояния остальных входов;

- при $R = 0, S = 1$ триггер устанавливается в 0 ($Q = 0, Q' = 1$) независимо от состояния остальных входов.

3. Установить $S' = R' = 1$. По результатам эксперимента заполнить таблицу переходов (таблицу 13).

Таблица 13 - Таблица переходов

J	K	Q	Q'
$R = 1, S = 1$			

Указание: начальное состояние триггера устанавливается кратковременной подачей сигнала $S' = 0$ для получения $Q_t = 1$ и сигнала $R' = 0$ для получения $Q_t = 0$. Переход триггера в состояние Q_{t+1} происходит только по отрицательному фронту импульса на счетном входе C , сформированном соответствующим ключом.

4. Составить временные диаграммы работы триггера для всех возможных комбинаций Q_t, J_t, K_t .

5. Отобразить результаты эксперимента в выводах.

Эксперимент 3. Исследование D-триггера

1. Собрать схему D-триггера по рисунку 47.

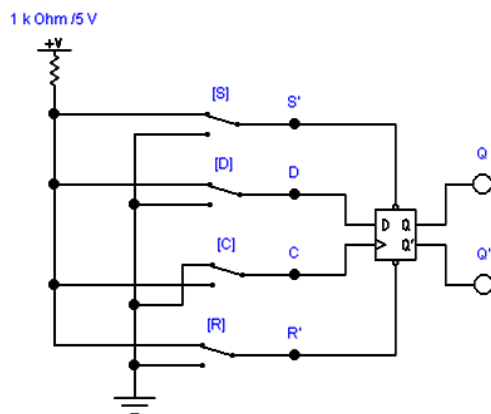


Рисунок 47 – Схема D-триггера

2. Включить схему. Убедиться, что:

- при $R = 1, S = 0$ триггер устанавливается в 1 ($Q = 1, Q' = 0$) независимо от состояния остальных входов;
- при $R = 0, S = 1$ триггер устанавливается в 0 ($Q = 0, Q' = 1$) независимо от состояния остальных входов;

3. Установить $S' = R' = 1$. По результатам эксперимента заполнить таблицу переходов (таблицу 14).

Таблица 14 - Таблица переходов

D	Q	Q'

4. Составить временные диаграммы работы триггера для всех возможных комбинаций Q_t, D_t .

5. Отобразить результаты эксперимента в выводах.

Содержание отчета:

- тема и цель работы;
- результаты экспериментов 1...3;
- выводы по работе.

Лабораторная работа 11. Исследование преобразователей сигналов

Цель работы. Исследовать схемы преобразователей сигналов, оценить погрешность экспериментов.

Эксперимент 1. Исследование АЦП с поразрядным уравниванием

1. Собрать схему АЦП¹ с поразрядным уравниванием, приведенную на рисунке 48.

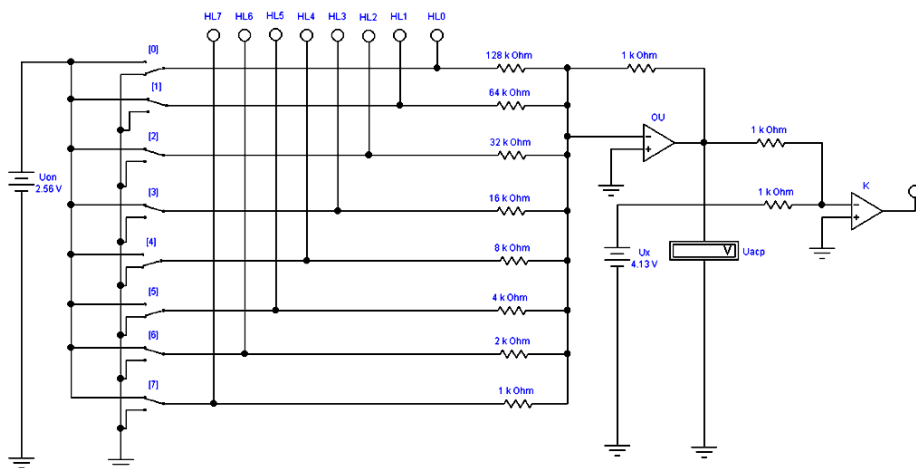


Рисунок 48 – Схема АЦП с поразрядным уравниванием

2. Поочередно замыкая ключи $S_7 \dots S_0$, начиная со старшего разряда S_7 , определить двоичный код и занести его в таблицу 15. Включенный ключ (горящая лампа) записать как «1», а выключенные ключи (негорящие лампы) - как «0».

3. После каждого преобразования определить показание вольтметра $U_{аср}$ (аналоговый сигнал на выходе АЦП) и записать его значение в таблицу 15.

4. Сигнал на выходе компаратора K занести в таблицу 15.

¹ АЦП – Аналого-цифровой преобразователь.

Таблица 15 - Результаты первого эксперимента

U_x , В	Двоичный код	$U_{\text{аср}}$, В	К	Относительная погрешность β , %

5. Определить относительную погрешность преобразования сигнала в цифровой код по формуле:

$$\beta = \left(\frac{U_{\text{аср}} + U_x}{U_x} \right) \cdot 100\%.$$

Результаты расчетов занести в таблицу 15.

6. Отобразить результаты эксперимента в выводах.

Эксперимент 2. Исследование интегрального АЦП

1. Собрать схему интегрального АЦП (рисунок 49). Для этого АЦП $U_{\text{оп}} \geq U_x$, вес самого старшего разряда равен половине $U_{\text{оп}}$.

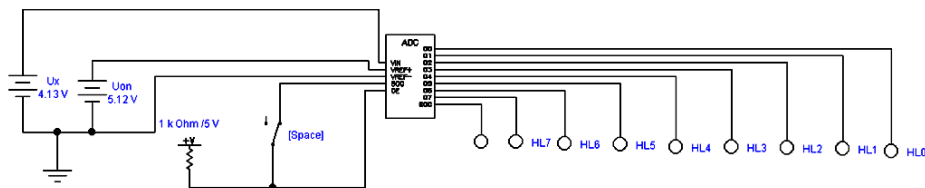


Рисунок 49 – Схема интегрального АЦП

2. Произвести преобразование заданных аналоговых сигналов (АС) в дискретный код, записывая результаты преобразования АС в двоичный код с помощью интегральной микросхемы ADC (АЦП), замкнув ключ нажатием клавиши [Space] (пробел).

Полученный код:

3. Рассчитать АС, соответствующий полученному коду, с учетом того, что вес самого старшего разряда равен половине опорного напряжения $U_{\text{оп}}$:

$$U_{\text{вых}} = -U_{\text{оп}} \cdot \left(\frac{S_7}{2} + \frac{S_6}{4} + \frac{S_5}{8} + \frac{S_4}{16} + \frac{S_3}{32} + \frac{S_2}{64} + \frac{S_1}{128} + \frac{S_0}{256} \right).$$

4. Определить относительную погрешность преобразования:

$$\beta = \left(\frac{U_{\text{аср}} + U_x}{U_x} \right) \cdot 100\%.$$

Эксперимент 3. Исследование цифроаналогового преобразователя

1. Собрать схему цифроаналогового преобразователя (ЦАП), приведенную на рисунке 50.

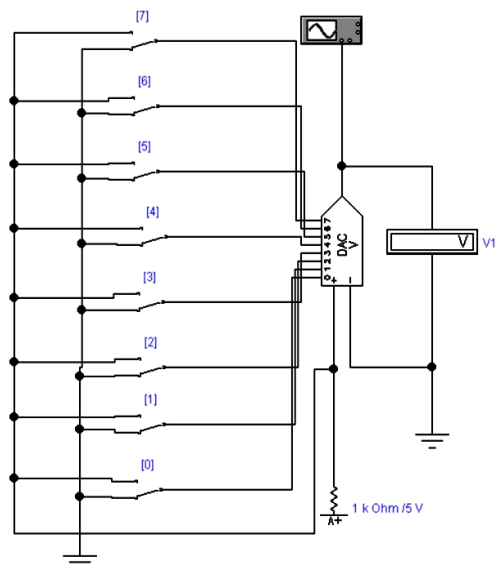


Рисунок 50 – Схема цифроаналогового преобразователя

2. Замыкая поочередно переключатели 0...7, начиная с 0, подать двоичные коды на модель ЦАП (DAC). Значения выходного напряжения $U_{\text{вых}}$ определить по вольтметру V1 и занести его значения в таблицу 16.

Таблица 16 - Результаты третьего эксперимента

№ п/п	Цифровой код	$U_{\text{вых}}, \text{В}$	$U_{\text{ст}}, \text{В}$	ЗМР, В

3. Найти напряжения ступеней по формуле $U_{\text{ст}} = U_{\text{вых2}} - U_{\text{вых1}}$.

4. Определить значение младшего разряда (ЗМР) по формуле $\text{ЗМР} = U_{\text{ст}}/16$.

Содержание отчета:

- тема и цель работы;
- результаты экспериментов 1...3;
- выводы по работе.

Лабораторная работа 12. Исследование счетчиков и регистров

Цель работы. Ознакомление с принципом работы счетчиков и регистров, исследование влияния управляющих сигналов на их работу.

Эксперимент 1. Исследование суммирующего счетчика

1. Собрать схему суммирующего счетчика по рисунку 51.

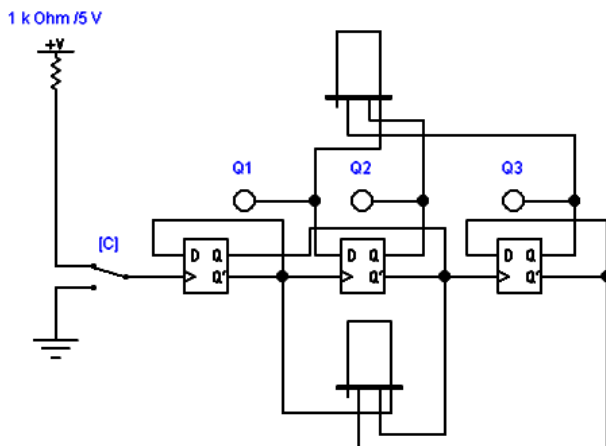


Рисунок 51 – Схема суммирующего счетчика

2. Включить схему. Подавая на вход схемы тактовые импульсы при помощи ключа С и наблюдая состояние выходов счетчика при помощи логических пробников, составить временные диаграммы работы суммирующего счетчика.

3. Определить коэффициент пересчета счетчика по формуле:

$$K_{\text{сч}} = N_c / N_{Q_c},$$

где N_c – число импульсов на входе; N_{Q_c} – число импульсов на выходе старшего разряда за период.

4. Отобразить результаты экспериментов в выводах.

Эксперимент 2. Исследование счетчика с измененным коэффициентом пересчета

1. Собрать схему электрической цепи по рисунку 52.

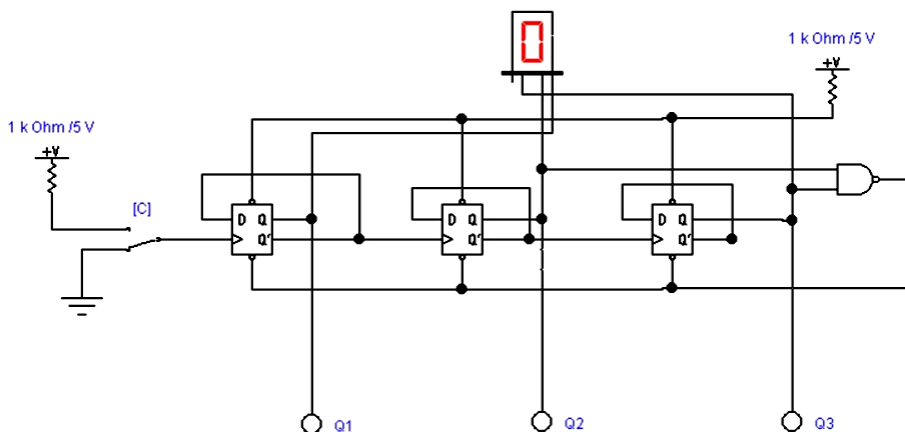


Рисунок 52 – Схема счетчика с измененным коэффициентом пересчета

2. Включить схему.

3. Подавая на вход схемы тактовые импульсы при помощи ключа С и наблюдая состояние выходов счетчика при помощи логических пробников, составить временные диаграммы работы счетчика.

4. Определить коэффициент пересчета счетчика по формуле:

$$K_{\text{сч}} = \frac{N_{\text{с}}}{N_{Q_{\text{ст}}}}.$$

5. Отразить результаты эксперимента в выводах.

Эксперимент 3. Исследование регистра Джонсона

1. Собрать схему регистра Джонсона по рисунку 53.

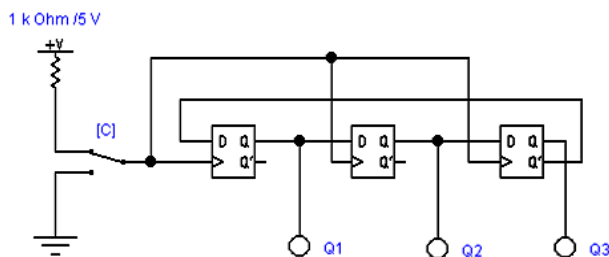


Рисунок 53 – Схема регистра Джонсона

2. Включить схему.
3. Построить временные диаграммы сигналов на выходах триггеров.
4. Определить коэффициент пересчета регистра Джонсона:
$$K_{\text{рег}} = \frac{N_c}{N_{Q\text{ст}}}$$
5. Отобразить результаты эксперимента в выводах.

Эксперимент 4. Исследование регистра сдвига

1. Собрать схему электрической цепи по рисунку 54.

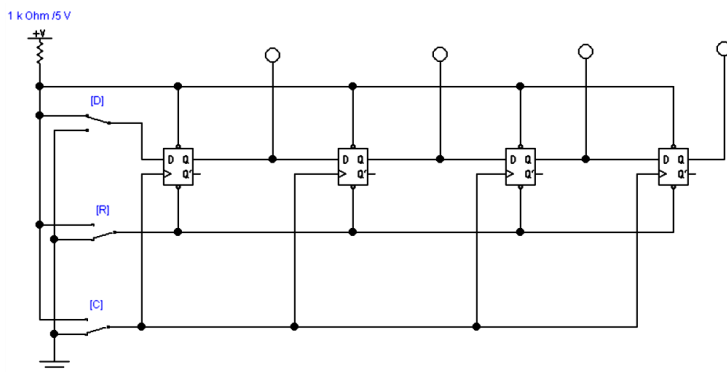


Рисунок 54 – Схема регистра сдвига

2. С помощью ключа [R] установить нулевые значения всех битов регистра.

3. Подать сигналы $D = 1$ и $R = 1$.

4. Манипулируя ключом S, отметить поочередное загорание индикаторов слева направо.

5. Изобразить график изменения сигналов при работе регистра сдвига. На графике обозначить через $Q_0 \dots Q_3$ – выходы триггеров (Q_0 - выход крайне левого триггера, ... Q_3 - выход крайне правого триггера).

6. Отобразить результаты эксперимента в выводах.

Содержание отчета:

- тема и цель работы;
- результаты экспериментов 1...4;
- выводы по работе.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Моделирование электронных приборов и устройств в настоящее время получило широкое распространение. Используется множество прикладных программ, которые достаточно просты в освоении, позволяют провести анализ схем без реальных измерительных приборов и дорогостоящих стендов, сократить время экспериментов и уменьшить погрешность результатов.

Программа EWB 5.12 отличается от своих аналогов доступностью, достаточным количеством необходимых элементов и приборов, простотой освоения в короткие сроки, возможностью получения разнообразных графических зависимостей.

В настоящем лабораторном практикуме приведены описание компонентов программы Electronics Workbench 5.12, методика моделирования схем, комплект из двенадцати лабораторных работ по основам электроники.

Соблюдена логическая последовательность изучения раздела «Основы электроники» – от простого к сложному. Сначала дан материал по исследованию полупроводниковых приборов (стабилитронов, полевых транзисторов и тиристоров), затем – по моделированию и анализу аналоговых устройств (выпрямителей, электрических фильтров, усилителей и генераторов сигналов), по цифровым устройствам (логическим элементам, триггерам, преобразователям сигналов, счетчикам и регистрам).

Ведущие преподаватели могут ограничить число экспериментов по той или иной теме в соответствии с рабочей программой, и двухчасовые работы при необходимости превратятся в часовые.

Автор выражает уверенность, что этот лабораторный практикум будет хорошим помощником для студентов в изучении раздела «Основы электроники» на очной, заочной и дистанционной форме обучения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гуськов Ю.В. Моделирование электрических цепей в программе Electronics Workbench 5.12: Учебное пособие. – Чебоксары: Изд-во Чебоксарского техникума ТрансСтройТех, 2018.
2. Кардашев Г.А. Виртуальная электроника. Компьютерное моделирование аналоговых устройств. – 2-е изд., стереотип. – М.: Горячая линия-Телеком, 2009.
3. Панфилов Д. И., Иванов В. С., Чепурин И. Н. Электротехника и электроника в экспериментах и упражнениях: Практикум на Electronics Workbench: В 2 т. / Под общ. ред. Д. И. Панфилова. – Т.2: Электроника. – М.: ДОДЭКА, 1999.
4. Серебряков А.С. Электротехника и электроника. Лабораторный практикум на Electronics Workbench и Multisim: Учеб. пособие / А.С. Серебряков. – М.: Высш. шк., 2009.
5. Тяпичев Г.А. Персональный компьютер в радиолюбительской практике. – М.: Издательский дом «Додэка-XXI», 2006.

Учебное издание

Гуськов Юрий Викторович

**Исследование электронных приборов и устройств
в программе Electronics Workbench 5.12**

Лабораторный практикум

ГАПОУ «Чебоксарский техникум ТрансСтройТех»
Минобразования Чувашии
428027, Чебоксары, ул. Хузангая, д. 18

