

СОДЕРЖАНИЕ

1. Знакомство с программой «Multisim 10». Проверка законов Ома для простых цепей постоянного и переменного тока.....	4
2. Изучение полупроводниковых диодов и стабилитронов.....	7
3. Изучение методов расчета электрических цепей. Проверка законов Кирхгофа и метода наложения на примере диодного ограничителя.....	10
4. Исследование интегрирующих и дифференцирующих RC цепей.....	12
5. Изучение биполярных и полевых транзисторов.....	16
6. Изучение транзисторного усилителя.....	20
7. Изучение транзисторного усилителя с обратной связью.....	23
8. Изучение операционных усилителей.....	25
9. Изучение нелинейных устройств на операционных усилителях.....	28
10. Изучение интегральных логических элементов (ЛЭ) КМОП.....	31
11. Изучение интегральных триггеров.....	34
12. Изучение счетчиков и регистров на триггерах.....	36
13. Изучение генераторов импульсов на интегральных микросхемах и устройств на их основе.....	40
14. Изучение аналого-цифрового (АЦП) и цифро-аналогового (ЦАП) преобразователей.....	43
15. Изучение выпрямителей и стабилизаторов напряжения.....	48
Библиографический список.....	52

Введение

Современный уровень развития промышленности предъявляет повышенный спрос на специалистов в области проектирования и технологии устройств на микроконтроллерах (МК), компьютерных систем и средств связи. Очень важно, чтобы бакалавры и специалисты направления подготовки «Конструирование и технология электронных средств» могли использовать современные приемы компьютерного проектирования, которые повышают производительность и качество разработки с одновременным снижением ее стоимости.

Разработка сложного электронного устройства сопровождается физическим или математическим моделированием. Физическое моделирование часто связано с большими материальными затратами, поскольку требует изготовления макетов и их трудоемкого натурального исследования. В таких случаях, как правило, используют математическое моделирование при помощи средств и методов вычислительной техники.

Для того чтобы студенты получили практические навыки в сфере проектирования микроконтроллерных устройств, в учебный план дисциплины «Центральные и периферийные устройства ЭВС» введены лабораторно-практические занятия студентов с использованием элементов компьютерного моделирования ЭВС.

На кафедре имеется лицензионное программное обеспечение компании National Instruments (NI), поэтому подходящим продуктом является среда проектирования Multisim фирмы Electronics Workbench, которая в настоящее время входит в корпорацию NI. Она позволяет строить и анализировать любые электронные схемы: аналоговые, цифро-аналоговые и цифровые. Программа Multisim достаточно легко осваивается и удобна в работе. Важно, что последние версии ПО Multisim позволяют моделировать программируемые цифровые устройства на основе 8-разрядных МК с ядром MCS-51 и PIC-16 фирмы Microchip, поскольку в составе ПО имеются компиляторы с языка C и ассемблера указанных микроконтроллеров.

Предлагаемый цикл лабораторных работ предназначен для изучения принципов построения и функционирования электронно-вычислительных средств (ЭВС), построенных на базе микроконтроллеров семейства MCS-51 с использованием программного пакета моделирования Multisim.

Восьмиразрядные микроконтроллеры семейства MCS-51 выбраны для изучения по нескольким причинам:

- наличие программной модели микроконтроллера в базе элементов Multisim;
- простота понимания студентами 3 курса, которые имеют небольшой объем знаний по схемотехнике и программированию;
- возможность освоения основных приемов проектирования микроконтроллерных систем;
- наличие библиографических источников.

Для успешного выполнения студентами курсовой работы, которая завершает изучение дисциплины «Центральные и периферийные устройства ЭВС» в лабораторный практикум введены лабораторные занятия по решению часто встречающихся на практике задач, связанных с проектированием МК и разработкой типовых модулей микроконтроллерных устройств:

- получение требуемых интервалов времени;
- отображение информации на цифровых индикаторах;
- настройка и использование последовательного порта для приема / передачи информации;
- подключение внешней памяти к ядру МК (что является актуальным для 8-разрядных микроконтроллеров);
- цифро-аналоговое и аналого-цифровое преобразования информации, применяемые при построении систем обработки информации и управления;
- реализация широтно-импульсной модуляции, которая используется, в частности, при управлении исполнительными устройствами.

Помимо перечисленных выше тем лабораторных занятий в начале лабораторного практикума студенты знакомятся с основами работы в программной среде моделирования Multisim.

При выполнении лабораторных работ студенты должны практически освоить основы организации МК семейства MCS-51, которые рассматриваются в лекционном материале дисциплины [1], а также изложены, например, в [2].

Современным методом проектирования микроконтроллерных устройств является метод структурного проектирования, общие положения которого рассматриваются в следующем разделе.

Основы работы с программным обеспечением Multisim

Цель работы: ознакомиться с интерфейсом программы Multisim, научиться создавать проект и программный файл.

2.1.1. Интерфейс пользователя

2.1.1.1. Основные элементы пользовательского меню

После установки программы в компьютере ее запуск осуществляется следующим образом: *Пуск – Все программы – National Instruments – Circuit Design Suite 10.0 – Multisim.*

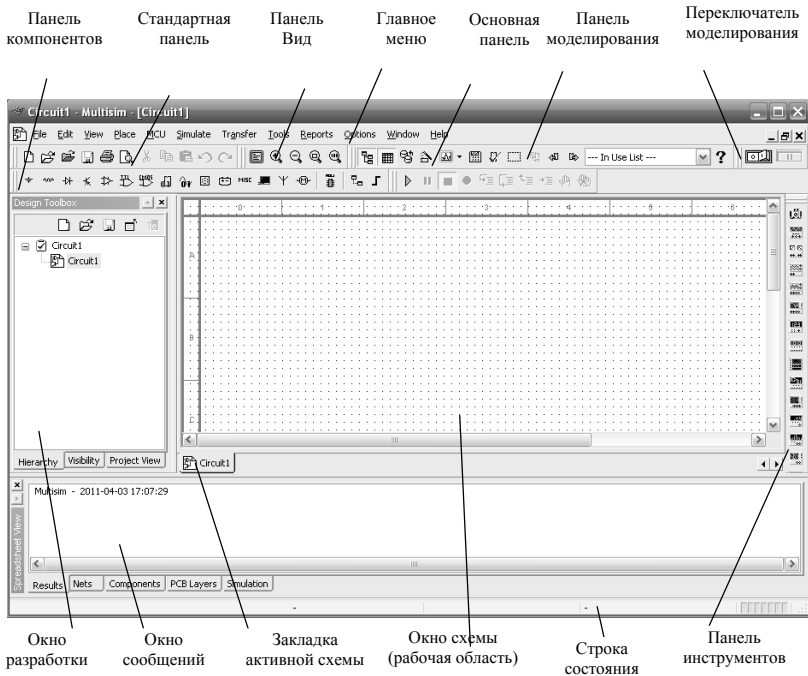



Рис. 2.1. Основные элементы пользовательского интерфейса

Открывающееся окно программы Multisim (рис. 2.1) выглядит стандартно для современного интерактивного программного про-

дукта. Основными элементами пользовательского интерфейса являются: главное меню, панель инструментов, строка состояния, полосы прокрутки и другие стандартные элементы окна программы Windows. Особенности работы с элементами меню программы Multisim 10 приводятся, например, в [5].

Для активизации окна сообщений необходимо нажать на основной панели значок  либо выбрать в пункте меню View-Spreadsheet View.

Главное меню программы Multisim обладает большим набором инструментов для подготовки схемы и проведения анализа.

Пункты главного меню File, Edit, View являются обычными меню с набором команд для работы с файлами и проектами, печати (File), редактирования и изменения свойств чертежа, ориентирования, удаления, выделения, перемещения элементов схем (Edit), настройки пользовательского интерфейса с возможностью изменения набора инструментальных панелей, масштабирования рабочей области (View).

Пункт меню Place:

Component... – предназначен для выбора и размещения компонентов схемы;

Wire – нанесение соединительных проводов;

Bus – построение информационных шин;

Junction – определение электрических узлов-соединителей;

Comment – определение комментария в схеме;

Connectors – введение соединителей;

Text – введение пояснительного текста;

Graphics – вставка элементарных графических элементов и графических изображений из внешнего файла;

Title Block – задание параметров штампа для схемы.

Пункт меню MCU позволяет записать программный код для работы выбранного микропроцессора и отладить программу.

Пункт меню Simulate задает типы проводимого анализа, позволяет выбрать встроенные приборы, сохранить результаты и провести их обработку. В этом меню можно изменить временной шаг моделирования при помощи пункта Interactive Simulation Settings (рис. 2.2).

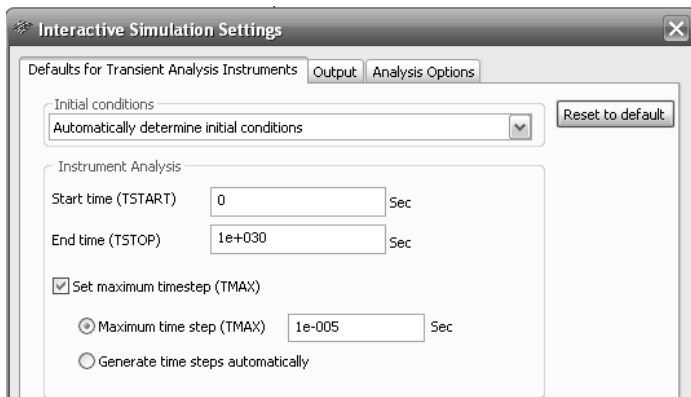


Рис. 2.2. Окно настройки временного шага моделирования

В программе по умолчанию выбрана автоматическая генерация шага моделирования (10^{-5} с). Для изменения временного шага моделирования нужно активировать строчку **Maximum time step (TMAX)** и указать необходимый шаг.

Пункт меню Transfer – здесь можно передать исходные данные для трассировки печатных плат в программу Ultiboard.

Меню Tools позволяет работать с базой данных компонентов программы, использовать возможности автоматизированного проектирования, мастера проектирования имеющихся типовых устройств на основе таймера 555 серии, полосовых фильтров, операционных усилителей и каскадов усиления на биполярных транзисторах, для которых можно выбрать требуемые выходные параметры.

В этом меню также можно подобрать исходные данные для многовариантного анализа исследуемой схемы, проверить схему на ошибки, редактировать имена электронных компонентов и даже реализовать дальнейшее сохранение полученной картинке в виде графического файла.

Пункт меню Reports предлагает детальный отчет о схеме: числе и типе компонентов, их параметрах, сведения об узлах схемы и многое другое. Кроме этого полученную информацию можно передать в офисные программы для дальнейшего использования.

Пункт меню Option задает условия работы по подготовке и сохранению схемы, определения внешнего вида схемы и условий ввода и размещения элементов при рисовании. Он содержит следующие

подменю: Global Preferences..., Sheet Properties... и Customize User Interface...

Подменю Global Preferences определяет режимы и условия работы программы как в процессе ввода схемы, так и при сохранении введенной схемы в виде файла. Так, на закладке Paths (рис. 2.3) дается путь до папок хранения файлов схем, файлов конфигурации и баз данных.

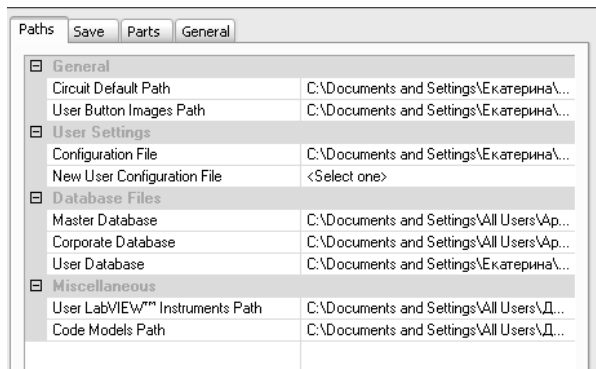


Рис. 2.3. Закладка Paths подменю Global Preferences пункта меню Option

На закладке Save (рис. 2.4) определяются режимы сохранения и размеры файла данных.

На закладке Parts (рис. 2.5) определяются действия программы при выборе и установке компонента в рабочую область схемы, выбор стандарта вида компонента, параметры автоматизации измерения результатов анализа, параметры моделирования цифровых устройств.

На закладке General (рис. 2.6) определяются действия при движении колесика мыши, задаются возможности автоматизации соединения проводников и возможности выбора выделяемых движением курсора областей.

Подменю Sheet Properties определяет внешний вид подготовленной, нарисованной схемы. На ее закладке Circuit (рис. 2.7) можно указать, какая информация будет отображаться на поле схемы возле введенного компонента.

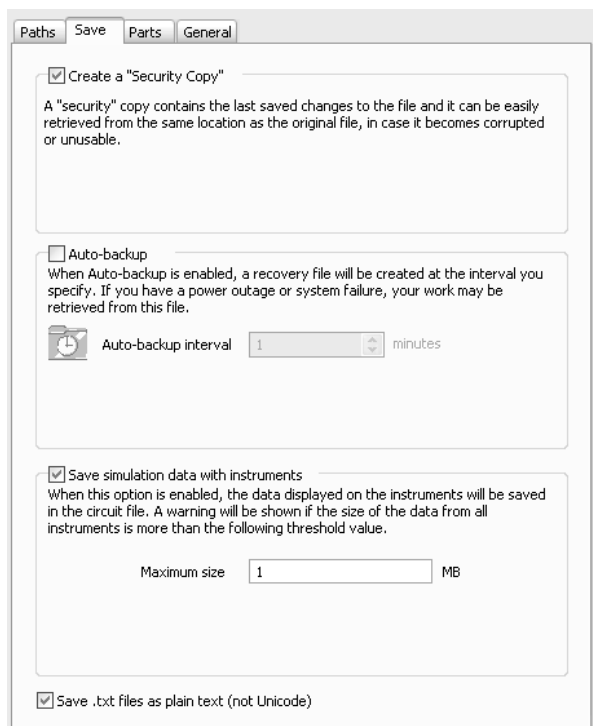


Рис. 2.4. Закладка Save подменю Global Preferences пункта меню Option

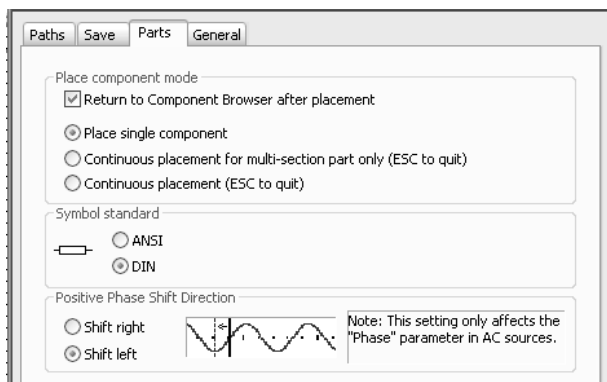


Рис. 2.5. Закладка Parts подменю Global Preferences пункта меню Option

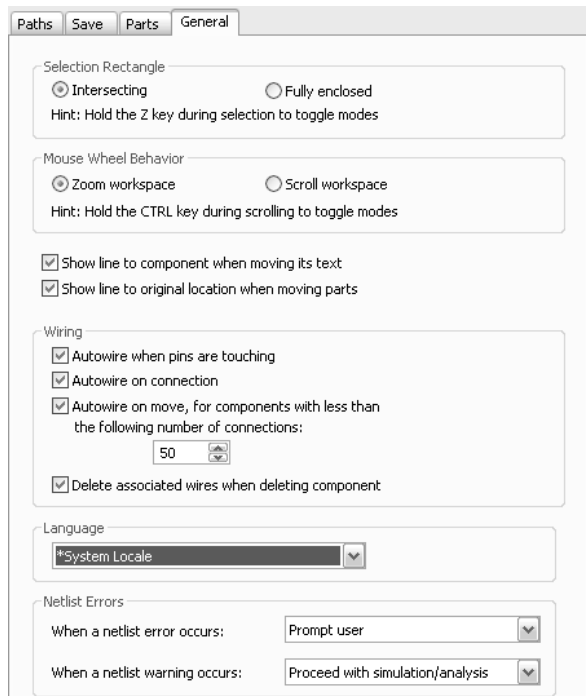


Рис. 2.6. Закладка General подменю Global Preferences пункта меню Option

Рекомендуется оставить для отображения только самую необходимую информацию: текстовые метки (Labels), позиционное обозначение (RefDes), его значение (Values). С помощью этой же закладки можно задать также цветовое решение элементов, соединительных проводов, фона схемы из стандартных наборов или же задать пользовательскую цветовую палитру (Color). Если затем нажать экранную кнопку окна ОК, то все выбранные настройки сохранятся только для текущей схемы и не будут использоваться в следующих схемах. Для сохранения настроек для следующих схем необходимо отметить флажок Save as default и уже после этого нажать ОК.

Закладка Workspace (рис. 2.8) позволяет установить видимость сетки, границы чертежа, показ границы страницы, определить размер страницы для схемы из стандартных наборов, ее ориентацию

или же определить нестандартные размеры страницы и метрику размеров.

Закладка Wiring (рис. 2.9) определяет толщину линий соединительных проводов и толщину изображения шин.

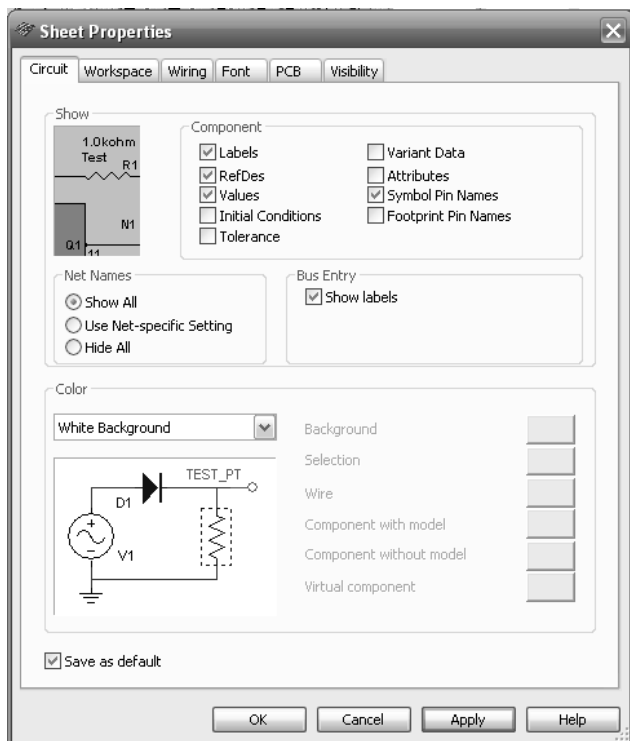


Рис. 2.7. Закладка Circuit подменю Sheet Properties пункта меню Option

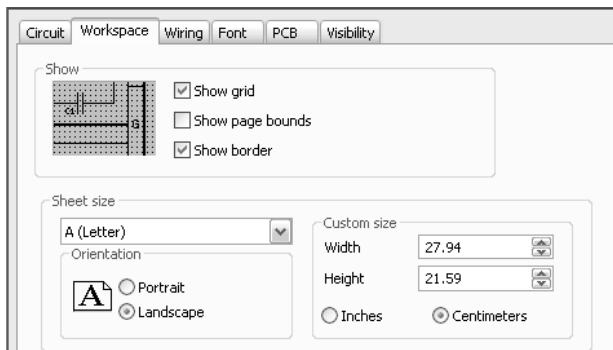


Рис. 2.8. Закладка Workspace подменю Sheet Properties пункта меню Option

Пункт меню Window – стандартный, осуществляет навигацию между внутренними окнами программы и регулирует расположение этих окон. Аналогичное можно сказать и о пункте меню Help.

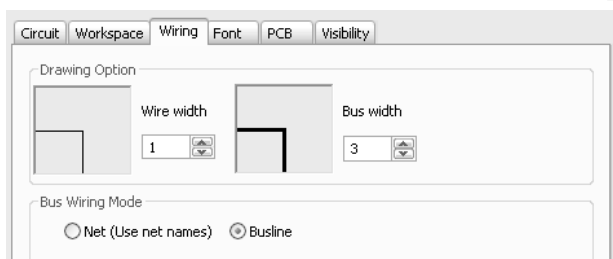


Рис. 2.9. Закладка Wiring подменю Sheet Properties пункта меню Option

2.1.1.2. Виртуальные инструменты

Программа Multisim содержит большое число виртуальных измерительных приборов (инструментов), которые можно использовать с целью проведения измерения или же исследования схемотехнических решений. Виртуальные измерительные приборы по своему действию соответствуют реальным приборам. С их помощью можно не только визуализировать информацию, но и сохранить ее в виде файла данных, который в дальнейшем можно будет использовать для обмена с другими программами, например **LabVIEW**.

Панель инструментов на экране может быть расположена произвольно, но, как правило, она закрепляется у границ окна. Вид панели представлен на рис. 2.10.






Рис. 2.10. Вид панели инструментов

Измерительные приборы могут иметь разный внешний вид, в зависимости от того, какую задачу ставит перед собой пользователь и где расположен сам прибор (на панели инструментов или на поле схемы), пример показан в табл. 2.1.

Таблица 2.1

Представление виртуальных приборов в Multisim

Форма представления	Описание	Внешний вид
Иконка	Представляет инструмент в панели инструментов Multisim's NI	
Символ	Представляет инструмент в цепи схемы. Для подсоединения к схеме необходимо использовать внешние выводы инструмента. Для открытия приборной панели необходимо дважды щелкнуть ЛКМ на символе инструмента	
Инструментальная панель (панель прибора)	Открывается двойным щелчком ЛКМ на символе инструмента. Позволяет пользователю взаимодействовать с инструментом – установить параметры измерения. Отображает результаты измерения	

Приборы Multisim позволяют пользователю измерять параметры моделируемой схемы, даже если он не знаком с основами языка моделирования SPICE. Если пользователь изменяет настройки прибора, тут же автоматически изменяются и параметры моделирования.

При проведении моделирования показания приборов постоянно изменяются. В одной и той же схеме может быть несколько экземпляров прибора. Атрибуты настройки прибора и соответствующие этим настройкам параметры моделирования могут быть сохранены в конфигурационном файле. Полученные при моделировании данные при использовании встроенных приборов могут быть обработаны постпроцессором и показаны в окне Grapher View. Внешний вид (размеры) инструментальной панели прибора могут быть изменены

в соответствии с требуемым разрешением экрана и способом отображения данных. Данные, полученные в результате анализа, могут быть сохранены в формате файлов TXT, LVM, и TDM.

NI Electronics Workbench Group имеет тесные партнерские связи с представителями ведущих фирм в области измерительной техники, таких Agilent® и Tektronix®, поэтому приборы, размещенные на панели инструментов Multisim, выглядят и работают абсолютно так же, как и реальные физические приборы этих производителей.

Встроенные в программу Multisim приборы могут быть сгруппированы по шести категориям (табл. 2.2–2.7).

Таблица 2.2

Инструменты для анализа напряжения и токов

Тип прибора	Функциональные возможности	Иконка
1	2	3
Функциональные генераторы (Function generator)	Генерирование синусоидальных, трапецидальных и импульсных сигналов. Установка частоты, скважности, амплитуды сигнала	
Мультиметр (Multimeter)	Измерение постоянного и переменного тока, напряжения и потерь.	
2-канальный осциллограф (Oscilloscope)	Измерение сигнала в двух каналах. Масштабирование Y и X осей. Смещение по Y оси. Синхронизация	
4-канальный осциллограф (4 channel scilloscope)	Измерение сигнала в четырех каналах. Масштабирование Y и X осей. Смещение по Y оси. Синхронизация	
Ваттметр (Wattmeter)	Измерение мощности сигнала	
Измеритель ВАХ (IV-analysis)	Исследуются диоды, биполярные PNP и NPN-транзисторы (BJT). Канальные транзисторы (PMOS), (NMOS) и полевые. КМОП структуры (CMOS)	
Счетчики (Frequency counter)	Измеряются частота, период, фронты импульсов, АЧХ, фазовые сдвиги. Поддерживается частота измерений свыше 10 ГГц, синхронизация, развязка по постоянному току	
Построитель графика Бодэ (Bode plotter)	Исследуются частотная характеристика, фазовые сдвиги. Поддерживается частота измерений свыше 10 ГГц	
Измеритель частотных искажений (Distortion analyzer)	Измеряются интермодуляционные искажения, суммарный коэффициент гармонических искажений (коэффициент гармоник)	

Таблица 2.3

Логические инструменты




Тип прибора	Функциональные возможности	Иконка
Логический анализатор (Logic analyzer)	Измеряются 16 каналов, история измерений. Поддерживается синхронизация. Внешняя/внутренняя опорная частота	
Логический конвертер (Logic converter)	Цифровые схемы, построенные по таблицам истинности и логическим выражениям. Таблицы истинности для цифровых схем. Логические выражения для цифровых схем. Реализуются циклы, обновление шага, сброс. HEX, DEC, Boolean, ASCII-коды	
Генератор слов (Word generator)	Реализуются HEX, DEC, Boolean, ASCII представление данных, синхронизация, временная селекция. Режимы: циклы, обновление шага, сброс	

Таблица 2.4

Приборы радиочастотного диапазона



Тип прибора	Функциональные возможности	Иконка
Анализатор спектра (Spectrum analyzer)	Измеряются спектр, компоненты спектра (мощность, частота), непрерывный и дискретный спектр	
Прибор для анализа электрических цепей в обобщенном виде (Network analyzer)	Построение по цифровой схеме таблицы истинности или логического выражения. Обратное преобразование таблицы истинности или логического выражения в цифровую схему	

Таблица 2.5

Инструменты, моделирующие измерительные приборы фирм-производителей измерительных устройств








Тип прибора	Функциональные возможности	Иконка
Генератор Agilent (Agilent function generator)	Тип генератора 33120A. Моделирование реального прибора	
Мультиметр DMM Agilent (Agilent multimeter)	Тип генератора 34401A. Моделирование реального прибора	
Осциллограф Agilent (Agilent oscilloscope)	Тип осциллографа 54622D. Моделирование реального прибора.	
Осциллограф Tektronix (Tektronix oscilloscope)	Тип осциллографа TDS 2024. Моделирование реального прибора	

Таблица 2.6





Измерительные пробники

Тип прибора	Функциональные возможности	Иконка
Пробник	Измерения тока, напряжения и частоты относительно земли	
Пробник	Измерения тока, напряжения и частоты относительно другого пробника	
Пробник	Имитация поведения токовых измерителей (токовых клещей)	

В приложении рассматриваются основы настройки часто используемых виртуальных приборов: генератора слов, логического анализатора, функционального генератора.

Таблица 2.7

Инструменты, базирующиеся на виртуальных приборах NI LabVIEW

Имя прибора	Функциональные возможности	Иконка
Микрофон	Подключение к звуковой плате компьютера. Запись звука	
Динамик	Подключение к звуковой плате компьютера	
Анализатор сигнала	Анализ сигнала во временной области. Спектр мощности	
Генератор сигнала	Гармонический, импульсный, пилообразный, треугольный сигналы	

2.1.1.3. Организация базы данных Multisim

Элементы схемы выбираются из базы данных и размещаются на рабочем поле тремя способами:

- 1) Через Главное меню (Place – Component...);
- 2) Через контекстное меню рабочей области (Place Component...);
- 3) Через панель компонентов (рис. 2.11).



Рис. 2.11. Панель компонентов

Имеются следующие группы элементов:

**Группа Sources – источники энергии и сигналов**

Power sources – источники питания (AC – источник питания переменного тока, DC – источник питания постоянного тока, DGND – циф-

ровая земля, GROUND – аналоговая земля, Vcc, Vdd – положительное напряжение питания, Vee, Vss – отрицательное напряжение, земля).

Аналоговое заземление используется во всех процессах моделирования за исключением моделирования цифровых устройств в реальном времени (в этом режиме, кроме задержки в логическом элементе, моделируется время фронта и время спада, выходное напряжение имеет сглаженные фронты, а сам процесс моделирования требует большего времени).

Signal voltage sources – сигнальные источники напряжения.

Signal current sources – сигнальные источники тока.

Controlled voltage sources – регулируемые источники напряжения.

Controlled current sources – регулируемые источники тока.

Control function blocks – функциональные блоки управления.



Группа Basic – группа с базовыми элементами

Rpack – резистивная сборка.

Switch – переключатели (ключи, push button – кнопка, блоки с 2–10 переключателями).

Transformer – трансформатор.

Non linear transformer – нелинейный трансформатор.

Relay – реле.

Connectors – соединители, разъемы.

Sockets – сокет.

Resistor – резисторы.

Capacitor – конденсаторы.

Inductor – катушки индуктивности.

Cap electrolit – электролитические конденсаторы.

Variable capacitor – переменные конденсаторы.

Variable inductor – переменные катушки индуктивности.

Potentiometer – потенциометры.



Группа Diodes – диоды

Diode – диоды.

Zener – стабилитроны (диоды Зенера).

Led – светодиоды.

FWB – диодные мосты.

Schootky diode – диоды Шоттки.

Scr – тиристоры триодные, запираемые в обратном направлении с управлением по катоду.

Diac – диоды двунаправленные.

Triac – тиристоры триодные симметричные (двунаправленные).

Varactor – варикапы (емкостные диоды).

Pin diod – pin диоды (содержат область собственной проводимости между сильнолегированными областями).



Группа Transistors – транзисторы

BJT NPN – биполярные транзисторы типа NPN.

BJT PNP – биполярные транзисторы типа PNP.

BJT ARRAY – микросборки транзисторов.

DARLINGTON NPN – транзисторы Дарлингтона NPN (составные транзисторы).

DARLINGTON PNP – транзисторы Дарлингтона PNP.

DARLINGTON ARRAY – массив транзисторов Дарлингтона.

MOS 3TDN – транзистор канальный с встроенным каналом N-типа.

MOS 3TEN – транзистор канальный с изолированным затвором обогащенного типа с N-каналом, с внутренним соединением истока и подложки (индуцированный канал).

MOS 3TEP – транзистор канальный с индуцированным каналом P-типа.

JFET N – транзистор полевой с проводимостью типа N.

JFET P – транзистор полевой с проводимостью типа P.

POWER MOS N – мощный канальный транзистор с каналом N-типа.

POWER MOS P – мощный канальный транзистор с каналом P-типа.

POWER MOS COM – мощный канальный транзистор (комплементарная технология).

UJT – тиристор триодный, запираемый в обратном направлении с управлением по аноду.

THERMAL MODELS – температурные модели.



Группа Analog – аналоговые компоненты

Operamp – операционные усилители.

Comparator – компараторы.

Wideband amps – широкополосные усилители.

Special function – компоненты, реализуемые специальные функции.



Группа TTL – элементы транзисторно-транзисторной логики 74-серии



Группа CMOS – комплементарная МОП-структура (комплиментарные транзисторы)



Группа MCU

Микроконтроллеры – МК (805х, PIC).

Микросхемы памяти – RAM, ROM (HM-65642-883 (8k x 8), HM61116A120(2k x 8)), ПЗУ (27C128-12L(16k x 8), 27C256-15L (32K x8)), ППЗУ (27C64Q350-883)).



Группа Advanced peripherals

Усовершенствованные периферийные устройства, такие как виртуальная цифровая клавиатура (4x4, 4x5), LCD-дисплей, светофор.



Группа Misc digital – различные цифровые микросхемы

DSP – устройства DSP (цифровые сигнальные процессоры).

FPGA – устройства FPGA (программируемая пользователем вентиляционная матрица).

PLD – программируемые логические устройства.

CPLD – комплементарные программируемые логические схемы.

Microcontrollers – микроконтроллеры.

Microprocessors – микропроцессоры.

Memory – микросхемы памяти.

Line driver – линейный формирователь.

Line receiver – линейный приемник.

Line transceiver – линейные приемопередатчики.



Группа Mixed – устройства смешанного сигнала

Analog switch – аналоговые переключатели.

Analog switch IC – интегральная схема аналогового переключателя.

Timer – таймер.

ADC, DAC – АЦП (ADS8364Y, AD16), ЦАП (DAC7643_FP32).

Multivibrators – мультивибраторы.



Группа Indicators – индикаторы

Voltmeter – вольтметры.

Ammeter – амперметры.

Probe – пробники.

Buzzer – автоматические прерыватели.

Lamp – лампы.

Hex display – дисплеи (светоиндикаторы – 15-сегментные, семи-сегментные, с общим катодом, с общим анодом, с десятичной точкой, без точки, дисплеи с «+» или «-», 7 сегментные дисплеи с двумя цифрами (с десятичной точкой, с общим анодом или с общим катодом).

Bar graph – столбцовая диаграмма.



Группа Power – компоненты, относящиеся к источникам питания и связанные с ними:

Fuse – плавкие предохранители.

Voltage reference – источники опорного напряжения.

Voltage regulator – потенциометры.

Voltage suppressor – ограничительные диоды.

Power supply controller – контроллеры источников питания

Misc power – прочие источники питания.

PWM controller – широтно-импульсный модулятор.



Группа Misc – прочее

Optocoupler – оптроны.

Crystal – кварцевые резонаторы.

Vacuum tube – электронные лампы.

Boost converter – усилители-преобразователи.

Lossy transmission line – линия передачи с потерями.

Lossless line type1 – линия без потерь, тип 1.

Lossless line type2 – линия без потерь, тип 2.

Filters – фильтры.

Mosfet driver – драйвер полевого транзистора.

Net – сеть связи.



Группа RF – радиочастотные устройства

RF capacitor – радиочастотные конденсаторы.

RF inductor – радиочастотные катушки индуктивности.

RF BJT NPN – радиочастотные биполярные транзисторы типа NPN.

RF BJT PNP – радиочастотные биполярные транзисторы типа PNP.

RF MOS 3TDN – радиочастотные полевые транзисторы с встроенным каналом N-типа.

Tunnel diode – радиочастотные туннельные диоды.

Strip line – полосковые линии.

Лабораторная работа № 1

Знакомство с программой «Multisim 10».

Проверка законов Ома для простых цепей постоянного и переменного тока

1.1. Цель работы

Знакомство с интерфейсом и порядком работы с программой моделирования электронных схем «Multisim 10» и анализ простейших цепей постоянного и переменного тока.

1.2. Порядок выполнения работы

1.2.1. Ознакомьтесь с описанием программы по методическому пособию. Соберите схему для проверки закона Ома с генератором напряжения, приведенную на рис.1.1. Сопротивление резистора **R1** установите 2 кОм.

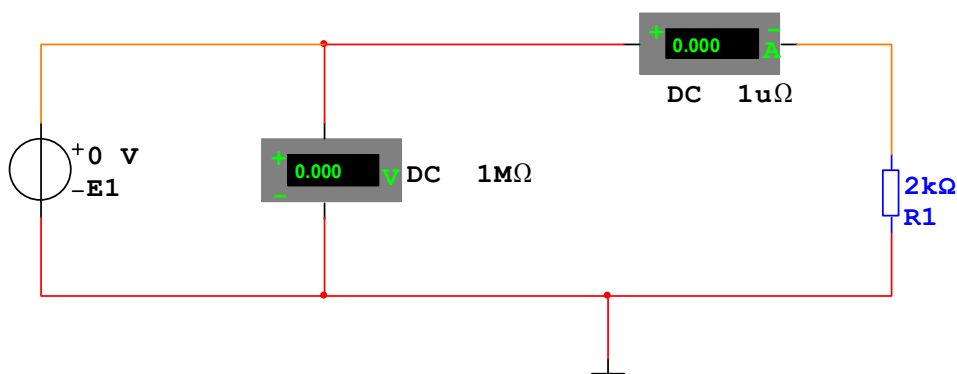


Рис. 1.1.

1.2.2. Установите режим работы амперметра на измерение постоянного тока (DC). Установите напряжение генератора **E1** 0 В. Активизируйте схему и запишите показания амперметра.

1.2.3. Повторите измерения п.1.2.2. для напряжения генератора **E1** 1 В, 2 В и т.д. до 10 В. Результаты запишите в виде таблицы.

1.2.4. Измените полярность входного напряжения, для чего удалите из схемы генератор **E1**, переверните его на 180 градусов и затем снова установите в схему. Повторите измерения пп. 1.2.2. – 1.2.3.

1.2.5. Соберите схему для проверки закона Ома с генератором тока, приведенную на рис.1.2. Сопротивление резистора **R1** установите 500 Ом.

1.2.6. Установите режим работы вольтметра на измерение постоянного напряжения (DC). Установите ток генератора **I1** 0 мА. Активизируйте схему и запишите показания вольтметра.

1.2.7. Повторите измерения п.1.2.6. для тока генератора **I1** 1 мА, 2 мА и т.д. до 10 мА. Результаты запишите в виде таблицы.

1.2.8. Измените полярность входного тока, для чего удалите из схемы генератор **И1**, переверните его на 180 градусов и затем снова установите в схему. Повторите измерения пп. 1.2.6. – 1.2.7.

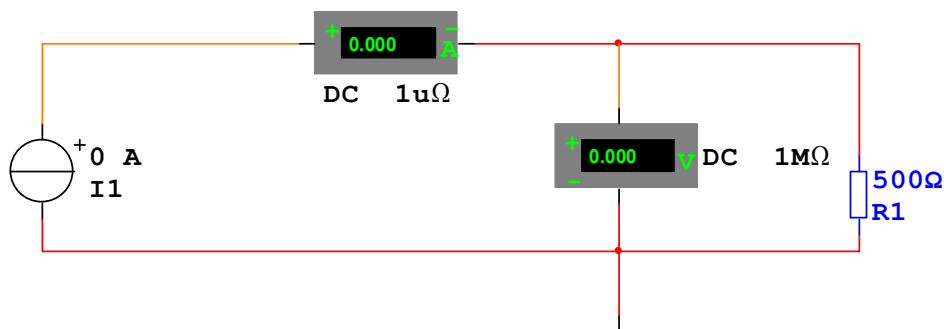


Рис. 1.2.

1.2.9. Соберите схему для проверки закона Ома в цепи переменного тока, приведенную на рис.1.3. Установите сопротивление резистора **R1** 1 кОм и емкость конденсатора **C1** 0.2 мкФ.

1.2.10. Установите форму выходного напряжения функционального генератора - синусоида, частоту 1 кГц, амплитуду 10 Вольт, смещение 0 Вольт. Установите режим работы амперметра и вольтметра на измерение переменного тока (AC), а режим работы осциллографа таким, чтобы на экране наблюдалось 2 - 3 периода сигнала.

1.2.11. Активизируйте схему и запишите показания приборов, определите и запишите период и амплитуду исследуемых сигналов, затем зарисуйте графики с экрана осциллографа.

1.2.12. Установите частоту функционального генератора 10 кГц и повторите измерения пп.1.2.10. – 1.2.11.

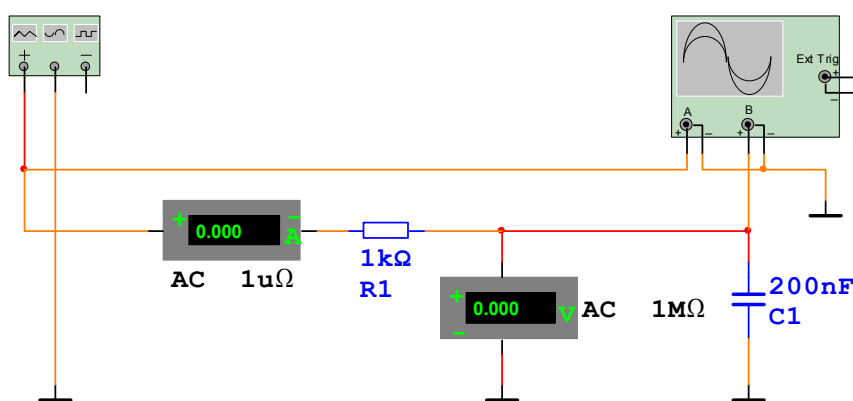


Рис.1.3.

1.3. Обработка результатов

1.3.1. По результатам измерений пп. 1.2.1. – 1.2.8. постройте на одном графике вольт-амперные характеристики (ВАХ – зависимости тока от напряже-

ния) для резисторов 2 кОм и 500 Ом. Объясните вид полученных зависимостей. Сделайте выводы о выполнении закона Ома.

1.3.2. По результатам измерений пп.1.2.9 – 1.2.12., используя закон Ома для участка цепи с конденсатором для схемы на рис.1.2, рассчитайте экспериментальные значения емкостного сопротивления конденсатора $X_{сэ} = U/I$ (Ом), где U – напряжение на конденсаторе в В, I – ток через конденсатор в А, и сравните эти значения с рассчитанными по формуле $X_{ср} = 1/(2\pi fC)$, f – частота переменного напряжения в Гц, C – емкость конденсатора в Ф. Сделайте выводы о зависимости емкостного сопротивления конденсатора от частоты.

1.4. Содержание отчета

1.4.1. Цель работы.

1.4.2. Исследуемые схемы.

1.4.3. Результаты измерений, расчеты и графики.

1.4.4. Выводы.

1.5. Контрольные вопросы

1.5.1. Дайте определение источника (генератора) напряжения и источника (генератора) тока. В чем отличие идеального и реального генератора?

1.5.2. Сформулируйте законы Ома для цепей с генераторами напряжения и тока.

1.5.3. Как влияют параметры амперметра и вольтметра на точность измерения токов и напряжений в цепи?

1.5.4. Как измеряются переменные напряжения и токи? Что такое действующее значение переменного напряжения (тока)?

Лабораторная работа № 2

Изучение полупроводниковых диодов и стабилитронов

2.1. Цель работы

Исследование вольтамперных характеристик, определение основных параметров различных типов полупроводниковых диодов и стабилитронов и анализ простейших схем с полупроводниковыми диодами и стабилитронами.

2.2. Порядок выполнения работы

2.2.1. Соберите схему для получения вольтамперных характеристик диодов и стабилитронов, приведенную на рис.2.1. Для исследования выберите кремниевый диод 1N4148 или другой по указанию преподавателя.

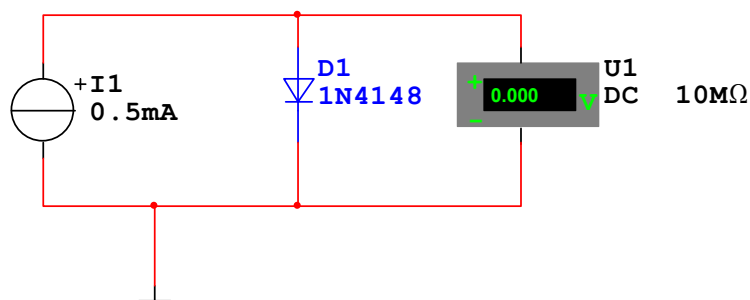


Рис.2.1

2.2.2. Установите режим работы вольтметра на измерение постоянного напряжения (DC). Изменяя выходной ток генератора тока от 0.5 мА до 20 мА, занесите в таблицу результаты измерений напряжения на диоде для соответствующих значений тока.

Таблица 2.1

Тип и способ включения диода (стабилитрона)	I , мА	0.5	1	2	3	5	10	15	20
Кремниевый–прямое	$U_{пр}$, В								
Шотки–прямое	$U_{пр}$, В								
Стабилитрон 1– прямое	$U_{пр}$, В								
Стабилитрон 1–обратное	$U_{обр}$, В								
Стабилитрон 2– прямое	$U_{пр}$, В								
Стабилитрон 2–обратное	$U_{обр}$, В								

2.2.3. Измените тип диода на диод Шотки MBR1035 или другой по указанию преподавателя и повторите измерения в соответствии с п. 2.2.2.

2.2.4. Смените диод на стабилитрон 1N957A (стабилитрон 1) или другой по указанию преподавателя и повторите измерения в соответствии с п. 2.2.2.

2.2.5. Измените полярность включения стабилитрона путем удаления и последующей вставки перевернутого на 180 градусов генератора тока и повторите измерения в соответствии с п. 2.2.2.

2.2.6. Измените тип стабилитрона на 1N961A (стабилитрон 2) или другой по указанию преподавателя и повторите измерения в соответствии с пп. 2.2.4 – 2.2.5.

2.2.7. Соберите схему, приведенную на рис.2.2. Установите частоту генератора 50 Гц, напряжение 20 В, тип диода тот же, что и в п. 2.2.1. Активизируйте схему и зарисуйте полученные осциллограммы (масштаб по оси X - 5ms/div, по оси Y в каналах A и B - 10V/div).

2.2.8. Замените диод на стабилитрон 1 из п. 2.2.4 и повторите измерения в соответствии с п. 2.2.7.

2.2.9. Соберите схему, приведенную на рис.2.3 и повторите измерения для того же типа диода и стабилитрона аналогично пп. 2.2.7 - 2.2.8.

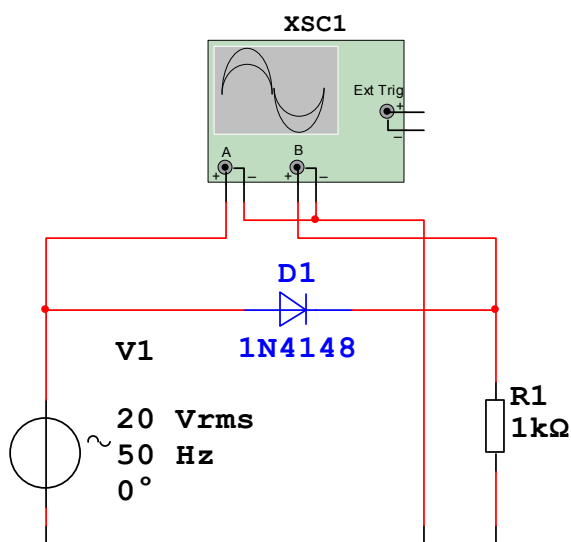


Рис.2.2.

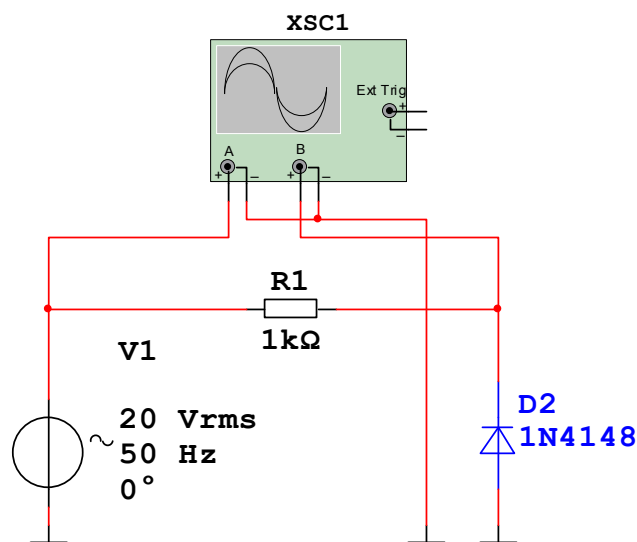


Рис.2.3

2.2. Обработка результатов измерений

2.2.1. Постройте на одном графике (ось напряжений от -15 В до +1 В, ось токов от -20 мА до +20 мА) прямые и обратные ветви ВАХ исследованных диодов и стабилитронов. Сделайте выводы о сходстве и различии ВАХ разных типов диодов.

2.2.2. Определите прямые статические $R_{ст}$ и дифференциальные $R_{дифф}$ сопротивления для всех типов диодов и стабилитронов при токах 2 мА и 10 мА по формулам:

$$R_{ст} = U/I ;$$

$$R_{дифф} = dU/dI$$

(дифференциальные сопротивления определяются численным дифференцированием с использованием заданного и следующего за ним по таблице значения тока). Сделайте выводы о зависимости полученных значений сопротивлений от тока, а также соотношении статических и дифференциальных сопротивлений для каждого типа диода и у различных диодов.

2.2.3. По тем же формулам определите обратные статические и дифференциальные сопротивления для всех типов стабилитронов при токах 2 мА и 10 мА. По данным таблицы запишите величины напряжения стабилизации стабилитронов при тех же токах. Объясните, каким образом происходит стабилизация напряжения и как на нее влияют параметры стабилитрона.

2.2.3. Постройте графики зависимостей входного и выходных напряжений от времени с экрана осциллографа для схем на рис.2.2 и рис.2.3 (всего 4 графика) в одном масштабе один под другим. Объясните вид полученных зависимостей для каждого типа диода.

2.4. Содержание отчета

2.4.1. Цель работы.

2.4.2. Схемы для снятия ВАХ и осциллограмм.

2.4.3. Таблицы с результатами измерений.

2.4.4. Вольтамперные характеристики диодов и стабилитронов.

2.4.5. Расчет параметров, определяемых по результатам измерений.

2.4.6. Картинки осциллограмм.

2.4.7. Выводы.

2.5. Контрольные вопросы

2.5.1. Какие процессы протекают в р-п переходе в равновесном состоянии, прямом и обратном включении?

2.5.2. Дайте определения основных параметров полупроводниковых диодов и стабилитронов.

2.5.3. В чем различия ВАХ и рассчитанных по ним параметров диодов с р-п-переходом и диодов Шоттки?

2.5.4. Как практически определить статические и дифференциальные сопротивления диодов?

Лабораторная работа № 3

Изучение методов расчета электрических цепей. Проверка законов Кирхгофа и метода наложения на примере диодного ограничителя.

3.1. Цель работы

Изучение методов расчета электрических цепей, проверка законов Кирхгофа. Расчет и проверка работы диодного ограничителя.

3.2. Порядок выполнения работы

Соберите схему для проверки закона Кирхгофа на постоянном токе, приведенную на рис.3.1. Величины выходных напряжений генераторов и значения сопротивлений резисторов возьмите из таблицы 3.1.

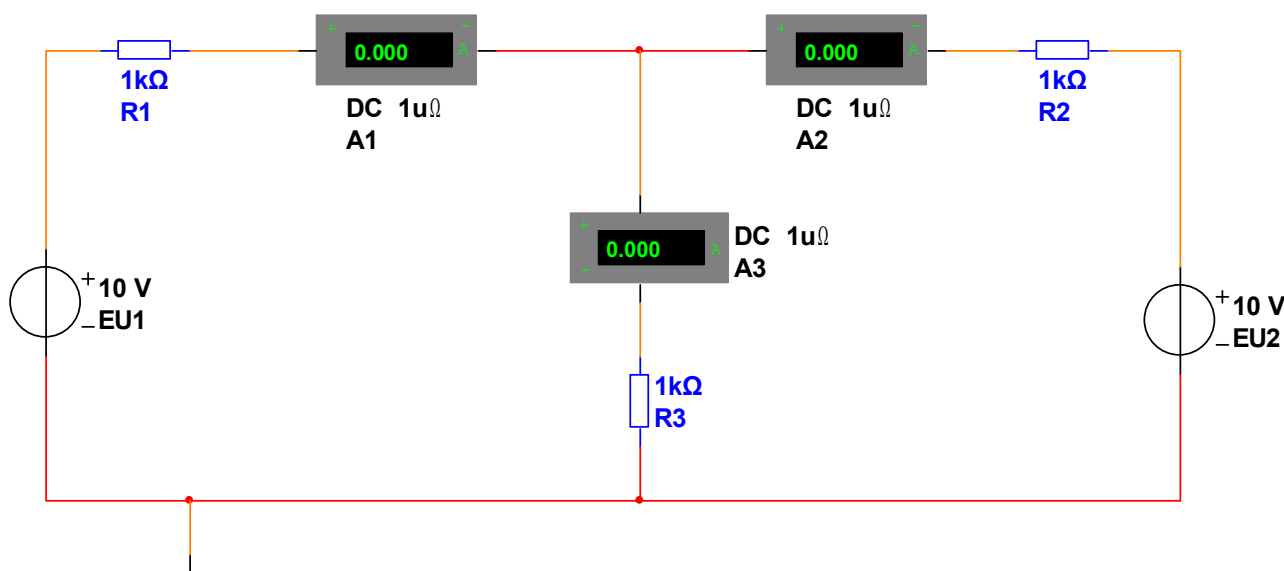


Рис.3.1

Таблица 3.1

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8
EU1, В	10	12	18	15	16	20	12	6
EU2, В	15	16	12	10	10	10	10	10
R1, кОм	1	2	3	2	4	1	5	3
R2, кОм	2	5	6	4	3	5	8	5
R3, кОм	3	1	2	6	5	3	2	2

3.2.3. Установите режим работы амперметров на измерение постоянного тока (DC). Активизируйте схему и запишите показания амперметров.

3.2.4. Соберите схему диодного ограничителя по номеру вашего варианта. Тип диода 1N4148. Установите соответствующие параметры генераторов напряжения и сопротивление резистора. К входу и выходу ограничителя подключите осциллограф.

3.2.5. Активизируйте схему. Получите на экране осциллографа, а затем зарисуйте изображение одного - двух периодов входного и выходного напряжения. Сделайте выводы.

3.3. Обработка результатов.

3.3.1. Используя законы Кирхгофа, составьте и решите систему уравнений для токов в цепи, изображенной на рис.3.1, сравните результат с показаниями амперметров. Сделайте выводы.

3.3.2. Используя метод наложения, рассчитайте выходное напряжение диодного ограничителя для идеального случая ($R_{дпр} = 0$ и $R_{добр} = \infty$) и квазиреального случая (значения $R_{дпр}$ и $R_{добр}$ считаются постоянными и берутся соответственно номеру варианта). Расчет производится для одного периода входного напряжения $U_{вх}$ в 7-и точках: $U_{вх} = 0$, $U_{вх} = E$, $U_{вх} = U_{вхm}$ и $U_{вх} = -U_{вхm}$. Постройте на одном графике полученные из расчетов временные зависимости выходного напряжения и сравните их с результатами моделирования п. 3.2.5. Сделайте выводы.

3.4. Содержание отчета

3.4.1. Цель работы.

3.4.2. Исследуемые схемы.

3.4.3. Результаты измерений, расчеты и графики.

3.4.4. Выводы.

3.5. Контрольные вопросы

3.5.1. Сформулируйте законы Кирхгофа и приведите примеры их использования для расчета цепей.

3.5.2. Сформулируйте метод наложения и приведите примеры его использования для расчета цепей.

3.5.3. Поясните графоаналитический метод расчета цепей на примере цепи с диодом. Что такое нагрузочная прямая?

3.5.4. Какие приближения и как можно использовать при расчете цепей с диодами?

Лабораторная работа № 4

Исследование интегрирующих и дифференцирующих RC цепей

4.1. Цель работы

Исследование амплитудно-частотных (АЧХ) и фазо-частотных (ФЧХ) характеристик RC цепей.

4.2. Порядок выполнения работы

4.2.1. Соберите схему для исследования амплитудно-частотных характеристик дифференцирующей RC цепи, приведенную на рис. 4.1. Установите значение емкости конденсатора 1 мкФ, сопротивление резистора 1 кОм.

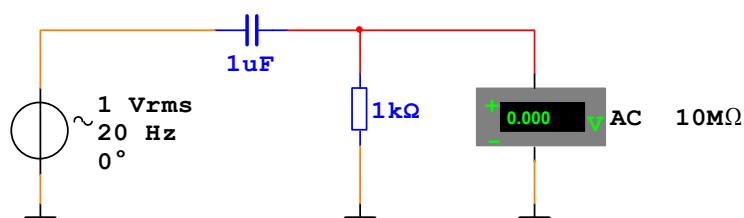


Рис. 4.1

4.2.2. Установите выходное напряжение генератора 1 Вольт, частоту 20 Гц, вольтметр – на измерение переменного напряжения (АС). Активизируйте схему и запишите показания вольтметра.

4.2.3. Повторите измерения п. 4.2.2. на следующих частотах: 50 Гц, 100 Гц, 500 Гц, 1000 Гц, 5000 Гц, 10000 Гц, 50000 Гц, 100000 Гц. Результаты оформите в виде таблицы, в первую строку которой запишите значения частот, во вторую – показания вольтметра, в третью – рассчитанные по формуле

$$K = 20 \lg(U_{\text{ВЫХ}}/U_{\text{ВХ}})$$

отношения входного и выходного напряжения (коэффициента передачи) в децибелах. Здесь $U_{\text{ВХ}} = 1 \text{ В}$, $U_{\text{ВЫХ}}$ – показания вольтметра. Постройте АЧХ дифференцирующей RC цепи в логарифмическом масштабе по осям (по оси X – десятичный логарифм частоты, по оси Y – коэффициент K в децибелах).

4.2.4. Измените схему, поменяв местами резистор и конденсатор. Повторите действия пп. 4.2.2 - 4.2.3 для полученной интегрирующей цепи.

4.2.5. Соберите схему для автоматического измерения АЧХ и ФЧХ дифференцирующей RC цепи с использованием измерителя частотных характеристик (ИЧХ – Vode Plotter), приведенную на рис. 4.2. Отметим, что в схеме с ИЧХ генератор переменного напряжения необходим только для правильной работы программы моделирования. Параметры генератора не имеют значения и могут быть любыми.

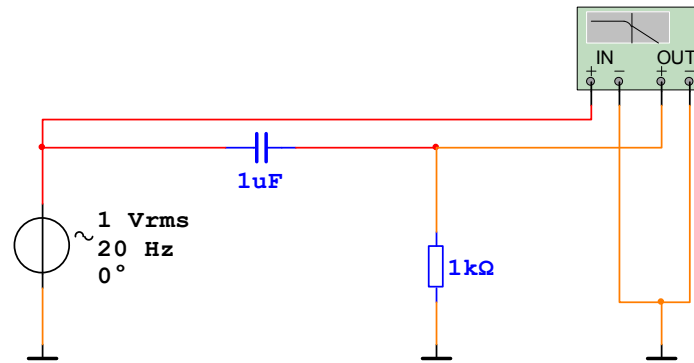


Рис. 4.2.

4.2.6. Установите значение емкости конденсатора 1 мкФ, сопротивление резистора 1 кОм, как и для предыдущей схемы. Установите режим работы ИЧХ – измерение АЧХ (Амплитуда), масштаб по осям – логарифмический (LOG), пределы по горизонтальной оси частот – от 1 Гц (I) до 100 кГц (F), по вертикальной оси амплитуд от -40 дБ (I) до 0 дБ (F). Активизируйте схему, на экране прибора появится искомая АЧХ. Перемещая маркер по экрану прибора, запишите значения величин частот и коэффициента передачи в виде таблицы 4.1. Зарисуйте график с экрана прибора в логарифмическом масштабе по осям аналогично графику п. 4.2.3.

Таблица 4.1.

Частота, Гц	1						10^5
К, дБ		-40	-20	-10	-3	-0,5	

4.2.7. Установите режим работы ИЧХ для измерения ФЧХ (Фаза), пределы по вертикальной оси фаз от 0 град. (I) до +90 град. (F), масштаб линейный (Лин), пределы и масштаб по оси частот те же, что и ранее. Активизируйте схему. На экране прибора появится искомая ФЧХ. Перемещая маркер прибора, запишите в таблицу соответствующие значения величин частот и сдвига фаз в виде таблицы 4.2.

Таблица 4.2

Частота, Гц	1				10^5
Сдвиг фаз, град.		60	45	30	

Зарисуйте график с экрана прибора в логарифмическом масштабе по оси частот и линейном масштабе по оси фаз.

4.2.8. Повторите измерения пп. 4.2.6 и 4.2.7 для емкости конденсатора 0.1 мкФ. Сделайте выводы.

4.2.9. Измените схему, поменяв местами резистор и конденсатор, и повторите действия пп. 4.2.6 - 4.2.8. Результаты оформите в виде таблиц 4.3 и 4.4, при измерении ФЧХ установите пределы по оси фаз от -90 град. (I) до 0 град (F). Зарисуйте графики с экрана прибора аналогично пп. 4.2.6. – 4.2.8.

Таблица 4.3

Частота, Гц	1						10^5
К, дБ		-0,5	-3	-10	-20	-40	

Таблица 4.4

Частота, Гц	1				10^5
Сдвиг фаз, град.		-30	-45	-60	

4.3. Обработка результатов измерений

4.3.1. Постройте АЧХ дифференцирующей и интегрирующей RC цепей из данных ручных измерений на одном графике в логарифмическом масштабе по обеим осям. Сделайте выводы.

4.3.2. Постройте АЧХ дифференцирующей RC цепи из данных автоматических измерений для двух значений емкости конденсатора на одном графике в логарифмическом масштабе по обеим осям. Под ним постройте ФЧХ для двух значений емкости конденсатора так же на одном графике в том же масштабе по оси частот и линейном по оси фаз. Сделайте выводы.

4.3.3. Аналогично постройте АЧХ интегрирующей RC цепи из данных автоматических измерений для двух значений емкости конденсатора на одном графике в логарифмическом масштабе по обеим осям. Под ним постройте ФЧХ для двух значений емкости конденсатора так же на одном графике в том же масштабе по оси частот и линейном по оси фаз. Сделайте выводы.

4.4. Содержание отчета

4.4.1. Цель работы.

4.4.2. Исследуемые схемы.

4.4.3. Результаты измерений в виде шести таблиц и пяти графиков.

4.4.4. Выводы.

4.5. Контрольные вопросы

4.5.1. Изобразите дифференцирующую и интегрирующую RC и RL цепи. Поясните, при каких условиях данные цепи соответственно дифференцируют и интегрируют входной сигнал, а при каких – нет.

4.5.2. Что такое постоянная времени RC и RL цепи и какие свойства цепи она характеризует?

4.5.3. Запишите выражения для коэффициента передачи и сдвига фаз дифференцирующей RC и LR цепи. Изобразите и объясните вид АЧХ и ФЧХ данных цепей.

4.5.4. Запишите выражения для коэффициента передачи и сдвига фаз интегрирующей RC и LR цепи. Изобразите и объясните вид АЧХ и ФЧХ данных цепей.

Лабораторная работа № 5

Изучение биполярных и полевых транзисторов

5.1. Цель работы

Исследование статических характеристик и определение параметров биполярных и полевых транзисторов.

5.2. Порядок выполнения работы

5.2.1. Соберите схему для изучения семейства входных характеристик биполярного транзистора, приведенную на рис. 5.1. Выберите транзистор 2N2712 или другой по указанию преподавателя.

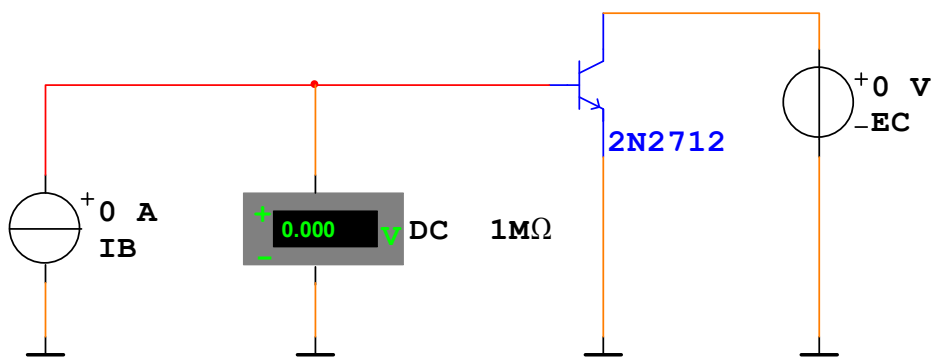


Рис. 5.1

5.2.2. Установите режим работы вольтметра на измерение постоянного напряжения (DC), выходное напряжение генератора EC – напряжение коллектор-эмиттер транзистора $U_{кэ} = 0$ В. Изменяя выходной ток генератора тока IB – ток базы транзистора I_b от 0.06 мА до 1 мА, согласно верхней строке таблицы 5.1, запишите во вторую строку таблицы величины напряжения база-эмиттер $U_{бэ}$ транзистора для указанных значений тока базы I_b при $U_{кэ} = 0$ В.

5.2.3. Установите напряжение $U_{кэ} = 10$ В. Действуя аналогично п. 5.2.2, запишите в третью строку таблицы величины напряжения база-эмиттер $U_{бэ}$ для указанных значений тока базы при напряжении $U_{кэ} = 10$ В.

Таблица 5.1

$U_{кэ}, \text{В}$	$I_b, \text{мА}$	0.06	0.1	0.3	0.5	0.75	1
0	$U_{бэ}, \text{В}$						
10	$U_{бэ}, \text{В}$						

5.2.4. Соберите схему для изучения семейства выходных характеристик транзистора, приведенную на рис. 5.2.

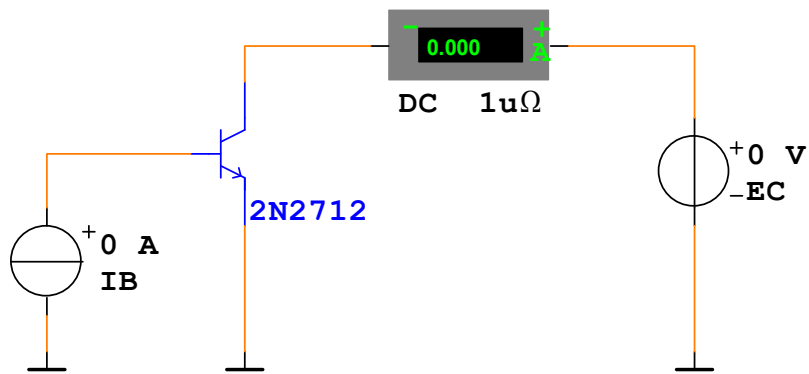


Рис. 5.2

5.2.5. Установите режим работы амперметра на измерение постоянного тока (DC), выходной ток генератора IB – ток базы транзистора $I_B = 0,02$ мА. Изменяя выходное напряжение генератора EC – напряжение коллектор-эмиттер транзистора $U_{кэ}$ от 0 до 15 В согласно верхней строке таблицы 5.1, запишите во вторую строку таблицы результаты измерений тока коллектора I_K при токе базы $I_B = 0,02$ мА.

5.2.6. Действуя аналогично, повторите измерения п. 5.2.5 для других значений тока базы I_B , указанных в первом столбце таблицы.

Таблица 5.2

I_B , мА	$U_{кэ}$, В	0	0,2	0,5	1	2	5	10	15
0.02	I_K , мА								
0.05	I_K , мА								
0.10	I_K , мА								
0.15	I_K , мА								

5.2.7. Соберите схему для изучения семейства стокозатворных (передаточных) и стоковых (выходных) характеристик полевого МОП транзистора с n-каналом, изображенную на рис. 5.3. Выберите транзистор 2N7000 или другой по указанию преподавателя.

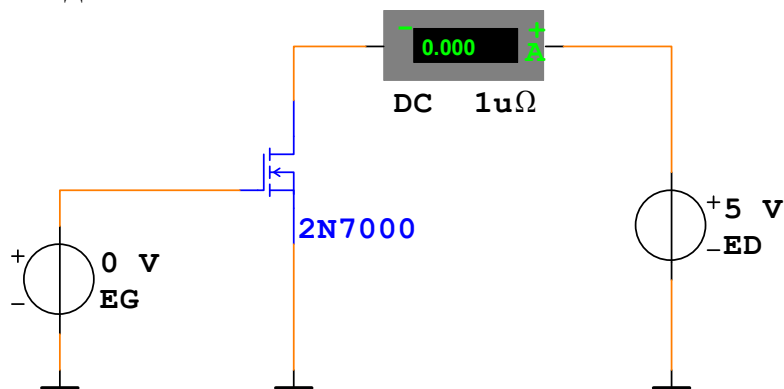


Рис.5.3

5.2.8. Установите режим работы амперметра на измерение постоянного тока (DC). Чтобы снять стокозатворные характеристики транзистора активизируйте схему. Затем, увеличивая выходное напряжения генератора EG – напряжение затвор-исток транзистора $U_{зи}$, определите пороговое напряжение $U_{пор}$, соответствующее току стока $I_c \approx 10$ мкА, далее проведите измерения I_c при значениях $U_{зи}$, указанных в первой строке таблицы 5.3, и запишите результаты.

Таблица 5.3

$U_{си}$, В	$U_{зи}$, В	$U_{пор}$	$U_{пор} + 0,1В$	$U_{пор} + 0,2В$	$U_{пор} + 0,4В$	$U_{пор} + 0,7В$	$U_{пор} + 1В$
5	I_c , МА						
10	I_c , МА						

5.2.9. Установите выходное напряжение генератора ED – напряжение сток-исток транзистора $U_{си} = 10$ В. Повторите измерения п.5.2.8.

5.2.10. Чтобы снять выходные характеристики полевого транзистора, установите напряжение $U_{зи} = U_{пор} + 0,1В$. Изменяя напряжение $U_{си}$ от 0 до 10 В, согласно первой строке таблицы 5.4, запишите во вторую строку результаты измерений I_c .

Таблица 5.4.

$U_{зи}$, В	$U_{си}$, В	0	0,1	0,2	0,5	1	2	5	10
$U_{пор} + 0,1В$	I_c , МА								
$U_{пор} + 0,3В$	I_c , МА								
$U_{пор} + 0,6В$	I_c , МА								
$U_{пор} + 1В$	I_c , МА								

5.2.11. Повторите измерения п.5.2.10 для других значений $U_{зи}$, указанных в первом столбце таблицы.

5.3. Обработка результатов измерений

5.3.1. Постройте на отдельных графиках семейства входных и выходных характеристик биполярного транзистора (2 графика). Масштабы по осям выберите так, чтобы полученные кривые заметно различались.

5.3.2. По входным характеристикам для рабочих участков ВАХ определите параметры h_{11} и h_{12} транзистора по следующим формулам:

$$h_{11} = \Delta U_{бэ} / \Delta I_{б} = (U_{бэ2} - U_{бэ1}) / (I_{б2} - I_{б1}) \text{ при } U_{кэ} = \text{const};$$

$$h_{12} = \Delta U_{бэ} / \Delta U_{кэ} = (U_{бэ2} - U_{бэ1}) / U_{кэ2} \text{ при } I_{б} = \text{const}.$$

5.3.3. Аналогично по выходным характеристикам определите параметры h_{21} и h_{22} транзистора по следующим формулам:

$$h_{21} = \Delta I_{к} / \Delta I_{б} = (I_{к2} - I_{к1}) / (I_{б2} - I_{б1}) \text{ при } U_{кэ} = \text{const};$$

$$h_{22} = \Delta I_K / \Delta U_{KЭ} = (I_{K2} - I_{K1}) / (U_{KЭ2} - U_{KЭ1}) \text{ при } I_B = \text{const} .$$

5.3.4. Постройте на отдельных графиках семейства стокзатворных и выходных характеристик полевого транзистора (2 графика). Масштабы по осям выберите так, чтобы полученные кривые заметно различались.

5.3.5. На рабочих участках характеристик определите крутизну стокзатворной характеристики S , выходное сопротивление R_i и коэффициент усиления μ по следующим формулам:

$$S = dI_c/dU_{зи} \text{ при } U_{си} = \text{const};$$

$$R_i = dU_{си}/dI_c \text{ при } U_{зи} = \text{const};$$

$$\mu = dU_{си}/dU_{зи} = SR_i .$$

5.4. Содержание отчета

5.4.1. Цель работы.

5.4.2. Схемы для снятия характеристик.

5.4.3. Таблицы с результатами измерений.

5.4.4. Вольтамперные характеристики транзисторов.

5.4.5. Расчеты параметров.

5.4.6. Выводы.

5.5. Контрольные вопросы

5.5.1. Устройство и принцип действия биполярных транзисторов.

5.5.2. h -параметры биполярных транзисторов и их определение по статическим характеристикам.

5.5.4. Устройство и принцип действия полевых транзисторов.

5.5.5. Параметры полевых транзисторов и их определение по статическим характеристикам.

Лабораторная работа № 6

Изучение транзисторного усилителя

6.1. Цель работы

Исследование влияния режима работы резистивного транзисторного усилителя на параметры выходного сигнала. Изучение влияние емкостей схемы на АЧХ усилителя.

6.2. Порядок выполнения работы

6.2.1. Соберите схему для исследования режима работы транзисторного усилителя, приведенную на рис.6.1.

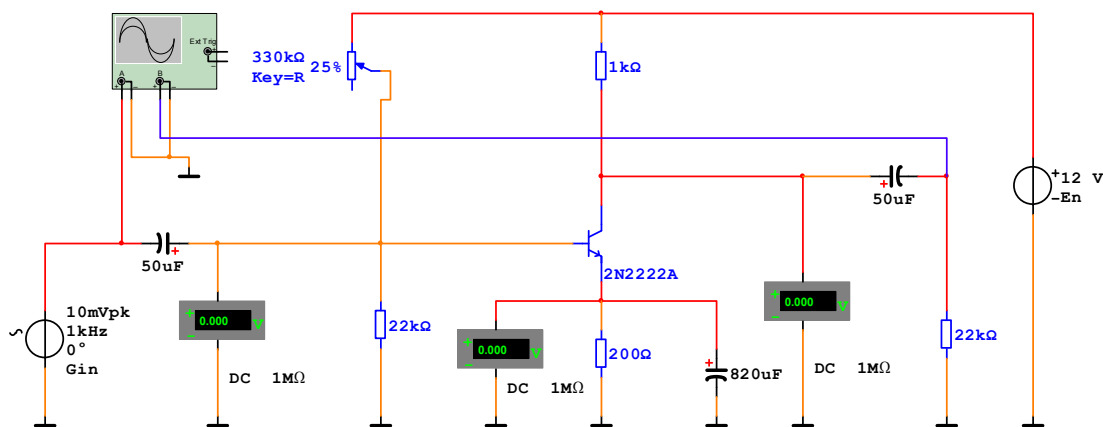


Рис.6.1

6.2.2. Установите частоту колебаний генератора входного напряжения усилителя $G_{in} = 1$ кГц, амплитуду – 10 мВ, режим работы вольтметров на измерение постоянного напряжения (DC), сопротивление переменного резистора базового делителя 25%. Запишите величины постоянных напряжений на выводах транзистора и зарисуйте форму входного и выходного напряжения с экрана осциллографа в подходящих масштабах. Определите коэффициент усиления усилителя как отношение двойных амплитуд выходного и входного сигналов.

6.2.3. Повторите измерения для сопротивления переменного резистора базового делителя 15% и 100%. Сделайте выводы о влиянии режима работы транзистора на форму и амплитуду выходного напряжения усилителя.

6.2.4. Восстановите сопротивление переменного резистора 25%, а амплитуду напряжения генератора увеличьте до 100 мВ. Повторите измерения. Сделайте выводы.

6.2.5. Измените схему с целью изучения влияния на АЧХ усилителя емкостей разделительных конденсаторов и нагрузки, как показано на рис. 6.2.

6.2.6. Установите амплитуду напряжения генератора $G_{in} = 10$ мВ, режим работы вольтметров – на измерение переменного напряжения (AC), сопротив-

ление переменного резистора – 25%. Установите емкость конденсатора $C2 = 0$ мкФ, $C1 = 50$ мкФ. Определите и запишите коэффициент усиления усилителя как отношение выходного и входного напряжения на частотах 0.1 кГц, 1 кГц и 10 кГц. Сделайте то же самое для $C1 = 5$ мкФ и $C1 = 1$ мкФ. Постройте на одном графике в логарифмическом масштабе по оси частот и амплитуд (в дБ) семейство из трех АЧХ для каждого значения емкости $C1$. Сделайте выводы о влиянии емкости разделительного конденсатора на АЧХ усилителя на различных частотах.

6.2.7. Установите емкость конденсатора $C1 = 50$ мкФ, $C2 = 0$ мкФ. Определите и запишите коэффициент усиления усилителя на частотах 0.1 кГц, 1 кГц и 10 кГц. Сделайте то же самое для $C2 = 0.01$ мкФ и $C2 = 0.05$ мкФ. Постройте на одном графике в логарифмическом масштабе по оси частот и амплитуд (в дБ) семейство из трех АЧХ для каждого значения емкости $C2$. Сделайте выводы о влиянии емкости нагрузки на АЧХ усилителя на различных частотах.

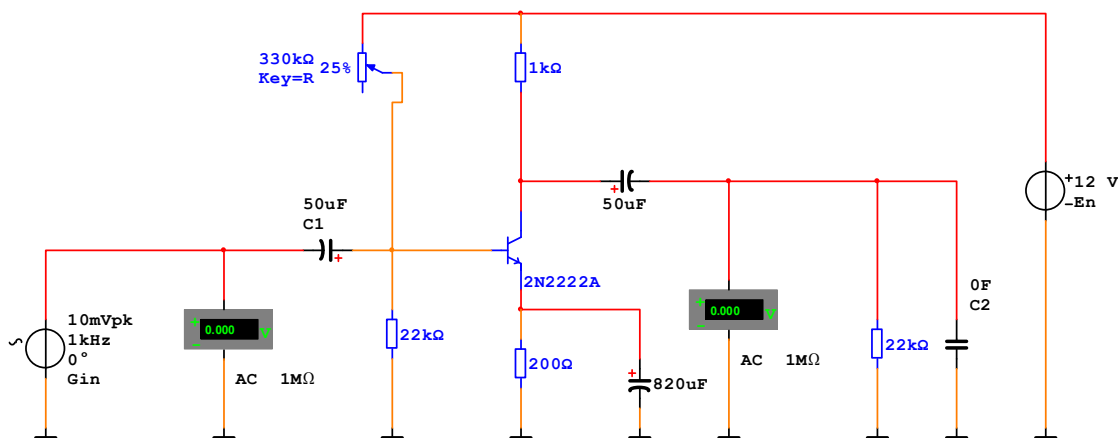


Рис. 6.2.

6.3. Содержание отчета

6.3.1. Цель работы.

6.3.3. Исследуемые схемы.

6.3.4. Полученные характеристики и параметры.

6.3.5. Выводы.

1.4. Контрольные вопросы

6.4.1. Что такое рабочая точка транзистора и как она задается?

6.4.2. Зачем необходима стабилизация рабочей точки?

6.4.3. Какие существуют способы стабилизации рабочей точки, какой способ используется в изучаемых усилителях?

6.4.4. Объясните изменение формы и амплитуды выходного сигнала при изменении сопротивления резистора базового делителя.

6.4.5. Сформулируйте условия, в общем случае необходимые для обеспечения усиления сигнала без искажений.

6.4.6. Как влияет емкость разделительного конденсатора на АЧХ усилителя в области низких частот, высоких частот?

6.4.7. Как влияет емкость нагрузки на АЧХ усилителя в области низких частот, высоких частот?

Лабораторная работа № 7

Изучение транзисторного усилителя с обратной связью

7.1. Цель работы

Исследование влияния отрицательной обратной связи на основные параметры транзисторного усилителя.

7.2. Порядок выполнения работы

7.2.1. Соберите схему для исследования транзисторного усилителя с возможностью подключения отрицательной обратной связи (ООС) по току, приведенную на рис.7.1. Верхнее положение переключателя «Space» (управляется клавишей «Пробел»), соответствует включенной ООС, нижнее - отключенной.

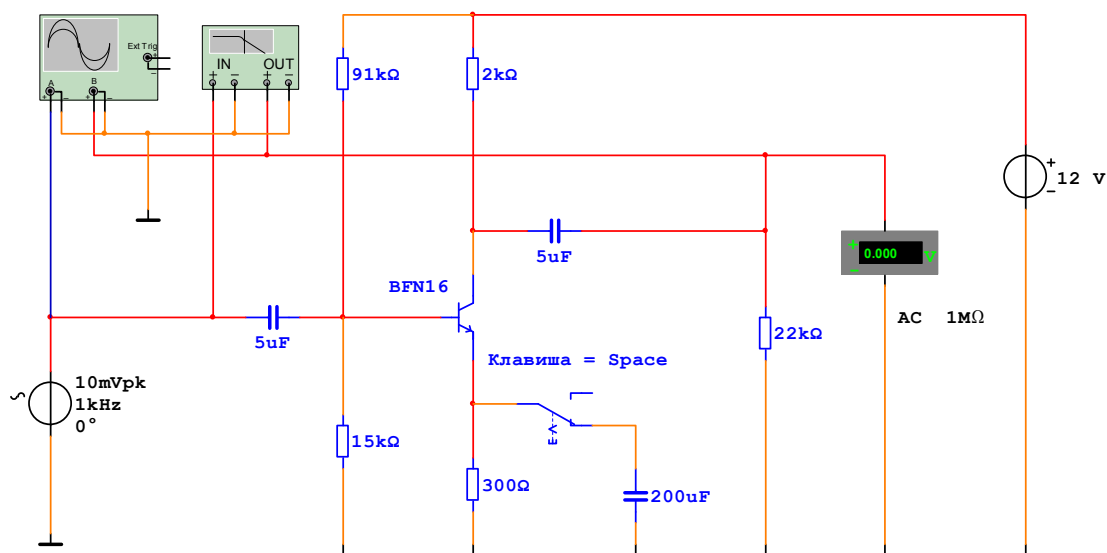


Рис. 7.1

7.2.2. Установите частоту выходного напряжения генератора 1 кГц, амплитуду - 10 мВ, режим работы вольтметра на измерение переменного напряжения (АС), масштаб по оси времени осциллографа - 200 мкс/дел, чувствительность канала А - 10 мВ/дел, канала В - 1 В/дел, диапазон частот индикатора частотных характеристик 1 Гц - 50 МГц, диапазон амплитуд - 0 - 50 дБ, масштаб по обеим осям - логарифмический.

7.2.3. Установите переключатель в нижнее положение (без ООС). Активизируйте схему, по показаниям вольтметра определите коэффициент усиления по напряжению, а также срисуйте АЧХ усилителя с экрана индикатора частотных характеристик. Определите верхнюю и нижнюю граничные частоты на уровне -3 дБ.

7.2.4. Переключите переключатель в верхнее положение (с ООС). Повторите действия п. 7.2.3., АЧХ срисуйте на тот же график. Сделайте выводы о

влиянии ООС на коэффициент усиления усилителя и диапазон усиливаемых частот.

7.2.5. Увеличьте амплитуду входного напряжения до 100 мВ. Настройте осциллограф так, чтобы изображение сигналов «входило» в экран наилучшим образом. Зарисуйте осциллограммы выходных напряжений для схем без ООС и с ООС. Сделайте выводы о влиянии ООС на нелинейные искажения.

7.2.6. Для схем без ООС и с ООС снимите по точкам амплитудные характеристики усилителя – зависимости $U_{\text{вых}}(U_{\text{вх}})$, результаты оформите в виде таблиц. Амплитуду входного сигнала изменяйте от нуля до уровня, при котором рост $U_{\text{вых}}$ прекращается. Постройте обе амплитудные характеристики на одном графике. Сделайте выводы о влиянии ООС на диапазон входных напряжений.

7.3. Содержание отчета

7.3.1. Цель работы.

7.3.2. Исследуемая схема.

7.3.3. Полученные зависимости и параметры.

7.3.4. Выводы.

7.4. Контрольные вопросы

7.4.1. Что такое обратная связь в усилителе?

7.4.2. Какие виды обратных связей вы знаете?

7.4.3. Какая обратная связь применяется в исследуемой схеме, чему равен коэффициент обратной связи?

7.4.4. Как влияют обратные связи на основные параметры усилителя?

Лабораторная работа № 8

Изучение операционных усилителей

8.1. Цель работы

Изучение устройств на операционных усилителях (ОУ).

8.2. Порядок выполнения работы

8.2.3. Для снятия передаточной характеристики ОУ с ООС в схеме неинвертирующего усилителя соберите схему, приведенную на рис.8.2. Активизируйте схему. Изменяя входное напряжение ОУ и фиксируя значение выходного напряжения, снимите прямую ветвь передаточной характеристики. Необходимое количество измерений установите самостоятельно с учетом точного определения величины входного напряжения, соответствующего насыщению выходного напряжения. Измените полярность включения генератора входного напряжения и аналогично снимите обратную ветвь передаточной характеристики. Постройте передаточную характеристику ОУ и определите коэффициент усиления и рабочий диапазон входных и выходных напряжений.

8.2.4. Для снятия передаточной характеристики ОУ с ООС в схеме инвертирующего усилителя, соберите схему, приведенную на рис.8.3. Повторите измерения п.8.2.3. Постройте передаточную характеристику усилителя на том же графике и определите коэффициент усиления и рабочий диапазон входных и выходных напряжений. Сделайте выводы.

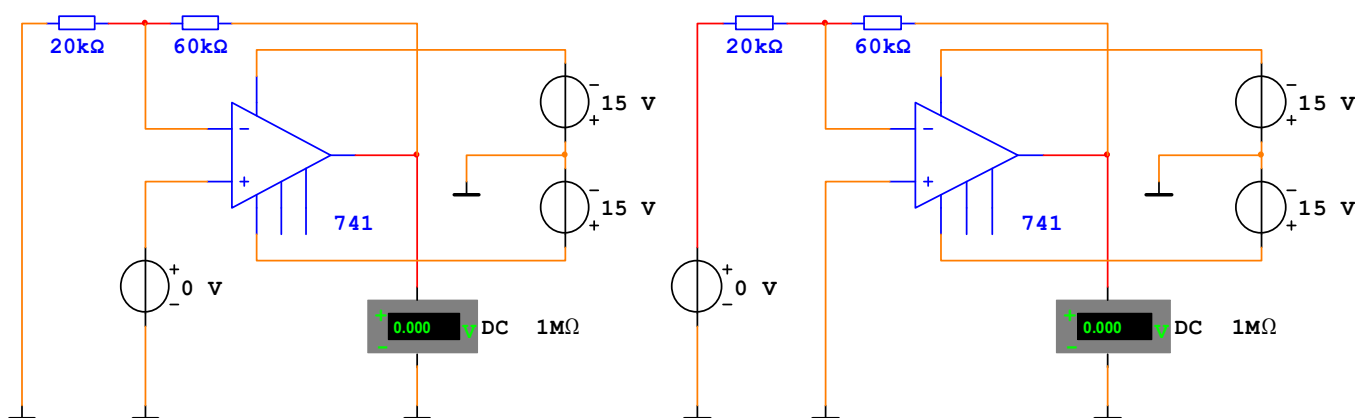


Рис.8.2

Рис.8.3

8.2.5. Соберите схему дифференциального усилителя на ОУ, приведенную на рис.8.4. Установите величину входного напряжения 0,1 В, а величину напряжения помехи на генераторе РР 0 В. Активизируйте схему, запишите величину выходного напряжения. Повторите измерения при напряжении помехи 5 В и 10 В. Сделайте выводы о влиянии сигнала помехи на выходное напряже-

ние усилителя.

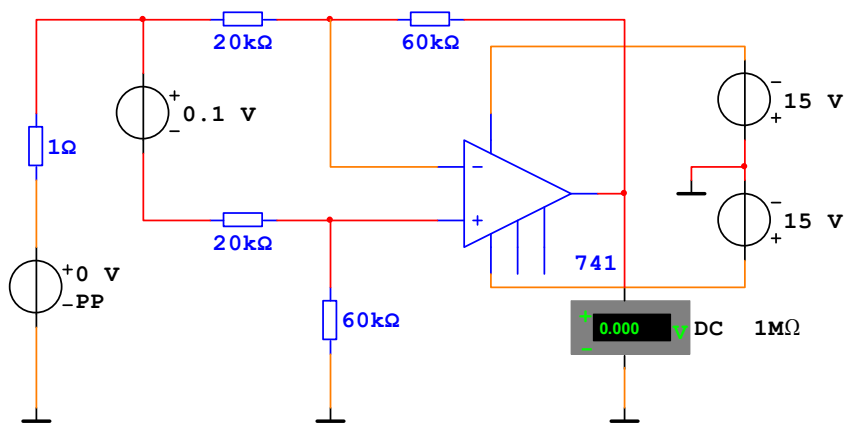


Рис.8.4

8.2.6. Соберите схему инвертирующего сумматора двух напряжений на ОУ, изображенную на рис.8.5. Величины входных напряжений V_1 и V_2 и сопротивления резисторов R_1 , R_2 и R установите по указанию преподавателя (на схеме показаны условно). Проверьте работу схемы. Сделайте выводы.

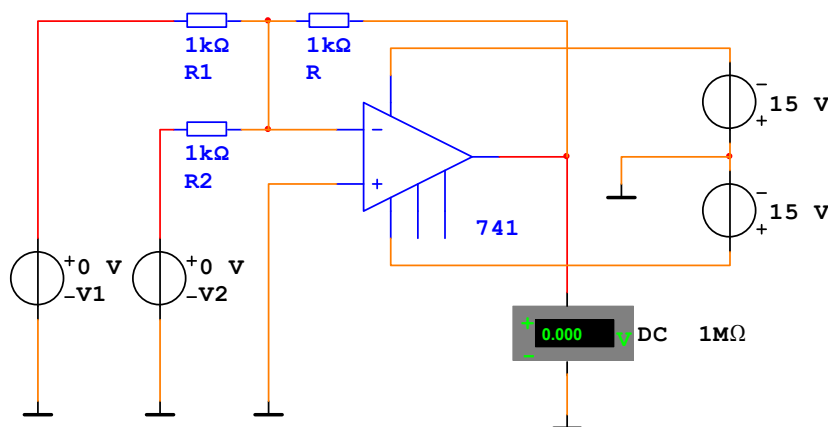


Рис.8.5

8.2.7. Соберите схемы инвертирующего интегратора и дифференциатора, изображенные на рис.8.6 и рис.8.7. Следует отметить, что резисторы 1 Мом и 5 кОм, включенные параллельно конденсатору интегратора и последовательно с конденсатором дифференциатора соответственно, необходимы только для корректной работы программы моделирования. Установите форму напряжения функционального генератора – прямоугольный импульс, частоту 1 кГц, амплитуду 100 мВ. Проверьте работу устройств и зарисуйте с экрана осциллографа временные зависимости входного и выходного напряжения. Сделайте выводы.

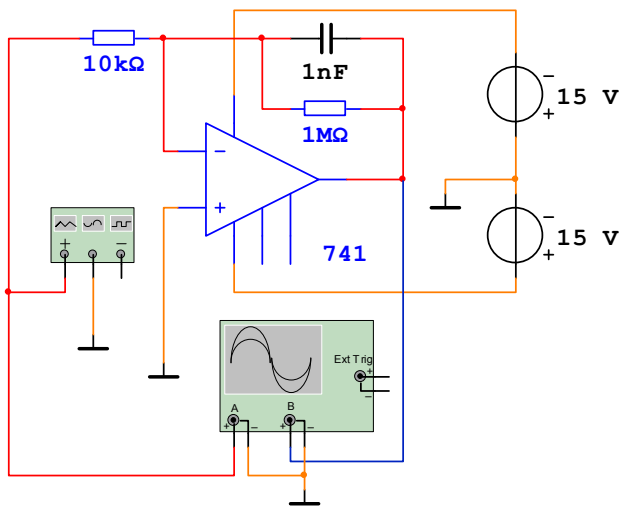


Рис.8.6

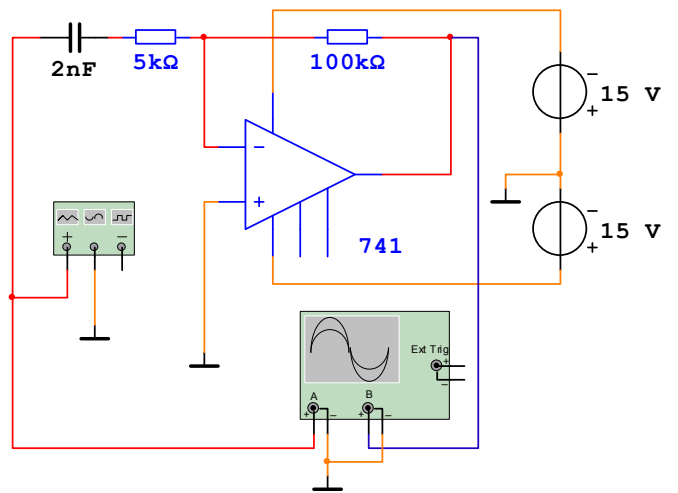


Рис.8.7

8.3. Содержание отчета

8.3.1. Цель работы.

8.3.2. Исследуемые схемы.

8.3.3. Полученные параметры и характеристики.

8.3.4. Выводы.

8.4. Контрольные вопросы

8.4.1. Дайте определение операционного усилителя (ОУ).

8.4.2. Приведите и определите основные параметры ОУ.

8.4.3. В чем отличие идеального ОУ от реального и в каких случаях ОУ можно рассматривать как идеальный?

8.4.4. Поясните ход передаточных характеристик ОУ и запишите выражения для коэффициентов передачи ОУ в различных схемах включения.

8.4.5. Поясните особенности применения ОУ в схеме дифференциального усилителя.

8.4.6. Объясните принцип работы инвертирующего сумматора на ОУ.

8.4.7. Объясните принцип работы инвертирующего интегратора на ОУ.

8.4.8. Объясните принцип работы инвертирующего дифференциатора на ОУ.

Лабораторная работа № 9

Изучение нелинейных устройств на операционных усилителях

9.1. Цель работы

Изучение различных нелинейных устройств на операционных усилителях.

9.2. Порядок выполнения работы

9.2.1. Для исследования логарифмирующего усилителя соберите схему, приведенную на рис.9.1.

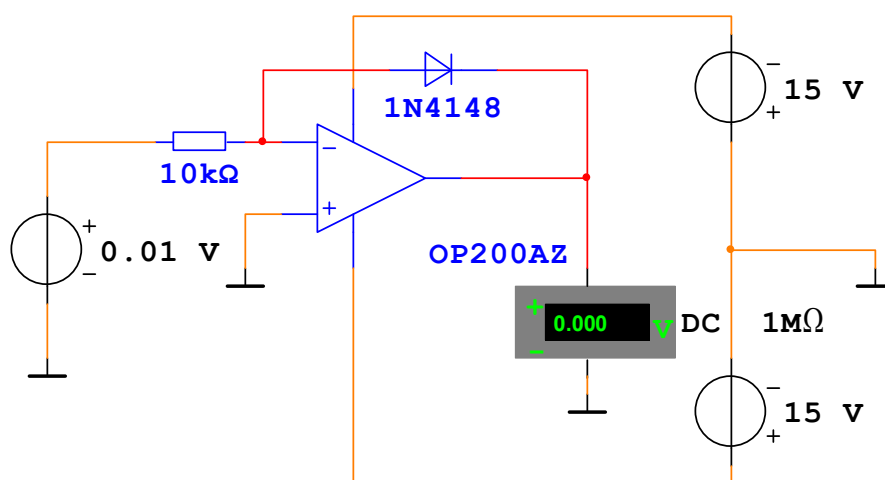


Рис.9.1

9.2.2. Исследуйте зависимость выходного напряжения $U_{\text{ВЫХ}}$ от входного напряжения $U_{\text{ВХ}}$ для значений $U_{\text{ВХ}}$, приведенных в таблице 9.1. Измените полярность входного напряжения $U_{\text{ВХ}}$ путем отключения, переворота на 180 град. и последующего подключения генератора входного напряжения и повторите измерения для $U_{\text{ВХ}} = -0,01$ В и -5 В.

Таблица 9.1

$U_{\text{ВХ}}, \text{В}$	0.01	0.05	0.1	0.5	1	5	-0.01	-5
$U_{\text{ВЫХ}}, \text{В}$								

9.2.3. Постройте зависимость выходного напряжения $U_{\text{ВЫХ}}$ от входного напряжения $U_{\text{ВХ}}$ в логарифмическом масштабе по горизонтальной оси для обеих полярностей входного напряжения $U_{\text{ВХ}}$. Рассчитайте коэффициенты A и B в уравнении для выходного напряжения логарифмирующего усилителя $U_{\text{ВЫХ}} = A \cdot \text{Log}(U_{\text{ВХ}}) + B$ по двум точкам для $U_{\text{ВХ}} = 0,05$ В и $U_{\text{ВХ}} = 1$ В. Сделайте выводы.

9.2.4. Для исследования триггера Шмитта на операционном усилителе соберите схему, приведенную на рис. 9.2. Установите сопротивление резисторов R1 и R2 1 кОм, а сопротивление резистора R_{ос} 10 кОм.

9.2.5. Установите форму выходного напряжения функционального генератора синусоида, амплитуду 5 В, частоту 10 Гц. Активизируйте схему и зарисуйте форму входного и выходного напряжений с экрана осциллографа. Определите значения напряжения срабатывания и отпускания триггера Шмитта и постройте зависимость выходного напряжения триггера Шмитта от входного. Сделайте выводы.

9.2.6. Измените сопротивление резистора R_{ос} на 5 кОм и повторите измерения п.9.2.5. Сделайте выводы.

9.2.7. Преобразуйте схему триггера Шмитта в генератор прямоугольных импульсов, как показано на рис. 9.3.

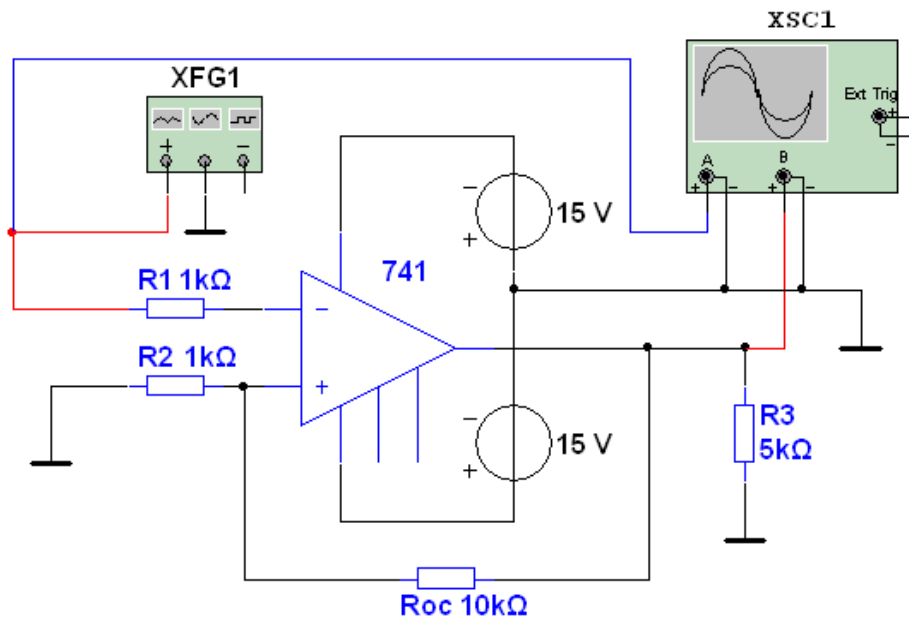


Рис.9.2

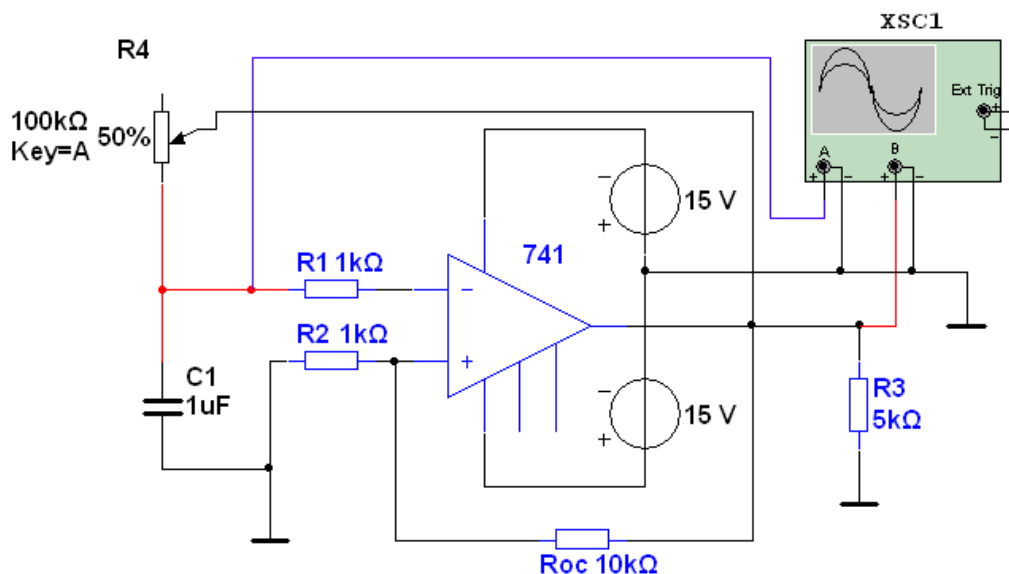


Рис.9.3.

9.2.8. Установите сопротивление переменного резистора R4 50 %. Активизируйте схему и зарисуйте изображение с экрана осциллографа. Определите частоту и амплитуду колебаний. Изменяя сопротивление резистора R4 (10% и 90%), исследуйте его влияние на частоту и форму колебаний генератора. Сделайте выводы.

9.2.9. Измените сопротивление резистора R_{ос} с 10 кОм на 5 кОм. Повторите измерения п.9.2.8. Сделайте выводы.

9.3. Содержание отчета

9.3.1. Цель работы.

9.3.2. Исследуемые схемы.

9.3.3. Полученные характеристики и результаты расчетов.

9.3.4. Выводы.

9.4. Контрольные вопросы

9.4.1. Принцип работы логарифмирующего усилителя.

9.4.2. Компаратор и его основные параметры.

9.4.3. Триггер Шмитта. Зависимость параметров триггера Шмитта от элементов схемы.

9.4.4. Генератор импульсов на основе триггера Шмитта. Принцип работы.

Лабораторная работа № 10

Изучение интегральных логических элементов (ЛЭ) КМОП

10.1. Цель работы

Изучение статического и динамического режимов работы и проверка таблиц истинности ЛЭ КМОП.

10.2. Порядок выполнения работы

10.2.1. Для исследования передаточной характеристики ЛЭ КМОП «НЕ» соберите схему, приведенную на рис.10.1. Изменяя напряжение источника входного сигнала U_{in} от 0 до 5 В, снимите передаточную характеристику логического элемента – зависимость выходного напряжения от входного и постройте ее график. Необходимое число измерений установите самостоятельно, обращая особое внимание на область перехода от единичного выходного уровня к нулевому. Сделайте выводы о ходе передаточной характеристики и значениях напряжений, соответствующих единичному и нулевому логическим уровням.

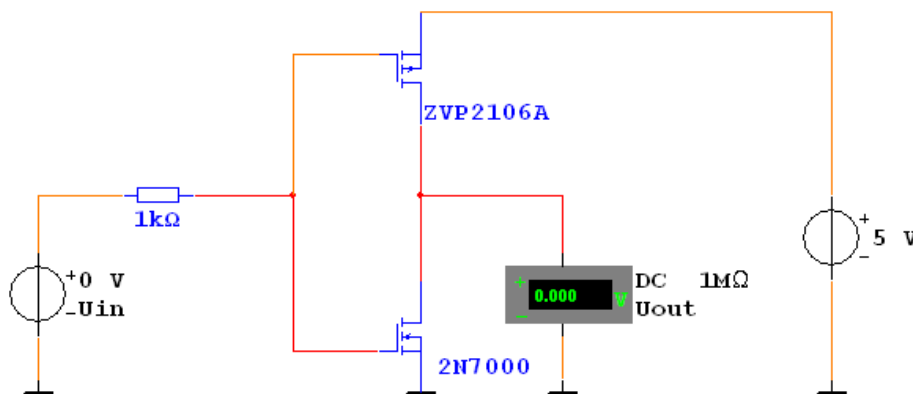


Рис.10.1

10.2.2. Для исследования динамической характеристики ЛЭ КМОП «НЕ» соберите схему, приведенную на рис.10.2. Установите выходное напряжение генератора прямоугольных импульсов 5 В, частоту 500 Гц, коэффициент заполнения (длительность) 50, масштаб по горизонтальной оси осциллографа 500 мкс/дел, по вертикальной 2 В/дел. Активизируйте схему. Для улучшения наглядности сместите график выходного сигнала вниз. Срисуйте с экрана осциллографа временные зависимости входного и выходного сигналов.

10.2.3. Установите частоту входного сигнала 500 кГц. Установите масштаб по горизонтальной оси осциллографа 500 нс/дел. Повторите действия

п.10.2.2. Сделайте выводы о влиянии частоты сигнала на динамические характеристики ЛЭ.

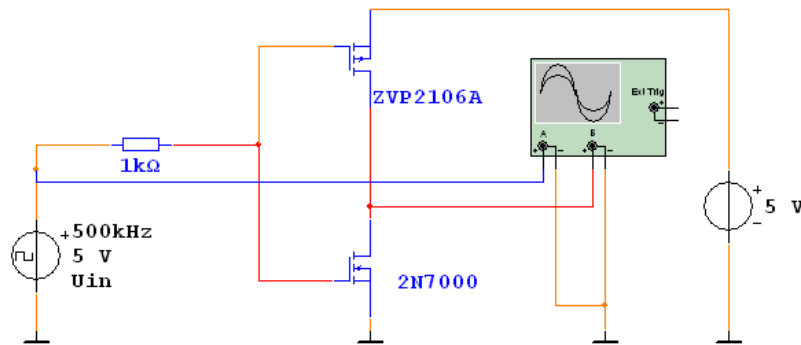


Рис.10.2

10.2.3. Для проверки таблицы истинности ЛЭ соберите схему, приведенную на рис. 10.3. Логические элементы берутся из библиотеки Misc Digital\TTL.

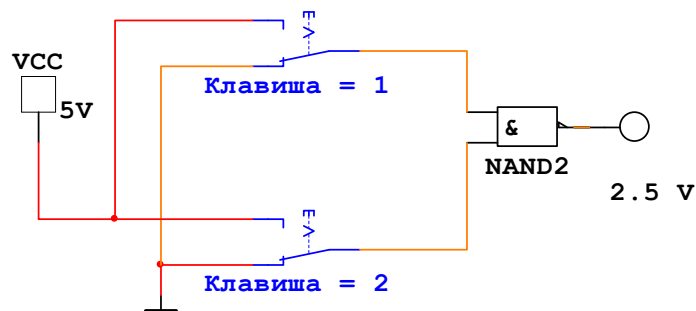


Рис.10.3

10.2.4. Составьте и заполните таблицу истинности ЛЭ 2И-НЕ (NAND2), подавая с помощью тумблеров [1] и [2] различные комбинации входных логических переменных (5 В соответствует логической единице, 0 В - логическому нулю) и по свечению индикатора определяя значения выходной функции (свечение - 1, нет свечения - 0).

10.2.5. Действуя аналогично п. 10.2.4, составьте и заполните таблицу истинности для ЛЭ НЕ (NOT – используется только тумблер [1]), И (AND2), ИЛИ (OR2), ИЛИ-НЕ (NOR2) для всех возможных комбинаций входных логических переменных. Сделайте выводы.

10.2.6. Для исследования ЛЭ в динамическом режиме соберите схему, изображенную на рис. 10.4.

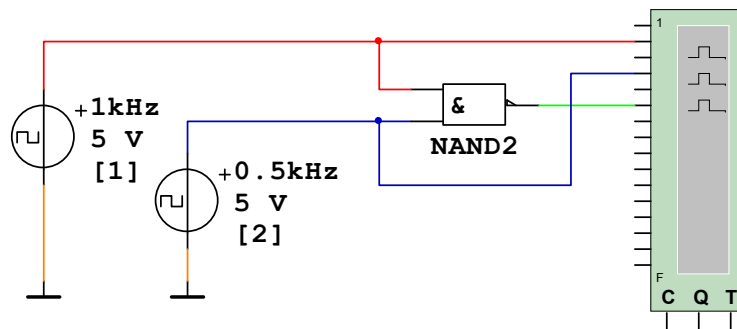


Рис.10.4

10.2.7. Установите амплитуду выходных импульсов генераторов 5 В, частоту генератора [1] 1000 Гц, частоту генератора [2] 500 Гц, развертку логического анализатора 6. Для лучшей наглядности отметьте провода, идущие к логическому анализатору различными цветами, а сам экран сделайте белым (кнопка «Экран»). Активизируйте схему и зарисуйте форму напряжений на входах и выходе ЛЭ.

10.2.8. Повторите действия пп. 10.2.6 – 10.2.7 для ЛЭ НЕ (используется только генератор [1]), И, ИЛИ, ИЛИ-НЕ. Сделайте выводы.

10.3. Содержание отчета

10.3.1. Цель работы.

10.3.2. Исследуемые схемы.

10.3.3. Полученные характеристики и параметры.

10.3.4. Выводы.

10.4. Контрольные вопросы

10.4.1. Изобразите схему КМОП ключа и поясните его работу в различных режимах.

10.4.2. Приведите основные параметры логических элементов (ЛЭ) КМОП.

10.4.3. Изобразите принципиальные схемы интегральных ЛЭ КМОП И-НЕ и ИЛИ-НЕ.

Лабораторная работа № 11

Изучение интегральных триггеров

11.1. Цель работы

Проверка таблиц истинности и исследование работы интегральных триггеров в статическом и динамическом режимах.

11.2. Порядок выполнения работы

11.2.1. Для проверки работы RS триггера в статическом режиме соберите схему, изображенную на рис. 11.1.

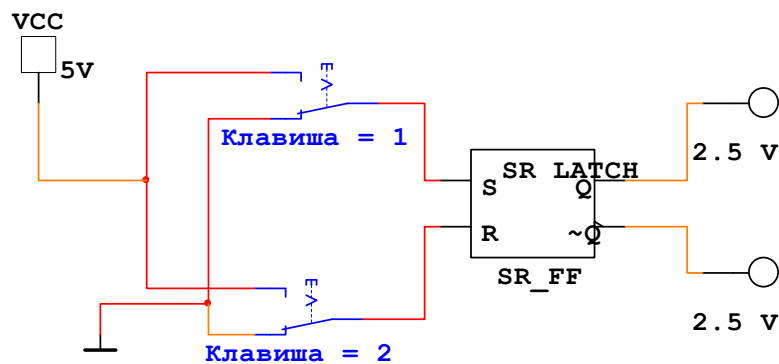


Рис.11.1

11.2.2. Составьте и заполните таблицу истинности для всех возможных комбинаций входных логических переменных и вариантов переключений с указанием режимов работы для RS триггера, затем сделайте то же самое для D-триггера (D_FF), а также для J-K триггера (JK_FF – при этом для подачи на тактовый вход С уровней «0» и «1» установите третий переключатель). Сделайте выводы.

11.2.3. Для проверки работы D-триггера в счетном режиме соберите схему, изображенную на рис. 11.2.

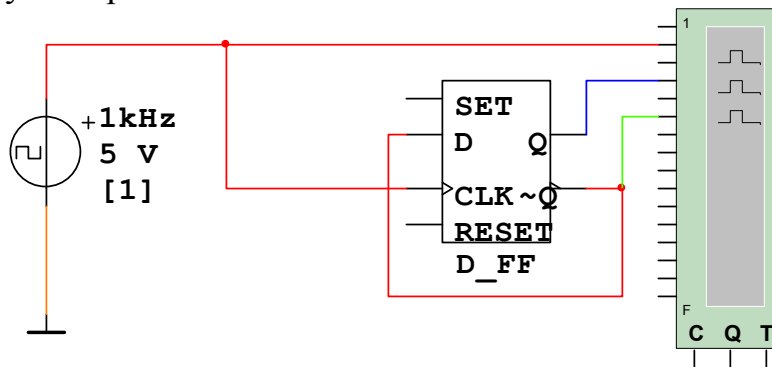


Рис. 11.2

11.2.4. Установите амплитуду выходных импульсов генератора 5 В, частоту 1000 Гц, развертку логического анализатора 6.

11.2.5. Активизируйте схему и зарисуйте форму напряжений на входах и выходах D триггера в счетном режиме. Сделайте выводы.

11.2.12. Повторите действия пп. 11.2.3 – 11.2.5 для J-K триггера в счетном режиме, для чего используйте ранее рассмотренный J-K триггер, на входы J и K которого подайте единичный уровень +5В, для чего установите в схему генератор V_{сс}, а на вход С – сигнал от генератора прямоугольных импульсов.

11.3. Содержание отчета

11.3.1. Цель работы.

11.3.2. Исследуемые схемы.

11.3.3. Полученные таблицы истинности и временные диаграммы.

11.3.4. Выводы.

11.4. Контрольные вопросы

11.4.1. Какие типы триггеров вы знаете? Приведите графическое обозначение и дайте характеристику каждого типа триггера.

11.4.2. В чем отличие синхронного и асинхронного триггера?

11.4.3. В чем отличие триггеров со статическим, динамическим и двухступенчатым (M-S) управлением?

11.4.4. Как перевести в счетный режим D триггер и J-K триггер?

Лабораторная работа №12

Изучение счетчиков и регистров на триггерах

12.1. Цель работы

Изучение работы различных счетчиков и регистров сдвига на триггерах.

12.2. Порядок выполнения работы

12.2.1. Для исследования реверсивного асинхронного четырехразрядного двоичного счетчика соберите схему, изображенную на рис.12.1.

Для переключения счетчика из режима сложения в режим вычитания служит RS-триггер Up/Down, состоянием которого управляет переключатель “U”. Если он находится в верхнем положении, то счетчик работает в режиме суммирования, если в нижнем – в режиме вычитания. Состояние триггеров счетчика определяется по индикаторам, подключенным к прямым выходам триггеров. Свечение индикатора соответствует единичному состоянию триггера, отсутствие свечения – нулевому.

Для исследования работы счетчика в статическом режиме на вход С первого триггера подаются импульсы с инверсного выхода RS-триггера Count, управляемого переключателем “Space”. Переключатель “G” в это время должен находиться в левом по схеме положении. Красный индикатор индицирует состояние входного сигнала. В правом положении переключателя “G” на счетчик подается сигнал от генератора прямоугольных импульсов, при этом на экране логического анализатора можно наблюдать форму напряжения на входе и всех выходах счетчика. Поскольку в счетчике используются JK-триггеры с инверсными асинхронными входами предварительной установки, сброс триггеров счетчика производится переключателем “R”, который необходимо перевести в нижнее положение, а затем вернуть в верхнее.

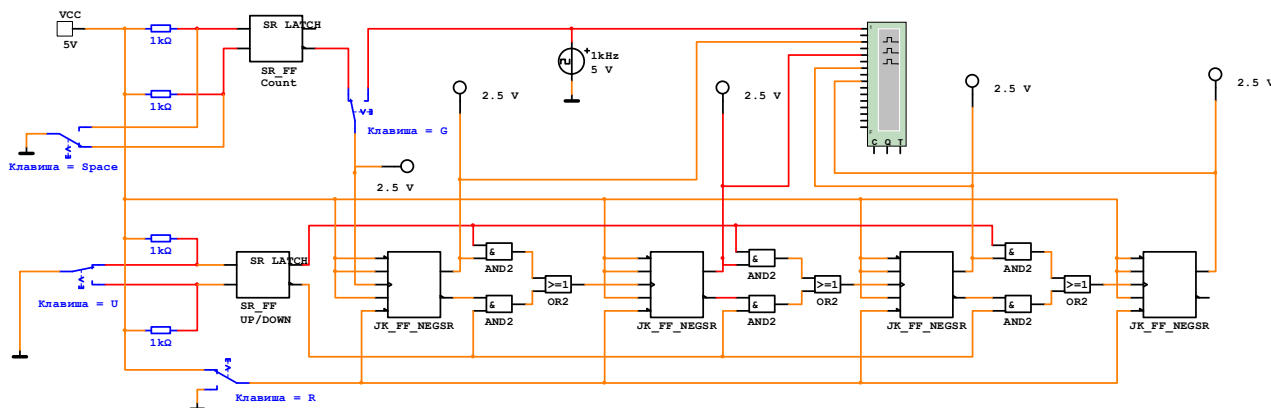


Рис. 12.1

12.2.2. Изучите работу счетчика в режиме суммирования. Для этого установите переключатель “U” в верхнее положение, затем, подавая на вход счет-

чика клавишей “Space” одиночные импульсы, определите по свечению выходных индикаторов состояния триггеров и заполните таблицу 1.

12.2.3. Проверьте работу счетчика в режиме вычитания, для чего переключатель “U” переведите в нижнее положение и повторите измерения п.12.2.2. Сделайте выводы.

12.2.4. Проверьте работу счетчика в динамическом режиме, для чего переключатель “G” переведите в правое положение. Установите тактовую частоту логического анализатора 10 кГц, кратность развертки 16. Получите и срисуйте с экрана логического анализатора временные диаграммы выходных сигналов счетчика в режиме суммирования и вычитания. Сделайте выводы.

12.2.5. Действуя аналогично п.12.2.2, соберите схему и исследуйте работу суммирующего счетчика по модулю 10, изображенную на рис.12.2. Обратите внимание, что в данном счетчике используются триггеры с прямым входом сброса “R”, поэтому сброс счетчика осуществляется кратковременной подачей на этот вход при помощи переключателя “R” логической единицы.

Таблица 1

N	Индикатор 1	Индикатор 2	Индикатор 3	Индикатор 4
0	0	0	0	0
1	1	0	0	0
2	0	1	0	0
...
15	1	1	1	1

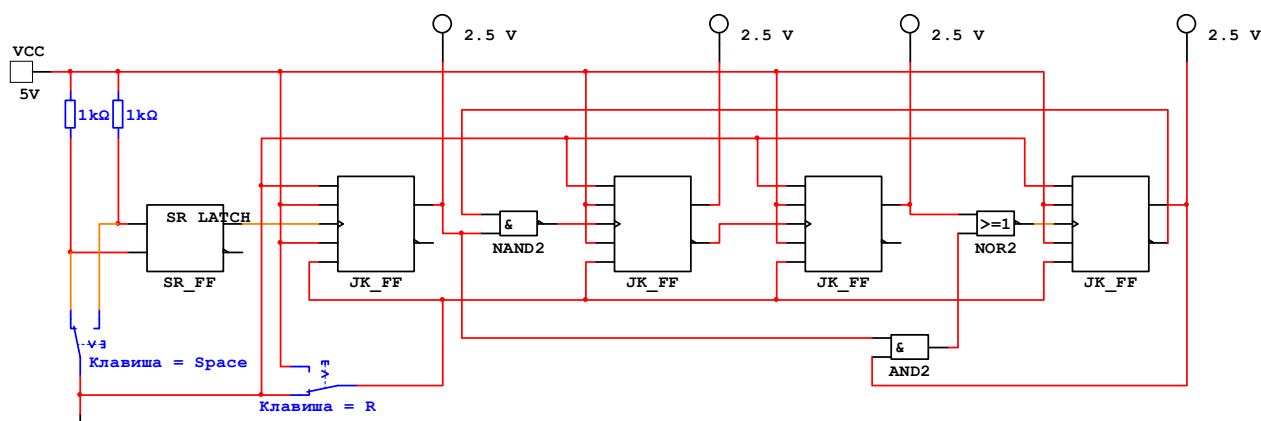


Рис.12.2.

12.2.6. Соберите схему универсального регистра сдвига, изображенную на рис. 12.3. Переключатели “А”, “В”, “С” служат для установки кода числа, которое можно записать в триггеры регистра (левое положение – 0, правое – 1). Для записи установленного числа нужно на короткое время перевести переключатель «2» в правое положение, а затем вернуть его обратно в левое. Переключатель «4» превращает регистр в кольцевой при сдвиге влево, «3» - при сдвиге вправо. RS –триггер, управляемый переключателем «1», служит для пе-

реключения сдвига влево – вправо. С помощью переключателя “Space” и такого же RS-триггера формируются тактовые импульсы для работы регистра.

12.2.7. Установите регистр в режим работы «Сдвиг вправо». Для этого переключатель “1” переведите в верхнее положение, а переключатели “3” и “4” - в нижнее.

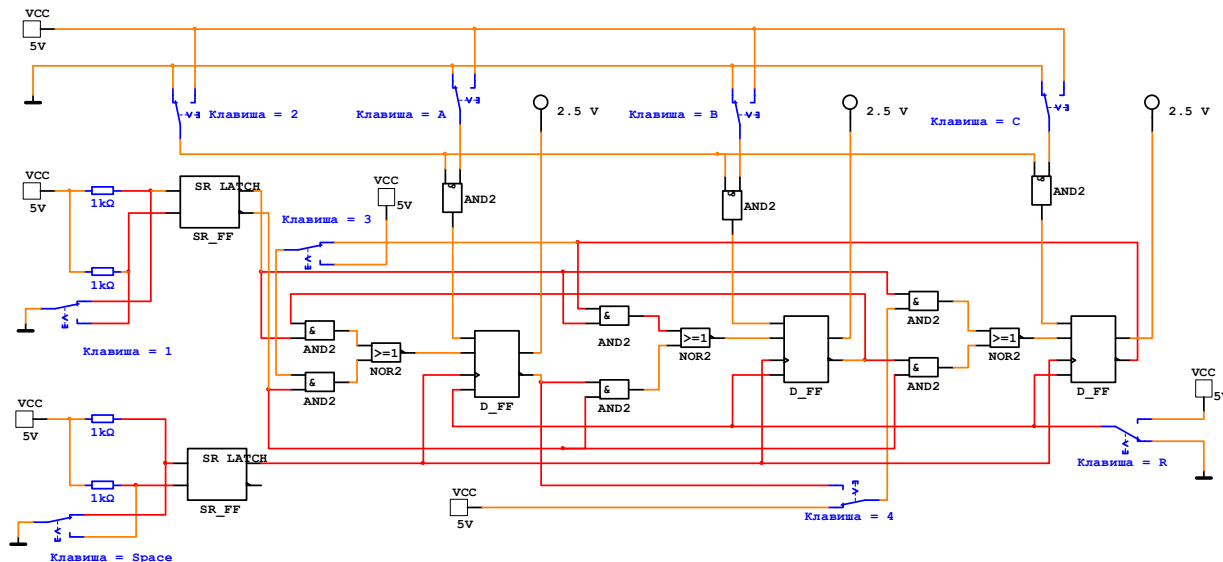


Рис. 12.3

Переключателями “А”, “В”, “С” установите некоторый код числа и запишите его в триггеры регистра, действуя переключателем “2”. Нажимая “Space” подавайте на регистр тактовые импульсы. Результаты занесите в таблицу 2.

Таблица 2

N	Индикатор 1	Индикатор 2	Индикатор 3
0 (исходное состояние)			
1			
2			
...			
...			

12.2.8. Установите регистр в режим работы «Сдвиг влево». Для этого переключатели “1”, “3” и “4” - переведите в нижнее положение. Повторите действия п. 12.2.7. Сделайте выводы.

12.2.9. Установите регистр в режим работы «Кольцевой сдвиг вправо». Для этого переключатели “1” и “3” переведите в верхнее положение, а переключатель “4” - в нижнее. Повторите действия п. 12.2.7. Сделайте выводы.

12.2.10. Установите регистр в режим работы «Кольцевой сдвиг влево». Для этого переключатели “1” и “3” переведите в нижнее положение, а переключатель “4” - в верхнее. Повторите действия п. 12.2.7. Сделайте выводы.

12.3. Содержание отчета

12.3.1. Цель работы

12.3.2. Исследуемые схемы

12.3.3. Полученные результаты

12.3.4. Выводы.

12.4. Контрольные вопросы

12.4.1. Счетчики импульсов. Классификация и типы счетчиков.

12.4.2. Асинхронный (последовательный) счетчик. Схема, принцип действия, достоинства и недостатки.

12.4.3. Синхронный (параллельный) счетчик. Схема, принцип действия, достоинства и недостатки.

12.4.4. Реверсивные счетчики. Варианты схем, принцип действия.

12.4.5. Регистры сдвига. Основная схема, принцип действия.

12.4.6. Разновидности регистров (реверсивный, кольцевой, с параллельной записью). Схема, принцип действия.

Лабораторная работа № 13

Изучение генераторов импульсов на интегральных микросхемах и устройств на их основе

13.1. Цель работы

Изучение генераторов импульсов и устройств на их основе на логических элементах и интегральных таймерах.

13.2. Порядок выполнения работы

13.2.1. Соберите схему для исследования генератора импульсов на логических инверторах, изображенную на рис. 13.1.

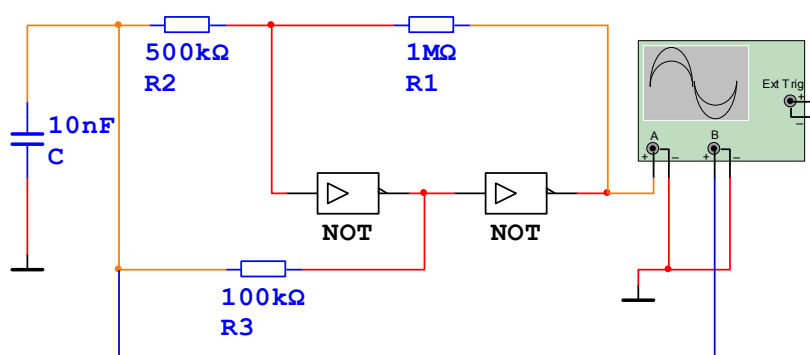


Рис.13.1

13.2.2. Активизируйте схему. Срисуйте с экрана осциллографа временные зависимости напряжений на выходе схемы и времязадающем конденсаторе. Определите параметры выходных импульсов при сопротивлении резисторов и емкости конденсатора, указанных в таблице 13.1. Сделайте выводы.

Таблица 13.1.

R1, МОм	1.0	0.5	2.0	1.0	1.0
R3, кОм	100	100	100	50	100
C, мкФ	0.01	0.01	0.01	0.01	0.05

13.2.3. Для исследования простейшего генератора импульсов на интегральном таймере NE555 соберите схему, изображенную на рис. 13.2.

13.2.4. Активизируйте схему. Срисуйте с экрана осциллографа временные зависимости напряжений на выходе схемы и времязадающем конденсаторе, а также определите параметры выходных импульсов. Рассчитайте длительность и частоту выходных импульсов по формулам и сравните полученные значения с измеренными. Повторите измерения при других значениях сопротивления резистора и емкости конденсатора (3 – 4 значения). Сделайте выводы.

13.2.5. Измените напряжение источника питания на 12 Вольт. Повторите действия п. 13.2.4. для одного набора величин сопротивления резистора и емкости конденсатора. Сделайте выводы.

13.2.6. Для исследования преобразователя напряжения в частоту на интегральном таймере NE555 соберите схему, изображенную на рис. 13.3.

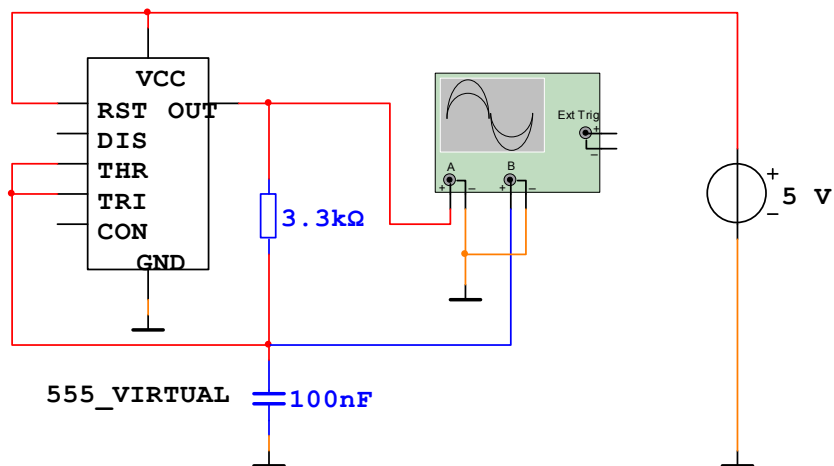


Рис.13.2

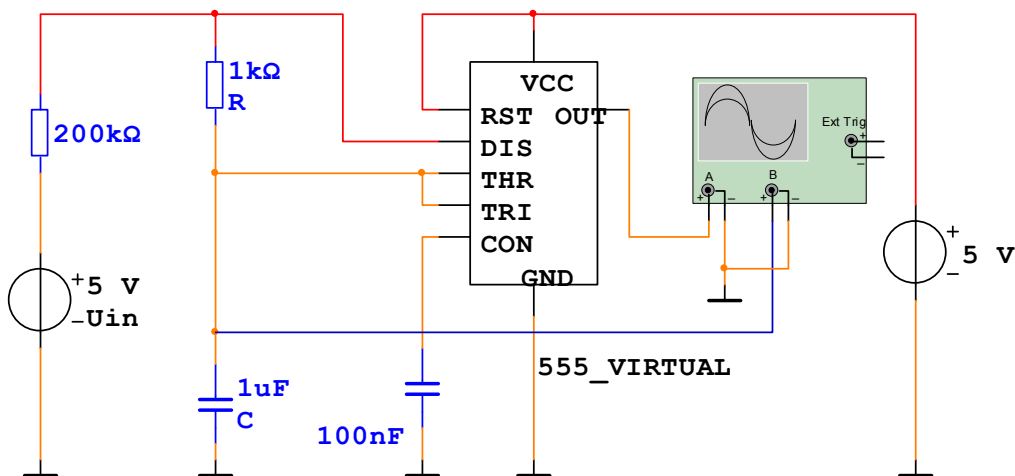


Рис.13.3

13.2.7. Активизируйте схему. Срисуйте с экрана осциллографа временные зависимости напряжения на выходе схемы и времязадающем конденсаторе С. Определите частоту выходного напряжения. Проведите измерения частоты выходного сигнала при входном напряжении $U_{in} = 5 \text{ В}, 10 \text{ В}, 15 \text{ В}$ и т.д. до 50 В. Постройте зависимость частоты выходного сигнала от величины входного напряжения. Сделайте выводы.

13.3. Содержание отчета.

13.3.1. Цель работы.

13.3.2. Исследуемые схемы.

13.3.3. Полученные характеристики и параметры генераторов, расчеты и их результаты.

13.3.4. Выводы.

13.4. Контрольные вопросы

13.4.1. Объясните принцип работы исследуемых схем генераторов импульсов.

13.4.2. От чего зависят параметры выходных импульсов генераторов и как можно управлять этими параметрами?

13.4.3. В чем достоинства и недостатки рассмотренных схем генераторов?

13.4.4. Объясните принцип работы схемы преобразователя напряжения в частоту на интегральном таймере NE555 и предложите варианты ее использования.

Лабораторная работа № 14

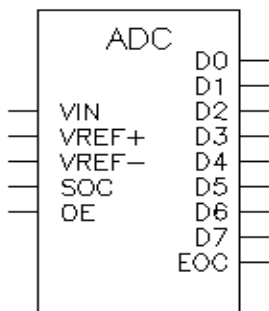
Изучение аналого-цифрового (АЦП) и цифро-аналогового (ЦАП) преобразователей

14.1. Цель работы

Знакомство с принципами действия и особенностями использования АЦП и ЦАП. Определение основных параметров АЦП и ЦАП.

14.2. Порядок выполнения работы

14.2.1. Ознакомьтесь с условным обозначением и назначением выводов АЦП (ADC), приведенным на рис.14.1.



VIN аналоговый вход;
VREF+ положительный полюс источника опорного напряжения;
VREF- отрицательный полюс источника опорного напряжения;
SOC сигнал запуска (тактовый импульс);
OE сигнал разрешения преобразования;
D0-D7 цифровые выходы;
EOC сигнал конца преобразования.

Рис.14.1

14.2.2. Для изучения АЦП соберите схему, приведенную на рис.14.2.

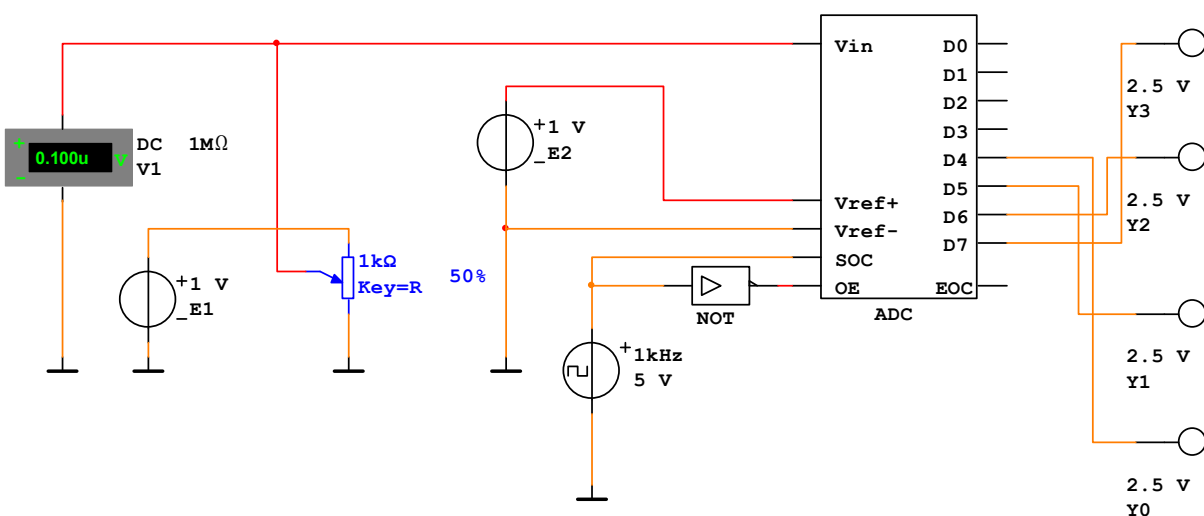


Рис.14.2

Примечание. Обратите внимание, что для работы восьмиразрядного АЦП в режиме четырехразрядного используются **четыре старшие бита** выходного кода D7-D4, образующие соответственно цифровые выходы Y3 – Y0, в связи с чем появляется систематическая ошибка преобразования, равная половине входного напряжения, соответствующего единице младшего разряда (ЕМР). Для нормальной работы АЦП сигналы на выводах SOC и OE должны быть противофазны, и для этого в схему включен инвертор NOT.

Генератор E1 и переменный резистор R (приращение 1%) служат для подачи и установки входного напряжения АЦП. Генератор E2 является источником опорного напряжения. Генератор прямоугольных импульсов 1 кГц вырабатывает импульсы запуска (тактовые импульсы). Вольтметр V1 измеряет входное напряжение АЦП $U_{вх}$, индикаторы Y0-Y3 показывают логические уровни в соответствующих разрядах на выходе АЦП.

14.2.3. Установите входное напряжение $U_{вх}=0$ (R=0%). Нажимая клавишу R, плавно увеличивайте сопротивление резистора R. Зафиксируйте значение $U_{вх}$ в момент загорания индикатора Y0, соответствующее кодовой комбинации 0001. Результаты измерения $U_{вх}$ занесите в таблицу 14.1.

Таблица 14.1

$U_{вх}$	Код на выходе	$U_{расч}$	ΔU	$\Delta U\%$
0	0000			
	0001	1h		
	0010	2h		
---	---	---	---	---
	1111	15h		

14.2.4. Действуя аналогично, занесите в таблицу значения входных напряжений для остальных кодовых комбинаций вплоть до 1111.

14.2.5. Вычислите величину входного напряжения h, соответствующую единице младшего разряда по формуле

$$1h = U_{вх \max} / 15 ,$$

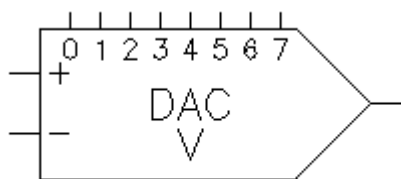
где $U_{вх \max}$ - входное напряжение, соответствующее кодовой комбинации 1111.

Определите $U_{расч}$ для каждой кодовой комбинации и занесите в таблицу. Для каждого значения $U_{расч}$ рассчитайте абсолютную и относительную погрешности преобразования по формулам

$$\Delta U = U_{расч} - U_{вх} ; \quad \Delta U\% = |\Delta U| / U_{расч} * 100\% .$$

Результаты занесите в таблицу. По данным таблицы постройте в виде графика характеристику преобразования АЦП - зависимость выходного кода от $U_{вх}$.

14.2.6. Ознакомьтесь с условными обозначением и назначением выводов ЦАП (DAC), приведенными на рис.14.3.



+ положительный полюс источника опорного напряжения;
 - отрицательный полюс источника опорного напряжения;
 0-7 цифровые входы; >- аналоговый выход.

Рис.14.3

14.2.7. Соберите схему для изучения ЦАП, приведенную на рис.14.4. Переключатели [0] - [3] используются для задания кодовых комбинаций на входе ЦАП (верхнее положение - 1, нижнее - 0), генератор E1 – источник опорного напряжения (ИОН), вольтметр V1 показывает величину выходного напряжения.

14.2.8. Установите переключатели в положение, соответствующее кодовой комбинации 0000 и запишите в таблицу 14.2 соответствующее значение выходного напряжения $U_{\text{вых}}$.

14.2.9. Действуя аналогично, занесите в таблицу значения выходных напряжений, соответствующие остальным кодовым комбинациям на входах ЦАП вплоть до 1111.

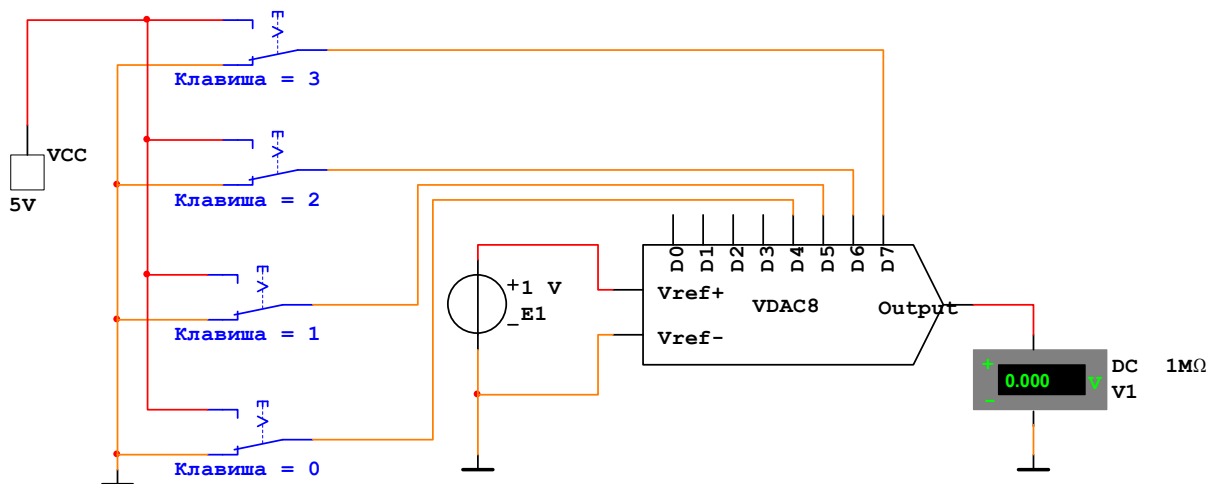


Рис.14.4

Таблица 14.2

Код на входе	$U_{\text{вых}}$	$U_{\text{расч}}$	ΔU	$\Delta U\%$
0000		0		
0001		1h		
---	---	---	---	---
1111		15h		

Определите величину выходного напряжения, соответствующую единице младшего разряда по формуле

$$h = U_{\text{вых max}} / 15 ,$$

где $U_{\text{вых max}}$ - выходное напряжение, соответствующее кодовой комбинации 1111.

Определите $U_{\text{расч}}$ для каждой кодовой комбинации и занесите в таблицу. Рассчитайте для каждого значения $U_{\text{расч}}$ абсолютную и относительную погрешности преобразования по формулам

$$\Delta U = U_{\text{расч}} - U_{\text{вых}} ; \quad \Delta U\% = |\Delta U| / U_{\text{расч}} * 100\% .$$

Результаты занесите в таблицу. По данным таблицы постройте в виде графика характеристику преобразования ЦАП - зависимость выходного напряжения $U_{\text{вых}}$ от входного кода.

14.2.10. Для изучения совместной работы АЦП и ЦАП при переменном входном напряжении и зависимости погрешности преобразования от частоты тактового генератора соберите схему, приведенную на рис.14.5. Включение двух источников опорного напряжения E1 и E2, присоединенных к схеме подобным образом, дает возможность произвести сдвиг уровня входного двухполярного напряжения и выполнить аналого-цифровое преобразование полученного однополярного сигнала.

14.2.11. Установите форму выходного напряжения функционального генератора - синусоида, амплитуду - 1В. Активизируйте схему. Зарисуйте осциллограммы напряжений входного и выходного сигналов для следующих значений частоты тактового генератора: 5 кГц, 10 кГц, 20 кГц, 50 кГц. Сделайте выводы.

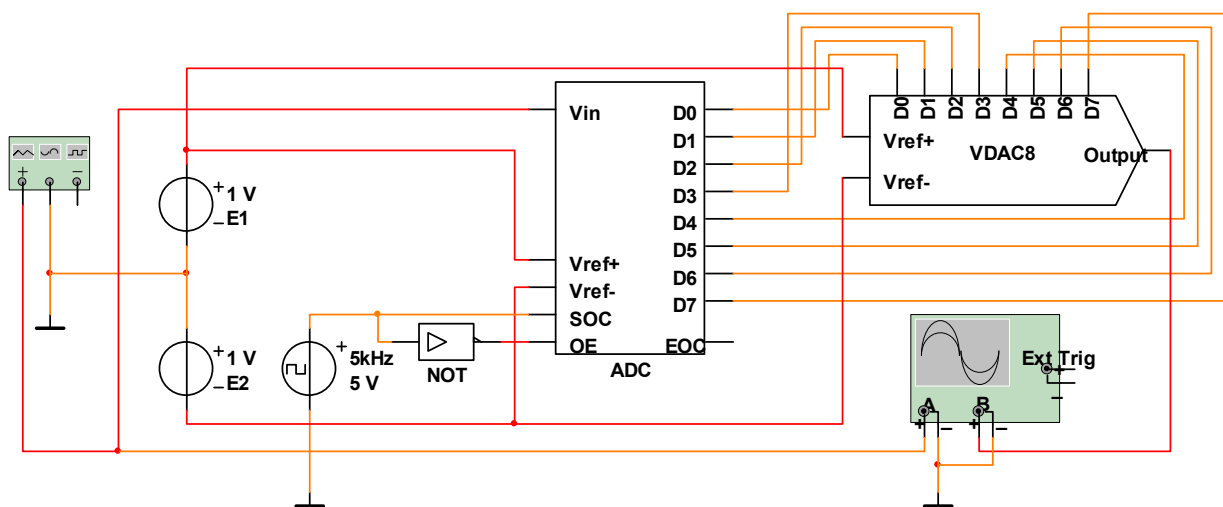


Рис.14.5

14.3. Содержание отчета

- 14.3.1. Цель работы.
- 14.3.2. Исследуемые схемы.
- 14.3.3. Результаты измерений в виде таблиц и графиков.
- 14.3.4. Выводы.

14.4. Контрольные вопросы

- 14.4.1. Дайте определение АЦП и ЦАП и изобразите их обозначения с указанием выводов.
- 14.4.2. Дайте определение основных параметров АЦП и ЦАП.
- 14.4.3. Изобразите характеристики преобразования АЦП и ЦАП.
- 14.4.4. Приведите примеры схемных реализаций АЦП и ЦАП.
- 14.4.5. Как практически определяются погрешности АЦП и ЦАП?

Лабораторная работа № 15

Изучение выпрямителей и стабилизаторов напряжения

15.1. Цель работы

Изучение различных схем выпрямителей и линейных стабилизаторов напряжения.

15.2. Порядок выполнения работы

15.2.1. Для исследования двухполупериодного выпрямителя со средней точкой соберите схему, приведенную на рис.15.1. Активизируйте схему. Запишите показания вольтметров, а также срисуйте с экрана осциллографа временные зависимости входного и выходного напряжений. Повторите измерения при емкостях конденсатора C 100 мкФ и 2000 мкФ. Сделайте выводы о работе данного выпрямителя и емкостного фильтра.

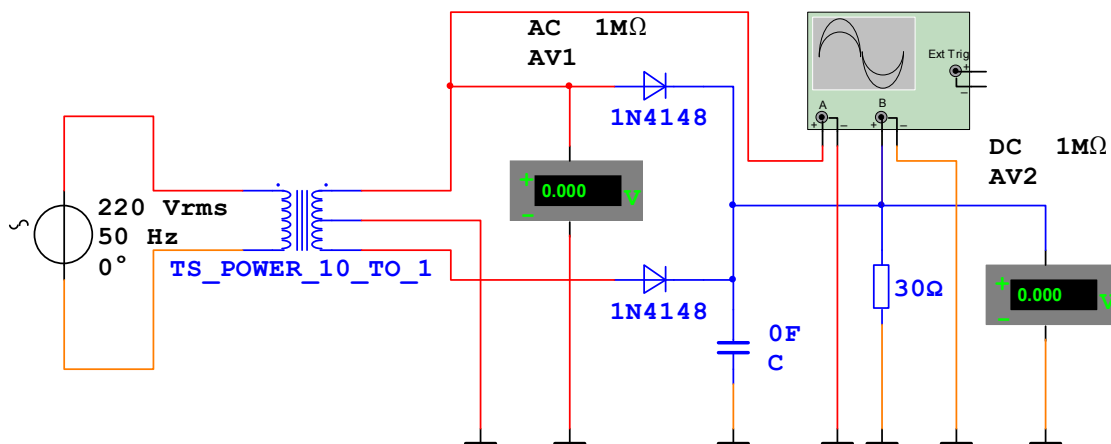


Рис.15.1

15.2.2. Для исследования двухполупериодного мостового выпрямителя соберите схему, приведенную на рис.15.2. Повторите измерения п.15.2.1. Сделайте выводы в плане сравнения рассмотренных схем.

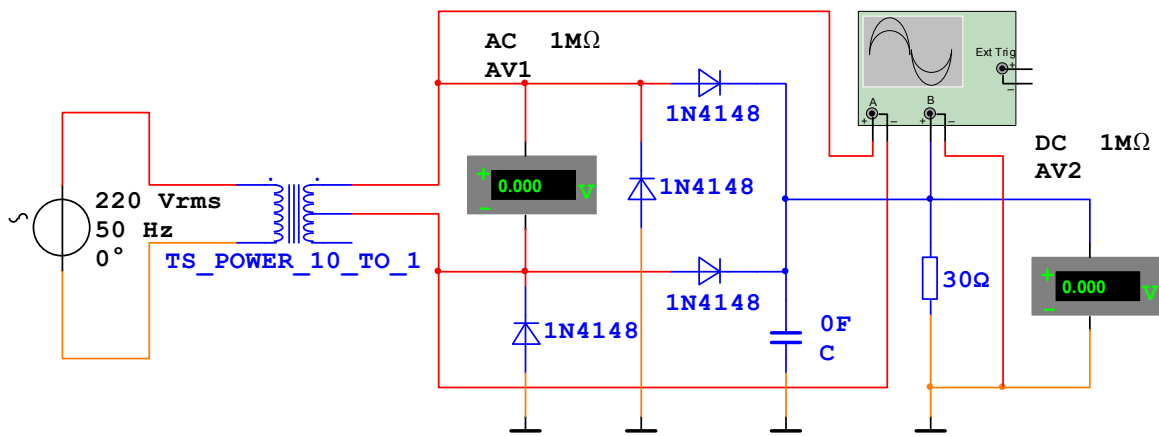


Рис.15.2

15.2.3. Для исследования индуктивного фильтра в последней схеме установите емкость конденсатора С 100 мкФ. Включите между конденсатором С и нагрузкой выпрямителя последовательно соединенные индуктивность 100 мГ и резистор 6 Ом (реальная величина омического сопротивления катушки с такой индуктивностью). Отсоедините вход канала А осциллографа от трансформатора и подсоедините его к конденсатору фильтра С. Активизируйте схему. Запишите показания вольтметров, а также срисуйте с экрана осциллографа временные зависимости напряжений на входе и выходе индуктивного фильтра. Повторите измерения при величине индуктивности 500 мГ, и сопротивлении резистора 20 Ом. Сделайте выводы о работе индуктивного фильтра.

15.2.4. Для исследования параметрического стабилизатора напряжения на стабилитроне соберите схему, приведенную на рис.15.3.

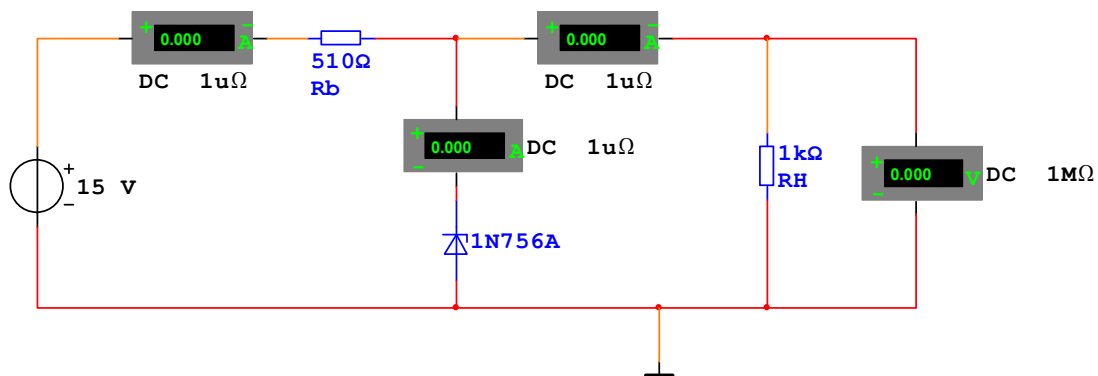


Рис.15.3

15.2.5. Активизируйте схему. Запишите показания измерительных приборов. Повторите измерения при следующих значениях сопротивления нагрузки: R_H 1.6 кОм, 2.4 кОм и ∞ (1 МОм). Постройте нагрузочную характеристику стабилизатора – зависимость выходного напряжения от тока нагрузки.

15.2.6. Определите выходное сопротивление стабилизатора при изменении сопротивления нагрузки R_H от $R_1 = 1$ кОм до $R_2 = 1.6$ кОм по формуле

$$R_{\text{ВЫХ}} = R_1 R_2 (U_2 - U_1) / (U_1 R_2 - U_2 R_1),$$

где U_1 – выходное напряжение при $R_H = R_1$, U_2 – выходное напряжение при $R_H = R_2$,

15.2.7. Измените входное напряжение на 18 В. Для сопротивления нагрузки 1 кОм проведите измерения и определите коэффициент стабилизации по формуле

$$K_{\text{СТ}} = (\Delta U_{\text{ВХ}} / U_{\text{ВХ ср}}) / (\Delta U_{\text{ВЫХ}} / U_{\text{ВЫХ ср}}),$$

где $\Delta U_{\text{ВХ}} = 18 - 15 = 3$ (В), $U_{\text{ВХ ср}} = (18 + 15)/2 = 16.5$ (В),

$\Delta U_{\text{ВЫХ}} = U_{\text{ВЫХ}}(\text{при } U_{\text{ВХ}} = 18\text{В}) - U_{\text{ВЫХ}}(\text{при } U_{\text{ВХ}} = 15\text{В})$,

$U_{\text{ВЫХ ср}} = (U_{\text{ВЫХ}}(\text{при } U_{\text{ВХ}} = 18\text{В}) + U_{\text{ВЫХ}}(\text{при } U_{\text{ВХ}} = 15\text{В}))/2$.

15.2.8. Рассчитайте КПД стабилизатора для сопротивлений нагрузки 1 кОм и 1.6 кОм при входном напряжении 15 В и сопротивления нагрузки 1 кОм при входном напряжении 18 В. Сделайте выводы о зависимости параметров стабилизатора от величин входного напряжения и сопротивления нагрузки.

15.2.9. Для исследования компенсационного стабилизатора напряжения на операционном усилителе соберите схему, приведенную на рис.15.4.

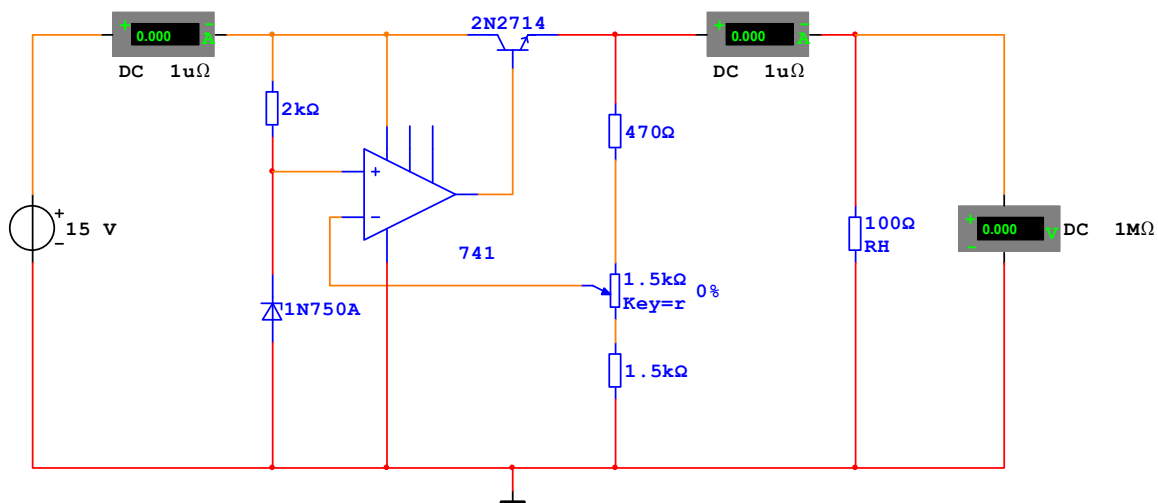


Рис.15.4

15.2.10. Проведите измерения и расчеты аналогично пп. 15.2.6 – 15.2.8 для сопротивлений нагрузки R_H 100 Ом и 160 Ом при сопротивлениях переменного резистора $\text{Key}=r$, соответствующих 0% и 100% (всего 6 измерений). Сделайте выводы о зависимости параметров стабилизатора от величин входного и выходного напряжения и сопротивления нагрузки.

15.2.11. В последней схеме отсоедините верхний вывод резистора 2 кОм, включенного последовательно со стабилитроном, от входа стабилизатора, и подсоедините его на выход стабилизатора (к эмиттеру транзистора – регулирующего элемента). Проведите измерения и расчеты как в предыдущем случае. Сделайте выводы.

15.3. Содержание отчета.

15.3.1. Цель работы.

15.3.2. Исследуемые схемы.

15.3.3. Полученные характеристики и параметры выпрямителей и стабилизаторов.

15.3.4. Выводы.

15.4. Контрольные вопросы

15.4.1. Приведите основные параметры изученных схем выпрямителей.

15.4.2. В чем состоят достоинства и недостатки рассмотренных схем?

15.4.3. Объясните принципы работы емкостного и индуктивного фильтров.

15.4.5. Приведите основные параметры стабилизаторов напряжения.

15.4.6. Объясните принципы работы параметрического стабилизатора напряжения.

15.4.7. Объясните принципы работы компенсационного стабилизатора напряжения.

15.4.8. Дайте сравнительную характеристику рассмотренных схем стабилизаторов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Марченко А.Л. Основы электроники. Учебное пособие для вузов. – М.: ДМК Пресс, 2008.
2. Лачин В.И., Савелов Н.С. Электроника. – Ростов на Дону: «Феникс», 2009.
3. Волович Г.И. Схемотехника аналоговых и аналого-цифровых электронных устройств.– М.: Издательский дом«Додэка-XXI», 2009.– 528 с.

Учебное пособие

Геннадий Львович Штрапенин

Электротехника и электроника

Методическое руководство к лабораторным работам

620034, Екатеринбург, ул. Колмогорова, 66, УрГУПС
Редакционно-издательский отдел.
