

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФГБОУ ВПО «Кубанский государственный аграрный университет»

факультет прикладной информатики  
кафедра компьютерных технологий и систем

**А.В. Параскевов**

## **МИКРОЭЛЕКТРОНИКА И СХЕМОТЕХНИКА**

**Учебное пособие**

для направления подготовки 09.03.02 – «Информационные системы и технологии»

Краснодар  
2016

**УДК 621 (075.8)**  
**ББК 32.852**  
**П 18**

**Р е ц е н з е н т ы:**

**Хисамов Ф.Г.** – доктор технических наук, профессор, академик РАЕН  
(Кубанский институт информзащиты)

**Луценко Е.В.** – доктор экономических наук, кандидат технических наук, профессор ВАК  
(Кубанский государственный аграрный университет)

**Параскевов А.В.**

**П 18** Микроэлектроника и схемотехника: учебное пособие (для направления подготовки 09.03.02 – «Информационные системы и технологии»). / А.В. Параскевов / под редакцией заслуженного деятеля науки РФ, доктора технических наук, профессора, зав. кафедрой компьютерных технологий и систем Кубанского государственного аграрного университета В. И. Лойко – Краснодар: КубГАУ, 2016. – 92с.

Учебное пособие по дисциплине «Микроэлектроника и схемотехника» подготовлено для направления подготовки 09.03.02 – «Информационные системы и технологии», разработано на кафедре компьютерных технологий и систем (КТС) факультета прикладной информатики (ФПИ) КубГАУ. Оно соответствует требованиям государственного образовательного стандарта (ГОС) высшего образования по направлению 09.03.02 – «Информационные системы и технологии», утвержденного 12.03.2015г. (регистрационный № 219мжд/сп) Министерством образования РФ.

Рассмотрено и рекомендовано к изданию на заседании кафедры компьютерных технологий и систем КубГАУ.

Учебное пособие содержит описание компьютерной программы EWBv5.12, 18 лабораторных работ и позволяет студентам самостоятельно подготовиться и выполнить лабораторные работы, ознакомиться с современными методами компьютерного моделирования, также предложены вопросы для самостоятельной подготовки, вопросы для подготовки к экзамену, тестовые материалы, глоссарий. Программа EWB 5.12, разработанная канадской фирмой Interactive Image Technologies, рассчитана для работы в среде Windows 95/98/2000/XP/7. Рекомендуемый процессор – Pentium с тактовой частотой 75 МГц и выше. Требуемый объем дисковой памяти (в том числе для размещения временных файлов) – не менее 50 Мбайт. Программа имеет англоязычный интерфейс.

**УДК 621 (075.8)**  
**ББК 32.852**

© А.В. Параскевов, 2016  
© ФГБОУ ВПО «Кубанский  
государственный аграрный университет»,  
2016

## Оглавление

Цель и задачи дисциплины.....	4
Требования к формируемым компетенциям.....	7
План лабораторных занятий.....	9
Программа самостоятельной работы студентов.....	11
Лабораторные задания.....	13
Лабораторная работа №1.....	14
Лабораторная работа №2.....	17
Лабораторная работа №3.....	21
Лабораторная работа №4.....	24
Лабораторная работа №5.....	27
Лабораторная работа №6.....	30
Лабораторная работа №7.....	33
Лабораторная работа №8.....	37
Лабораторная работа №9.....	42
Лабораторная работа №10.....	48
Лабораторная работа №11.....	51
Лабораторная работа №12.....	54
Лабораторная работа №13.....	59
Лабораторная работа №14.....	62
Лабораторная работа №15.....	65
Лабораторная работа №16.....	67
Лабораторная работа №17.....	70
Лабораторная работа №18.....	76
Тестовые задания.....	79
Вопросы для подготовки к экзамену.....	85
Глоссарий.....	87
Список литературы.....	90

## Цель и задачи дисциплины

Современная микроэлектроника развивается по пути микроминиатюризации и увеличения степени интеграции микроэлектронных изделий: интегральных микросхем, микросборок, полупроводниковых и гибридных больших и сверхбольших интегральных схем. Особое место среди направлений микроэлектроники занимает функциональная микроэлектроника (квантовая микроэлектроника, диэлектрическая электроника, оптоэлектроника, акустоэлектроника, магнетоэлектроника, криотроника, хемотроника, биоэлектроника), изделия которой находят все более широкое применение в системах передачи, обработки, хранения и отображения информации. Использование современных достижений микроэлектроники в разрабатываемых системах различного функционального назначения позволяет комплексно решать проблемы многофункциональности, повышения надежности, уменьшения массы, габаритов, энергопотребления и стоимости.

Целью преподавания дисциплины «Микроэлектроника и схемотехника» является:

- ознакомление с основными задачами, принципами и направлениями развития современной микроэлектроники;
- приобретение знаний по принципам построения, функциональных возможностей, изготовления и использования МЭ в аппаратуре различного функционального назначения, включая устройства и системы промышленной электроники;
- ознакомление с конструкциями и технологиями устройств и приборов, выполненных с применением технологий микроэлектроники.

В результате изучения дисциплины студент должен:

Знать:

- основные направления в микроэлектронике;

- классификационные признаки и характеристики микроэлектронных изделий;
- конструктивно-технологические особенности различных типов интегральных схем и методы изготовления пассивных и активных элементов интегральных микросхем;
- основные разновидности аналоговых и цифровых интегральных схем и особенности их использования в промышленной аппаратуре;
- основные особенности и принципы проектирования микроэлектронных изделий;
- принципы работы устройств функциональной микроэлектроники.

Уметь:

- уметь производить расшифровку маркировки интегральных микросхем, выбор элементной базы при разработке устройств;
- уметь осуществлять измерение параметров интегральных микросхем и производить расчеты их элементов, осуществлять выбор технологии изготовления элементов интегральных схем;
- выбрать необходимый тип устройств и приборов, выполненных с применением технологий микроэлектроники

Владеть:

- разработкой технических требований для изготовления аппаратуры.

Иметь представление:

- о составлении эскизов топологии элементов интегральных микросхемах.

Виды и задачи профессиональной деятельности по дисциплине:

1. разработка средств реализации информационных технологий;
2. сборка программной системы из готовых компонентов;
3. адаптация приложений к изменяющимся условиям функционирования

Данная дисциплина является вариативной частью профессионального учебного цикла БЗ ООП.

Для успешного освоения дисциплины необходимы знания по следующим дисциплинам и разделам ОП:

1. Информатика.
2. Микропроцессоры.

## Требования к формируемым компетенциям

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций:

а) Общекультурные компетенции (ОК):

- готовность использовать основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности, применять методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования (ОК-10).

б) Профессиональные компетенции (ПК):

- способность проводить техническое проектирование (ПК-2);

- способность к проектированию базовых и прикладных информационных технологий (ПК-11);

- способность разрабатывать средства реализации информационных технологий (методические, информационные, математические, алгоритмические, технические и программные) (ПК-12);

- готовность участвовать в работах по доводке и освоению информационных технологий в ходе внедрения и эксплуатации информационных систем (ПК-15);

- способность использовать технологии разработки объектов профессиональной деятельности, в областях: машиностроение, приборостроение, наука, техника, образование, медицина, административное управление, юриспруденция, бизнес, предпринимательство, коммерция, менеджмент, банковские системы, безопасность информационных систем, управление технологическими процессами, механика, техническая физика, энергетика, ядерная энергетика, силовая электроника, металлургия, строительство, транспорт, железнодорожный транспорт, связь, телекоммуникации, управление инфокоммуникациями, почтовая связь, химическая промышленность, сельское хозяйство, текстильная и легкая промышленность, пищевая промышленность, медицинские и биотехнологии,

горное дело, обеспечение безопасности подземных предприятий и производств, геология, нефтегазовая отрасль, геодезия и картография, геоинформационные системы, лесной комплекс, химико-лесной комплекс, экология, сфера сервиса, системы массовой информации, дизайн, медиаиндустрия, а также предприятия различного профиля и все виды деятельности в условиях экономики информационного общества (ПК-18);

- способность осуществлять организацию рабочих мест, их техническое оснащение, размещение компьютерного оборудования (ПК-19);

- способность участвовать в постановке и проведении экспериментальных исследований (ПК-24);

- способность к осуществлению инсталляции, отладки программных и настройки технических средств для ввода информационных систем в промышленную эксплуатацию (ПК-31);

- способность поддерживать работоспособность информационных систем и технологий в заданных функциональных характеристиках и соответствии критериям качества (ПК-32).



## План лабораторных занятий

№ п/п	Наименование лабораторной работы
1	Лабораторная работа №1. Исследование режекторного фильтра.
2	Лабораторная работа №2. Исследование полупроводниковых диодов.
3	Лабораторная работа №3. Снятие статических характеристик биполярного транзистора.
4	Лабораторная работа №4. Исследование полевого транзистора.
5	Лабораторная работа №5. Исследование усилителя синусоидальных сигналов.
6	Лабораторная работа №6. Исследование дифференциального усилительного каскада.
7	Лабораторная работа №7. Исследование электронных схем на базе операционных усилителей.
8	Лабораторная работа №8. Исследование генератора гармонических колебаний.
9	Лабораторная работа №9. Исследование интегрирующих и дифференцирующих цепей.
10	Лабораторная работа №10. Исследование мультивибратора на операционном усилителе.
11	Лабораторная работа №10. Исследование мультивибратора на операционном усилителе.
12	Лабораторная работа №11. Исследование одновибратора на операционном усилителе.
13	Лабораторная работа №11. Исследование одновибратора на операционном усилителе.
14	Лабораторная работа №12. Исследование генераторов линейно изменяющегося напряжения.

№ п/п	Наименование лабораторной работы
15	Лабораторная работа №12. Исследование генераторов линейно изменяющегося напряжения.
16	Лабораторная работа №13. Исследование логических схем «И» и «ИЛИ».
17	Лабораторная работа №13. Исследование логических схем «И» и «ИЛИ».
18	Лабораторная работа №14. Исследование полусумматора и сумматора.
19	Лабораторная работа №14. Исследование полусумматора и сумматора.
20	Лабораторная работа №15. Исследование RS-триггера.
21	Лабораторная работа №15. Исследование RS-триггера.
22	Лабораторная работа №16. Исследование последовательного и параллельного регистров.
23	Лабораторная работа №16. Исследование последовательного и параллельного регистров.
24	Лабораторная работа №17. Исследование выпрямителей и сглаживающих фильтров.
25	Лабораторная работа №17. Исследование выпрямителей и сглаживающих фильтров.
26	Лабораторная работа №18. Исследование стабилизаторов постоянного напряжения.
27	Лабораторная работа №18. Исследование стабилизаторов постоянного напряжения.

## Программа самостоятельной работы студентов

Примерные темы рефератов и докладов:

1. Методы исследования структуры кристаллов (рентгеновская дифракция, электронная дифракция).
2. Методы исследования состава поверхности и тонких пленок (обратное рассеяние быстрых ионов, ВИМС).
3. Методы получения тонких проводящих пленок в технологии изделий микроэлектроники.
4. История открытия и исследования сверхпроводимости, применение сверхпроводников.
5. Высокотемпературные сверхпроводники и перспективы их применения.
6. История изучения полупроводниковых материалов.
7. Методы выращивания монокристаллов.
8. Понятие об эпитаксии, методы получения эпитаксиальных пленок.
9. Эффект Холла и его использование для изучения свойств материалов.
10. Эффект Ганна и приборы на его основе.
11. Аморфные полупроводники и приборы на их основе.
12. Органические полупроводники и возможности их применения в электронной технике.
13. Широкозонные полупроводники и приборы на их основе.
14. Понятие о гетеропереходах. Создание гетеропереходов и их применение в приборах.
15. Материалы для преобразования световой энергии в электрическую.
16. Твердые растворы на основе полупроводниковых соединений АЗВ5 и их применение.

17. Свойства и применение полупроводниковых соединений A2B6.
18. Материалы для оптоэлектроники.
19. Пористый кремний: получение и применение.
20. Материалы для полупроводниковых лазеров.
21. Квантовые ямы, нити и точки: что это такое?
22. Полимерные диэлектрики для новых приборов электронной техники.
23. Ситаллы и их применение в изделиях электронной техники.
24. Стекло как активная среда для генерации лазерного излучения.
25. Углеродные нанотрубки: свойства, получение и применение в электронных приборах.
26. Жидкие кристаллы и их применение в системах отображения информации.
27. Материалы для акустоэлектрических приборов.
28. Материалы для волоконно-оптических линий связи.
29. Пьезоэлектрическая керамика и ее применение.
30. Материалы для магнитоэлектроники.

# **Лабораторные задания**

# Лабораторная работа №1

## Исследование режекторного фильтра

**Цель работы:** снятие и анализ амплитудно-частотной и фазо-частотной характеристик режекторного фильтра.

### **Вопросы для самоподготовки:**

1. Что такое электрический фильтр?
2. Как подразделяются электрические фильтры в зависимости от состава, входящих в них компонентов?
3. Что такое полоса пропускания фильтра?
4. Что такое полоса затухания фильтра?
5. Как подразделяются электрические фильтры в зависимости от полосы пропускания?
6. Нарисуйте амплитудно-частотные характеристики идеальных и реальных электрических фильтров.
7. Поясните разницу между пассивными и активными фильтрами?
8. Нарисуйте схемы пассивных фильтров для диапазона частот от 0 до 20 кГц. По каким формулам определяется граничная частота или частота квазирезонанса таких фильтров?
9. Нарисуйте схемы пассивных фильтров для диапазона частот от 200 до 20000 кГц. По каким формулам определяется граничная частота или частота квазирезонанса таких фильтров?
10. В каких случаях применяются пьезоэлектрические фильтры?
11. Что такое прямой и обратный пьезоэлектрический эффекты?
12. Рассчитайте частоту квазирезонанса двойного Т-образного моста, если  $C = 4,7 \text{ мкФ}$ , а  $R = [\text{Ваш номер по журналу}] \text{ Ом}$ .

### Порядок выполнения работы

1. Собрать схему исследования режекторного фильтра, изображенную на рисунке 1.

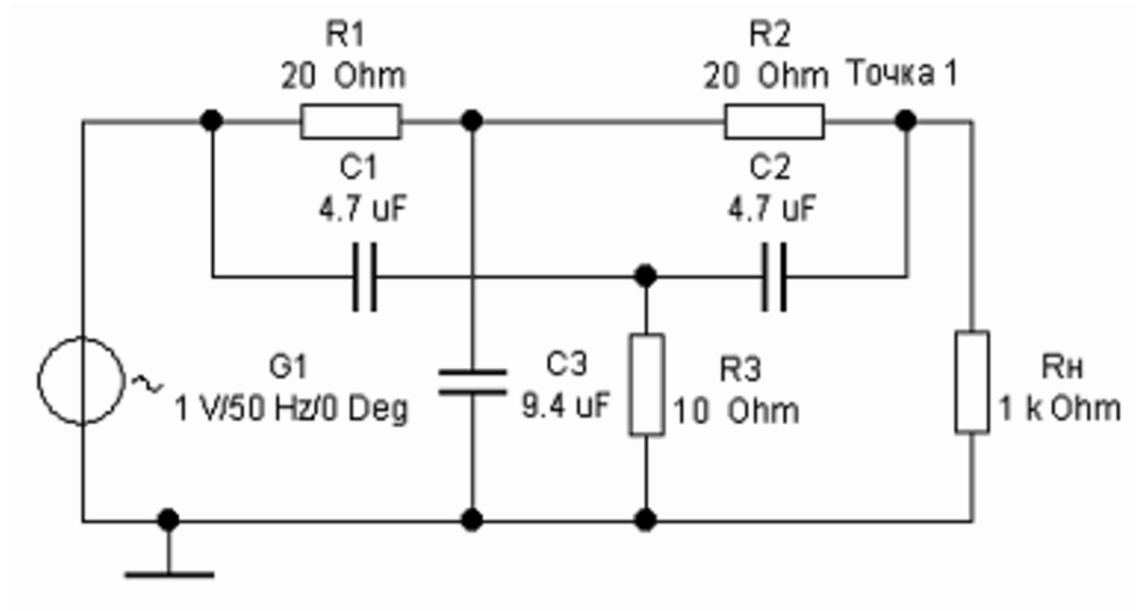


Рисунок 1 – Схема для исследования двойного Т-образного моста.

2. Подвести курсор к точке 1. В строке состояния (в нижней части экрана) появится надпись «Connector: Node X». Число X (номер узла) необходимо запомнить для использования в дальнейших исследованиях.

3. В меню Анализ «Analysis» выбрать пункт AC Frequency.

4. В открывшемся диалоговом окне в списке «No desin circuit» выбрать число X и нажать кнопку «Add». Теперь измерения будут проводиться в указанной точке. Далее следует установить начальную частоту FSTART (для данной схемы – 500 Гц) и конечную частоту FSTOP (5 кГц) для задания диапазона изменения частоты и количество измерений (Number of points) – например 10000. Установить также тип проекции «Линейная» (linear).

5. Нажать кнопку «Имитировать» - «Simulate». Результат анализа показан на рисунке 2.

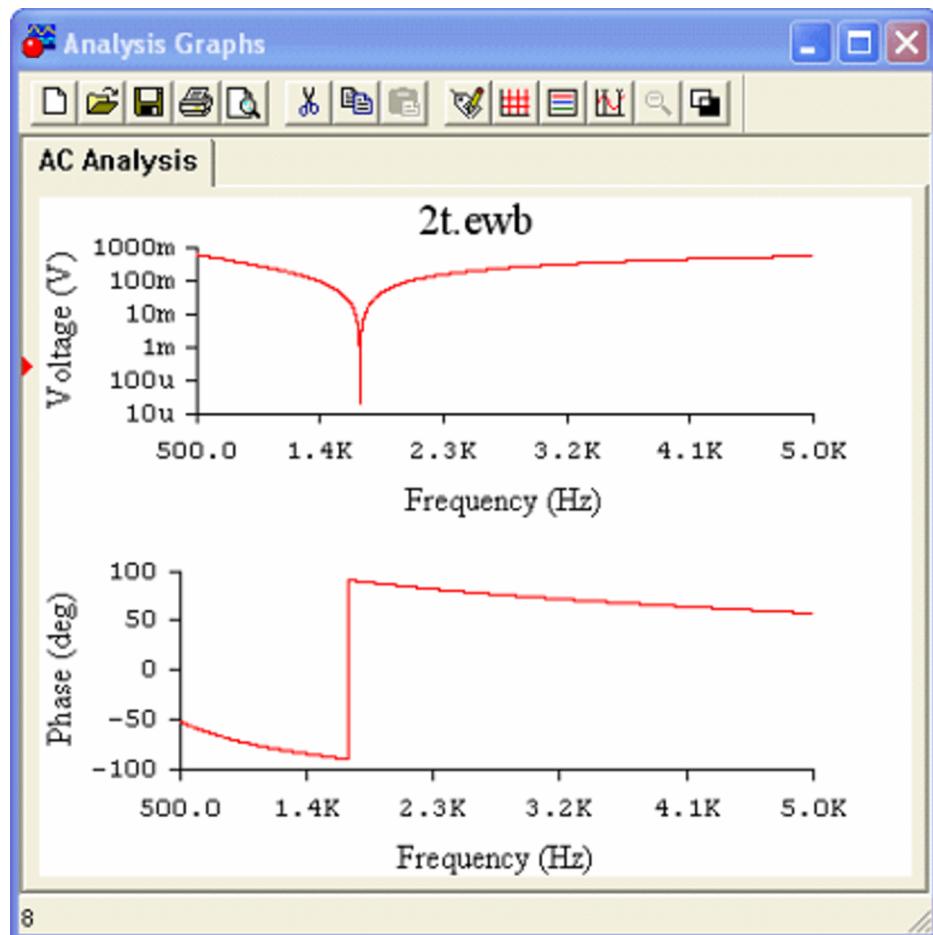


Рисунок 2 – АЧХ и ФЧХ рассмотренного фильтра.

6. Рассчитать фильтр с частотой квазирезонанса, соответствующей вашему варианту (предлагается преподавателем).
7. Установить в схеме (см. рисунок 1) номиналы элементов, полученные при расчете, и провести исследования по рассмотренному образцу.
8. Сделать вывод.



## Лабораторная работа №2

### Исследование полупроводниковых диодов

**Цель работы:** снятие и анализ вольтамперных характеристик германиевого и кремниевого диодов. Определение их параметров по характеристикам.

#### **Вопросы для самоподготовки:**

1. Что такое полупроводниковый диод?
2. Из каких материалов изготавливаются диоды?
3. Сколько PN-переходов содержит диод?
4. Чем отличаются диоды, изготовленные из различных материалов?
5. Нарисуйте условное графическое обозначение (УГО) диода. Как называются его выводы. Запишите название выводов на рисунке.
6. Какие приборы необходимы для снятия ВАХ диодов?
7. Нарисуйте вольтамперную характеристику (ВАХ) диода. Расскажите о процессах, соответствующих характерным участкам ВАХ.
8. Перечислите основные параметры диодов. Охарактеризуйте каждый из них.
9. Как определить режим работы диода по нагрузочной прямой?
10. Назовите разновидности полупроводниковых диодов. Поясните их особенности и область применения.

#### **Порядок выполнения работы**

Собрать схему исследования диодов, изображенную на рисунке 3.



7. Подключить диод VD2 к генератору тока, нажав клавишу [Пробел] (для управления переключателем можно использовать другую клавишу; для этого ее нужно задать в свойствах компонента).

8. Повторить измерения для второго диода.

9. Собрать схему, изображенную на рисунке 4.

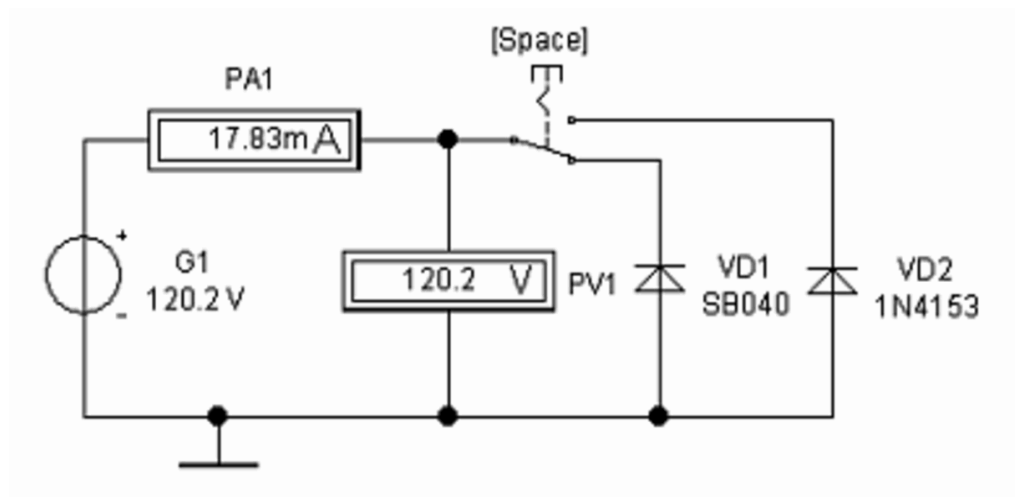


Рисунок 4 – Схема исследования диодов, включенных в обратном направлении.

10. Снять обратные характеристики диодов, изменяя напряжение в соответствии с таблицей 2.

Таблица 2 – Данные для построения обратной ветви ВАХ диода.

Обратное напряжение на диоде $U_{обр}, В$	0,1	1,0	10,0	60,0	120,0	120,1	120,2	120,3	120,4
Ток через диод VD1, $I_{обр1}, мкА$									
Ток через диод VD2, $I_{обр2}, мкА$									

11. Построить ВАХ диодов в координатных осях.

12. Определить режим работы диода в схеме (Рисунок 20), при  $E=2В$ ,  $R1=39 Ом$ , используя ВАХ диода. Найти сопротивление постоянному току и дифференциальное сопротивление диода.

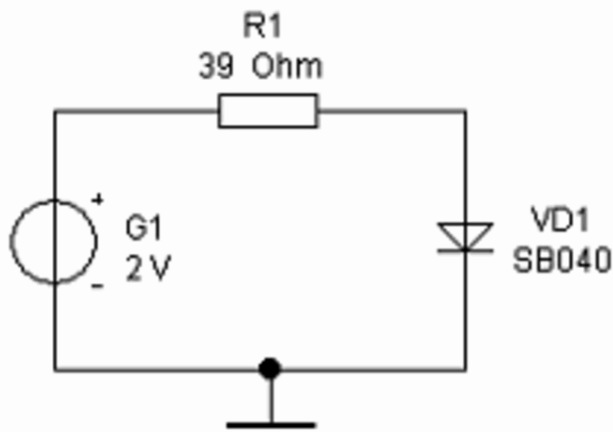


Рисунок 5 – Схема для задачи пункта 12.

Сделать вывод. Вывод должен содержать описание теоретических положений, подтвержденных экспериментально в процессе выполнения работы.

# Лабораторная работа №3

## Снятие статических характеристик биполярного транзистора

**Цель работы:** снятие и анализ вольтамперных характеристик биполярного транзистора, включенного по схеме с общим эмиттером. Определение  $h$ -параметров по характеристикам.

### **Вопросы для самоподготовки:**

1. Что такое биполярный транзистор?
2. Из каких материалов изготавливаются транзисторы?
3. Сколько PN-переходов содержит биполярный транзистор?
4. Чем отличаются транзисторы различных типов?
5. Нарисуйте условные графические обозначения транзисторов различных типов. Запишите названия выводов на рисунке.
6. Какие приборы необходимы для снятия характеристик транзистора?
7. Нарисуйте входные и выходные характеристики транзистора. Расскажите о процессах, соответствующих характерным участкам ВАХ.
8. Перечислите основные параметры транзисторов. Охарактеризуйте каждый из них.
9. Как определить  $h$ -параметры по характеристикам транзистора?
10. Поясните особенности и область применения биполярных транзисторов.

### **Порядок выполнения работы**

Собрать схему исследования транзистора, изображенную на рисунке 21. Для исследования используется транзистор MPS3709 (nation11), отечественный аналог – КТ3102А.



7. Установить на генераторе тока G1 ток  $I_{B1}=100$  мкА.
8. Изменяя значение напряжения генератора G1 от 0,1 до 35 В, записать соответствующие значения тока  $I_K$  (амперметр PA2) в таблицу.
9. Повторить измерения при входных токах  $I_{B2}=300$  мкА и  $I_{B3}=500$  мкА.
10. По результатам измерений построить входные и выходные характеристики транзистора.
11. Определить  $h$ -параметры транзистора по полученным характеристикам.
12. Сделать вывод. Вывод должен содержать описание теоретических положений, подтвержденных экспериментально в процессе выполнения работы.

# Лабораторная работа №4

## Исследование полевого транзистора

**Цель работы:** снятие и анализ стоко-затворных и стоковых характеристик полевого транзистора. Определение крутизны характеристики и активной выходной проводимости.

### **Вопросы для самоподготовки:**

1. Что такое полевой транзистор?
2. Из каких материалов изготавливаются транзисторы?
3. Сколько PN-переходов имеет полевой транзистор?
4. Чем отличаются транзисторы различных типов?
5. Нарисуйте условные графические обозначения транзисторов различных типов. Запишите названия выводов на рисунке.
6. Какие приборы необходимы для снятия характеристик транзистора?
7. Нарисуйте стоко-затворные и стоковые характеристики транзистора. Расскажите о процессах, соответствующих характерным участкам ВАХ.
8. Перечислите основные параметры транзисторов. Охарактеризуйте каждый из них.
9. Как определить крутизну стоко-затворной характеристики и активную выходную проводимость?
10. Поясните особенности работы и область применения полевых транзисторов.

### **Порядок выполнения работы**

Собрать схему исследования транзистора, изображенную на рис. 7.



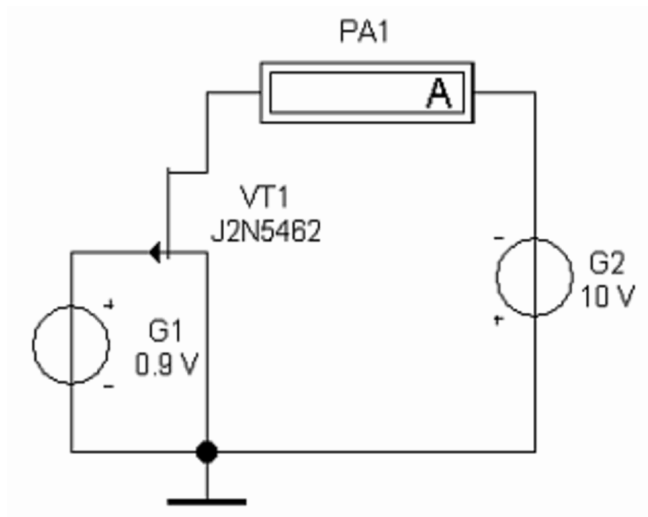


Рисунок 7 – Схема для исследования полевого транзистора.

2. Нарисовать таблицу для построения стоко-затворных характеристик (см. таблица 5).
3. Произвести измерения и занести результаты в таблицу.

Таблица 5 – Данные для построения стоко-затворных характеристик.

Напряжение затвор – исток $U_{зи}$ , В		0	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5
Ток стока $I_{сн}$ , мА, при напряжении сток – исток $U_{сн}$ В	2						
	10						

4. Нарисовать таблицу для построения семейства стоковых характеристик (см. таблица 6).
5. Произвести измерения и занести результаты в таблицу.

Таблица 6 – Данные для построения стоковых характеристик.

Напряжение сток – исток $U_{сн}$ , В		1	2	3	5	8	9	10
Ток стока $I_c$ , мА, при напряжении затвор – исток $U_{зи}$ , В	0							
	0,6							
	1,2							

6. Построить стоко-затворные и стоковые характеристики в координатных осях.

7. Определить необходимые параметры и рассчитать крутизну стоко-затворной характеристики и активную выходную проводимость.

8. Сделать вывод.

## Лабораторная работа №5

### Исследование усилителя синусоидальных сигналов

**Цель работы:** построение и изучение свойств усилителя синусоидальных сигналов. Изучение работы осциллографа.

#### **Вопросы для самоподготовки:**

1. Что такое усилители? Каково их назначение?
2. Как классифицируются усилители?
3. Что такое усилительный каскад?
4. Поясните принципы построения усилительного каскада.
5. Нарисуйте основные схемы усилителей.
6. Как производится расчет элементов усилительного каскада? Какие данные для этого необходимы?
7. Используя характеристики транзистора, построенные при выполнении лабораторной работы №3, рассчитайте усилитель с эмиттерной термостабилизацией, если напряжение питания  $E_K=25$  В, а  $I_K.\max=100$  мА.
8. Расскажите о принципах построения многокаскадных усилителей.
9. Назовите режимы работы усилителей. Поясните их особенности. В каких случаях они используются?
10. Опишите назначение элементов различных схем усилителей.

#### **Порядок выполнения работы**

Собрать схему исследования усилителя с эмиттерной термостабилизацией, изображенную на рисунке 8.

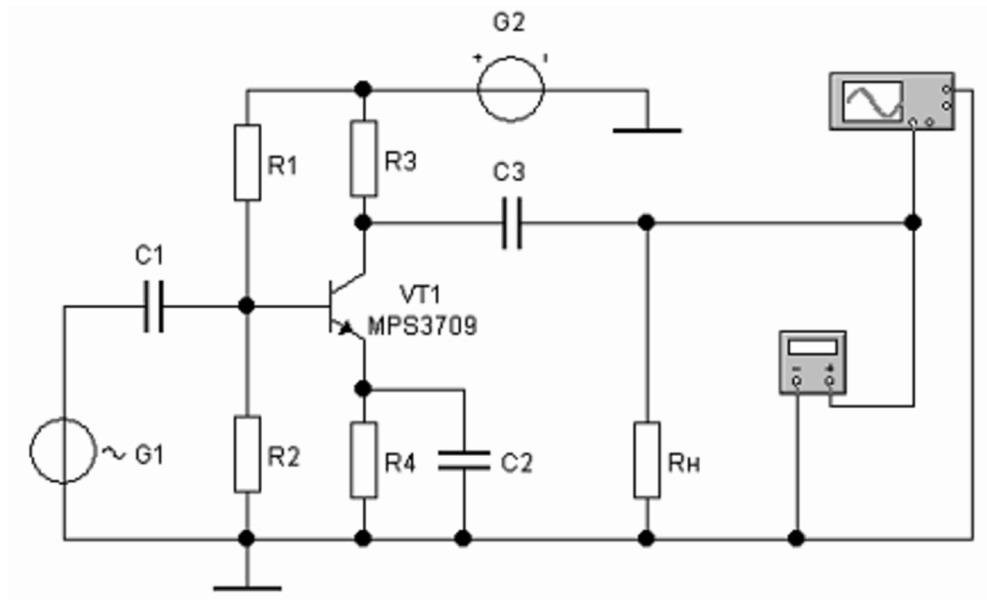


Рисунок 23 – Схема для исследования усилителя с эмиттерной термостабилизацией.

2. Используя результаты расчетов, произведенных при подготовке к работе, установить значения сопротивлений резисторов. Установить сопротивление нагрузки 10 кОм.

3. Установить на генераторе G1 напряжение входного сигнала (определяется при расчете усилителя) с частотой 3 кГц. Установить напряжение G2 равное ЕК.

4. Установить мультиметр на измерение переменного напряжения.

5. Включить схему.

6. Развернуть и настроить осциллограф изменяя чувствительность и длительность развертки. На экране можно наблюдать выходной сигнал (рисунок 9)

7. Изменяя входное напряжение (увеличить и уменьшить в 2 раза), наблюдать изменение формы выходного сигнала. Пояснить причины возникновения искажений.

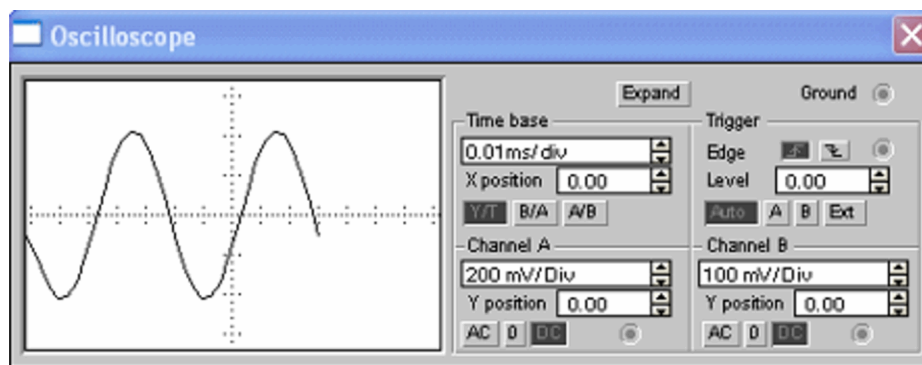


Рисунок 9 – Входной сигнал усилителя.

8. Установить максимальное входное напряжение, при котором сигнал имеет синусоидальную форму.

9. Используя показания мультиметра, определить коэффициент усиления усилителя. Сравнить его с расчетным.

10. Снять АЧХ усилителя в диапазоне от 1 Гц до 20 кГц.

11. Удалить конденсатор С2.

12. Повторно снять АЧХ усилителя. Сравнить полученные результаты. Обратит внимание на изменение напряжения выходного сигнала.

13. Сделать вывод.

# Лабораторная работа №6

## Исследование дифференциального усилительного каскада

**Цель работы:** изучение принципа действия дифференциального усилительного каскада.

### **Вопросы для самоподготовки:**

1. Что такое усилители с гальваническими связями? Каково их назначение?
2. Какие элементы могут использоваться для создания гальванических связей.
3. Почему УГС удобно изготавливать по интегральной технологии?
4. Назовите особенности схем УГС.
5. Что такое усилители с непосредственными связями? Нарисуйте схему такого усилителя.
6. Что такое усилители с потенциометрическими связями?
7. Что такое дрейф нуля?
8. Почему уменьшение приведенного дрейфа нуля сопровождается ростом чувствительности УГС?
9. Назовите причины и основные способы уменьшения дрейфа нуля.
10. Назовите достоинства дифференциального усилительного каскада.

### **Порядок выполнения работы**

1. Собрать схему дифференциального усилительного каскада, изображенную на рисунке 10.

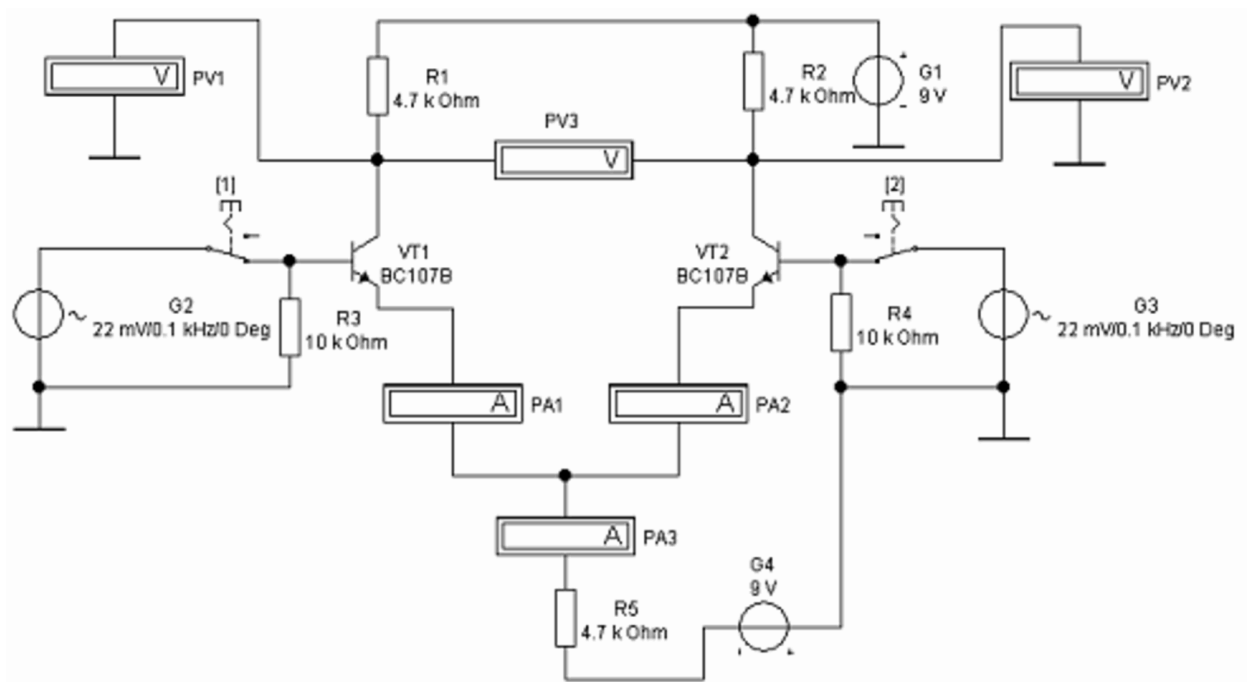


Рисунок 10 – Схема для исследования дифференциального усилительного каскада.

2. Установить вольтметры PV1 – PV3 в режим измерения переменного напряжения.
3. Установить параметры источников входных сигналов (G2 и G3) в соответствии со схемой.
4. Включить схему.
5. Наблюдать отсутствие выходного сигнала (вольтметр PV3) при поступлении синфазных сигналов одинаковой амплитуды и частоты.
6. Сохранить схему нажатием на кнопку Save.
7. Изменить амплитуду одного из сигналов
8. Записать выходное напряжение и рассчитать коэффициент усиления.
9. В меню Файл выбрать команду «Вернуться к сохраненному»-«RevertToSaved...». Нажать клавишу «Enter». Схема вернется в состояние, соответствующее пункту 6.

10. Изменить фазу одного из сигналов. Для этого в диалоговом окне AC VoltageSourceProperties (Свойства источника переменного напряжения) установите фазу (Phase) сигнала 180о (см. рисунок 11).

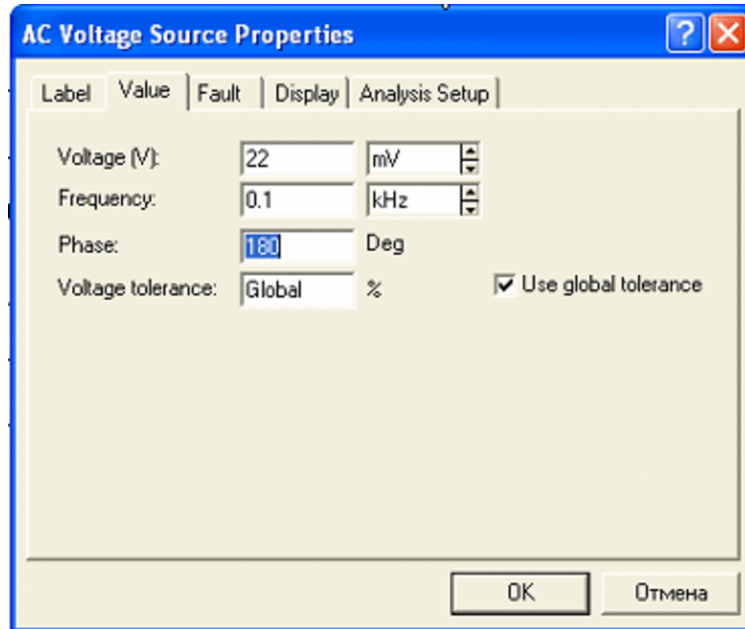


Рисунок 11 – Свойства источника переменного напряжения.

11. Включить схему.

12. Записать выходное напряжение и рассчитать коэффициент усиления.

13. Изменяя другие параметры по своему усмотрению следить за работой схемы. Обратит внимание на показания амперметров.

14. Сделать вывод.



## Лабораторная работа №7

### Исследование электронных схем на базе операционных усилителей

**Цель работы:** изучение принципа действия дифференциального усилительного каскада.

#### **Вопросы для самоподготовки:**

1. Что такое операционные усилители? Каково их назначение?
2. Почему эти усилители называют операционными?
3. Как называются и для чего предназначены входы ОУ?
4. Назовите основные параметры ОУ.
5. Нарисуйте условное графическое обозначение ОУ. Запишите названия его выводов.
6. Нарисуйте структурную схему ОУ. Расскажите о назначении компонентов схемы.
7. Нарисуйте схему инвертирующего усилителя на ОУ. Чем определяется коэффициент усиления такого усилителя, по какой формуле его можно рассчитать.
8. Нарисуйте схему неинвертирующего усилителя на ОУ. Чем определяется коэффициент усиления такого усилителя, по какой формуле его можно рассчитать.
9. Что такое компаратор. Расскажите о его назначении.
10. Нарисуйте схему компаратора на ОУ. Пояснить принцип его работы.

#### **Порядок выполнения работы**

1. Собрать схему инвертирующего усилителя на ОУ, изображенную на рисунке 12.

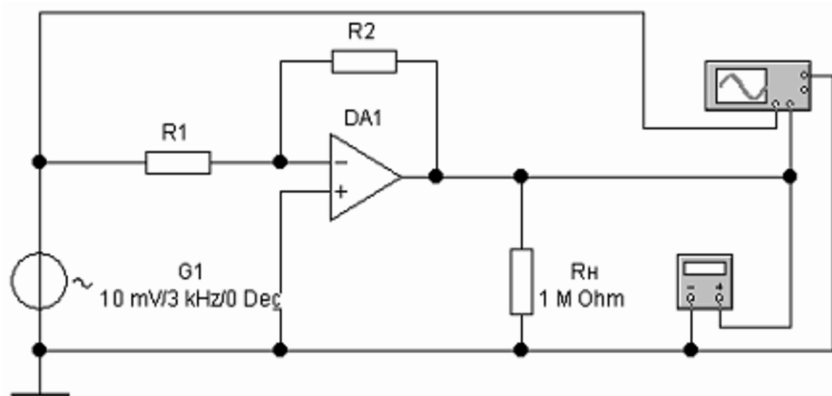


Рисунок 12 – Схема для исследования инвертирующего усилителя на ОУ.

2. Установить значение сопротивления резистора  $R1=1\text{кОм}$ .
3. Рассчитать значение сопротивления резистора  $R2$  для коэффициента усиления  $KU = [\text{Ваш номер по журналу}] \times 5$ .
4. Установить значение сопротивления резистора  $R2$ .
5. Установить мультиметр на измерение переменного напряжения.
6. Включить схему.
7. Записать показания мультиметра и рассчитать коэффициент усиления.
8. Развернуть и настроить осциллограф, изменяя чувствительность и длительность развертки. На экране можно наблюдать входной и выходной сигналы (см. рисунок 13)

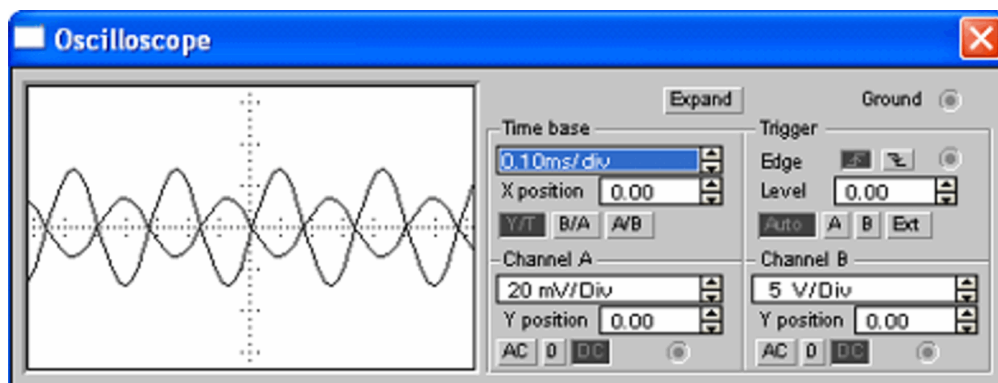


Рисунок 13 – Осциллограммы входного и выходного сигналов.

9. Собрать схему неинвертирующего усилителя на ОУ, изображенную на рисунке 14.

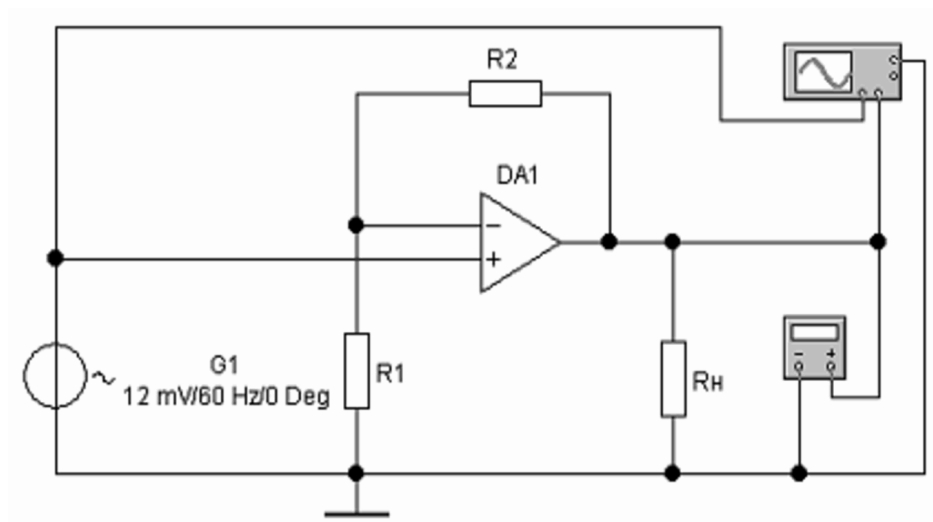


Рисунок 14 – Схема для исследования неинвертирующего усилителя на ОУ.

10. Установить значение сопротивления резистора  $R1=2\text{кОм}$ .
11. Рассчитать значение сопротивления резистора  $R2$  для коэффициента усиления, предложенного в пункте 3.
12. Установить значение сопротивления резистора  $R2$ .
13. Установить мультиметр на измерение переменного напряжения.
14. Включить схему.
15. Записать показания мультиметра и рассчитать коэффициент усиления.
16. Развернуть и настроить осциллограф, изменяя чувствительность и длительность развертки. На экране можно наблюдать входной и выходной сигналы (рисунок 15).

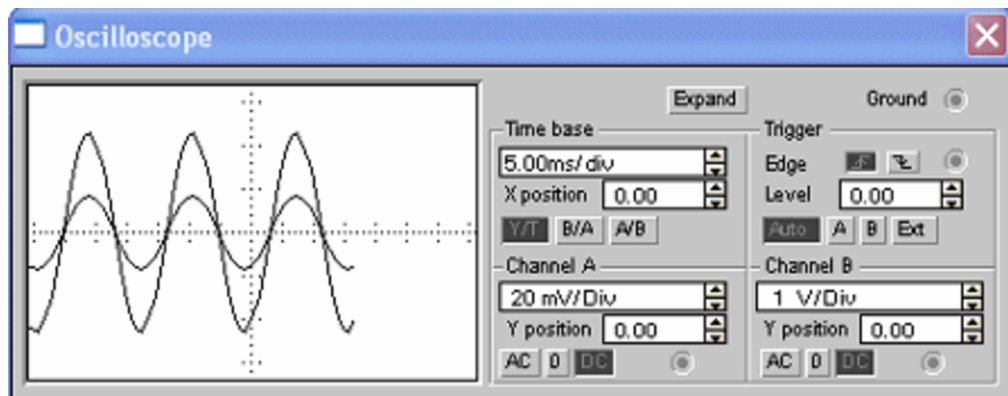


Рисунок 15 – Осциллограммы входного и выходного сигналов.

17. Собрать схему компаратора на ОУ, изображенную на рисунке 16.

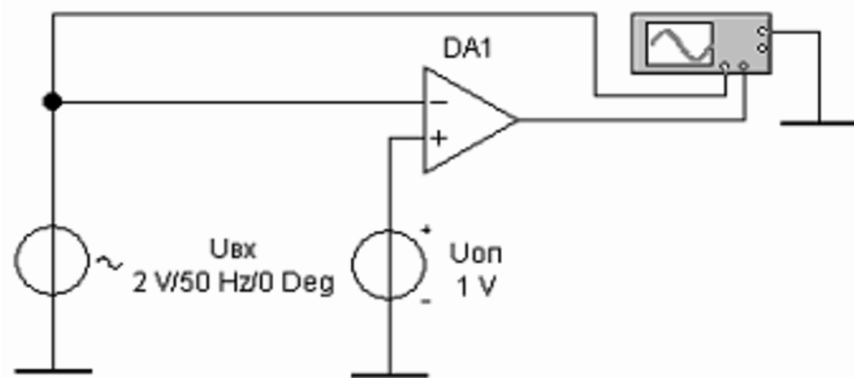


Рисунок 16 – Схема для исследования компаратора на ОУ.

18. Установить значения опорного и входного напряжения, в соответствии с рисунком 16.

19. Включить схему.

20. Развернуть и настроить осциллограф, изменяя чувствительность и длительность развертки. На экране можно наблюдать входной и выходной сигналы (рисунок 17).

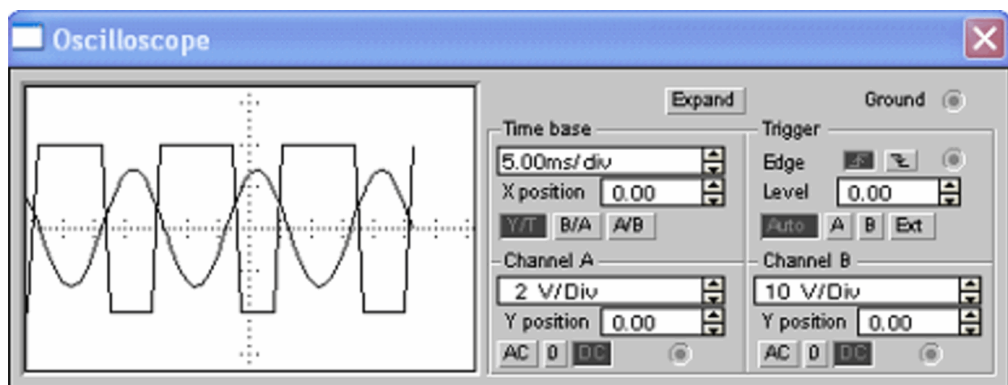


Рисунок 17 – Осциллограммы входного и выходного сигналов.

21. Сделать вывод.

## Лабораторная работа №8

### Исследование генератора гармонических колебаний

**Цель работы:** Построение схемы и изучение принципа работы генератора гармонических колебаний.

**Вопросы для самоподготовки:**

1. Что такое генератор гармонических колебаний? Каково его назначение.
2. Нарисуйте структурную схему автогенератора. Поясните назначение элементов схемы.
3. Назовите условия самовозбуждения генератора. Расскажите подробно о каждом из них.
4. Поясните понятия «мягкий» и «жесткий» режимы самовозбуждения.
5. Как получить на выходе синусоидальный сигнал определенной частоты?
6. Назовите причины, вызывающие нарушение стабильности частоты автогенератора.
7. Что такое кварцевый резонатор?
8. Нарисуйте схему и поясните работу LC-автогенератора с индуктивной связью.
9. Нарисуйте схему и поясните работу трехточечных схем автогенератора. По каким формулам определяется частота генерации?
10. В каких случаях применяются RC-генераторы?
11. Нарисуйте и поясните работу RC-генератора с мостом Вина.
12. Нарисуйте и поясните работу RC-генератора с двойным T-образным мостом.

## Порядок выполнения работы

1. Собрать схему автогенератора, изображенную на рисунке 18.

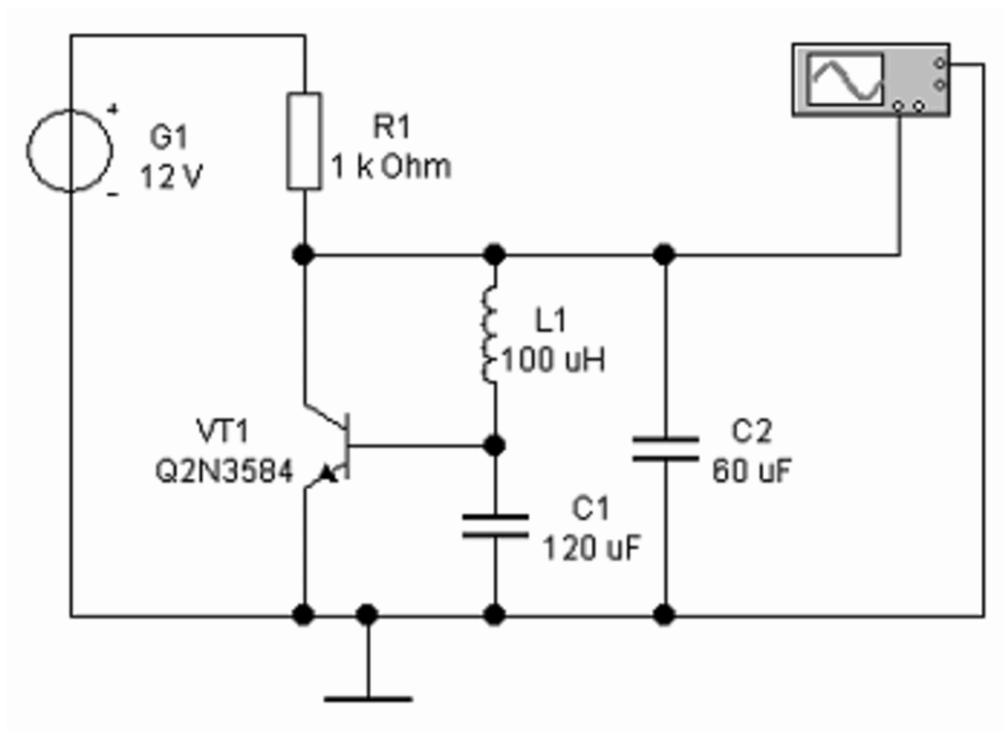


Рисунок 18 – Схема для исследования автогенератора, собранного по схеме емкостной трехточки.

2. Установить значения параметров элементов в соответствии со схемой (рекомендуется использовать полученные при расчете).
3. Включить схему.
4. Развернуть и настроить осциллограф, изменяя чувствительность и длительность развертки.
5. Остановить процесс.
6. Нажать на осциллографе кнопку «Expand».
7. На экране можно просмотреть запись осциллограммы, начиная от момента включения схемы (рисунок 19).

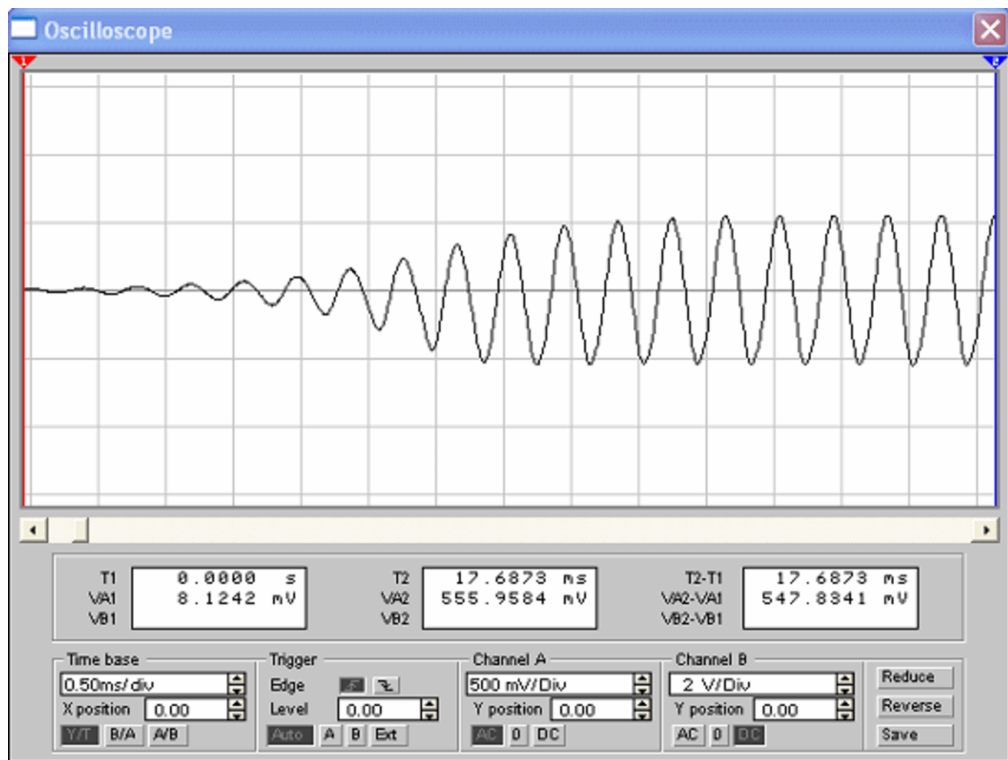


Рисунок 19 – Наблюдение самовозбуждения генератора.

8. Произвести расчет схемы для заданной частоты - рассчитывается по формуле:

$$f = [\text{порядковый номер по журналу}] * 1000 \text{ Гц} \quad (1)$$

9. Подставить в схему полученные значения.

10. Повторить пункты 3 – 6.

11. Установить маркеры 1 и 2 (синий и красный) так, как показано на рисунке 36, добиваясь, чтобы разность VA2-VA1 была как можно ближе к нулю.

12. Определив период колебаний из строки T2-T1, рассчитать частоту генерации и сравнить результат с расчетным.

13. Собрать схему автогенератора, изображенную на рисунке 20.

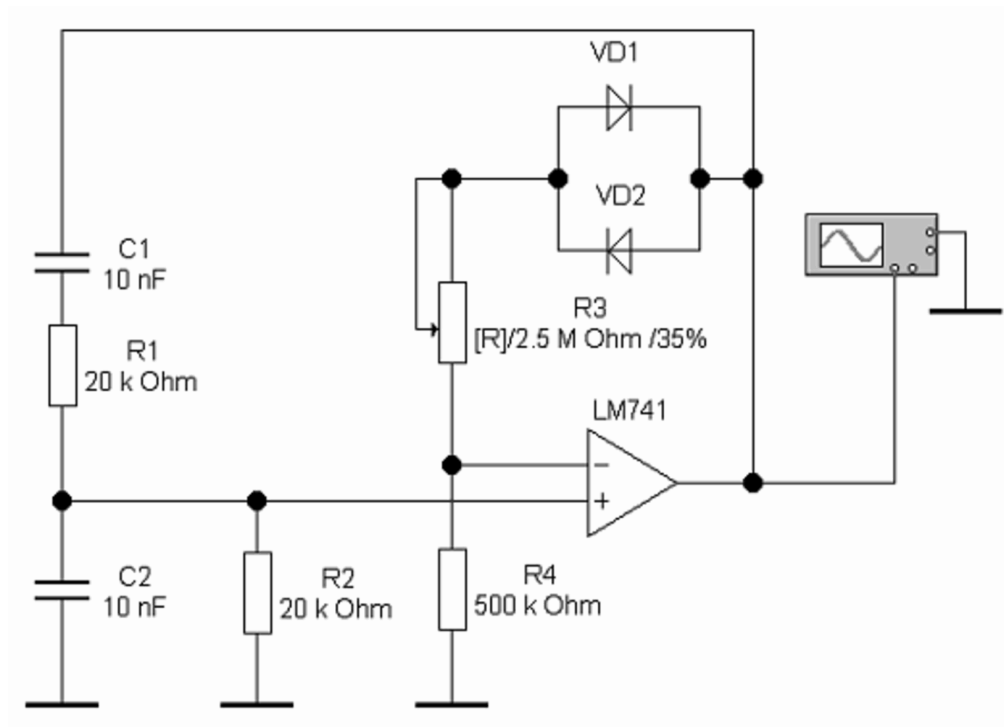


Рисунок 20 – Схема для исследования автогенератора на ОУ с мостом Вина.

14. Установить значения параметров элементов в соответствии со схемой.
15. Включить схему.
16. Развернуть и настроить осциллограф, изменяя чувствительность и длительность развертки.
17. Настроить генератор, изменяя сопротивление переменного резистора с помощью клавиш [R] (уменьшение сопротивления) и комбинации [Shift]+[R] (увеличение сопротивления).
18. Остановить процесс.
19. Нажать на осциллографе кнопку «Expand».



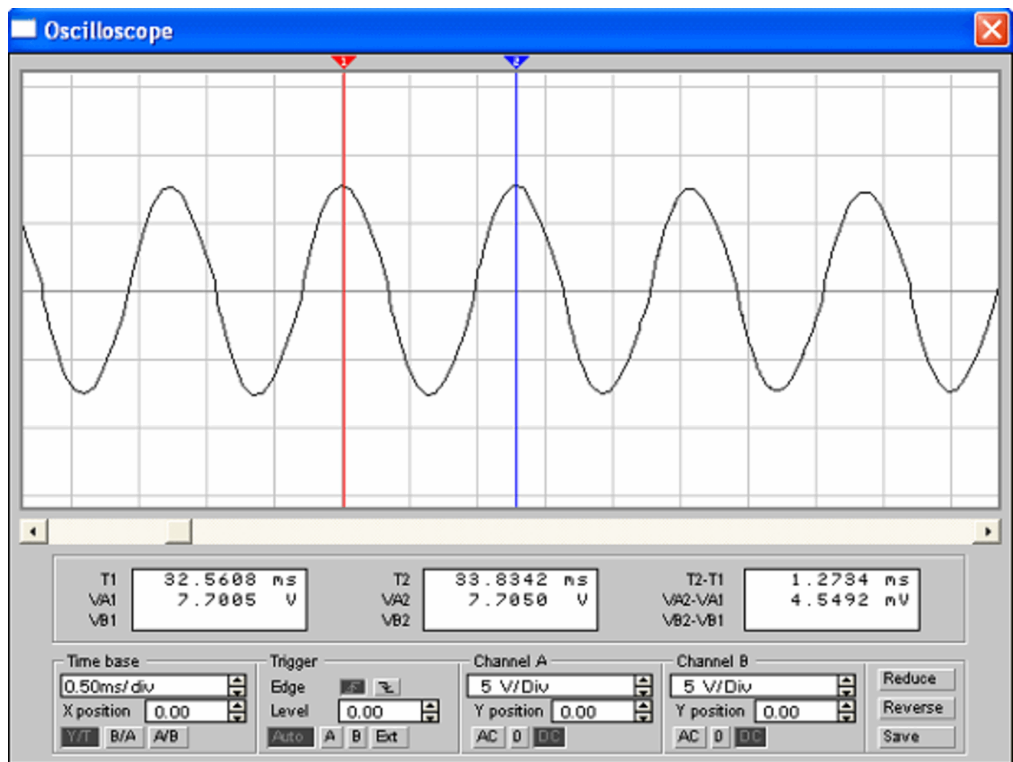


Рисунок 21 – Осциллограммы напряжения на конденсаторе и выходного сигнала.

20. Установить визирные линии 1 и 2 (синяя и красная) так, как показано на рисунке 36, добиваясь, чтобы разность  $VA2-VA1$  была как можно ближе к нулю.

21. Определив период колебаний из строки  $T2-T1$ , рассчитать частоту генерации.

22. Рассчитать частоту генерации, используя параметры элементов схемы. Сравнить результаты с полученными опытным путем.

23. Сделать вывод.

## Лабораторная работа №9

### Исследование интегрирующих и дифференцирующих цепей

**Цель работы:** Построение схем и изучение принципа работы интегрирующих и дифференцирующих цепей.

**Вопросы для самоподготовки:**

1. Расскажите о назначении и элементном составе времязадающих цепей?
2. В каких случаях применяются дифференцирующие цепи?
3. Нарисуйте схему дифференцирующей цепи и поясните принцип ее работы.
4. Запишите формулу для определения постоянной времени.
5. Какие параметры выходного сигнала зависят от постоянной времени?
6. При каких условиях данная цепь является дифференцирующей?
7. В каком случае прекратиться операция дифференцирования и цепь станет разделительной?
8. Рассчитать номиналы компонентов R и C дифференцирующей цепи при подаче на ее вход прямоугольного импульса длительностью  $t_{и.вх} = ([\text{Ваш номер по журналу}] + 10)$  мкс. Паразитная емкость на выходе цепи  $C_{пар} = 10$  пФ. Внутреннее сопротивление генератора входного сигнала  $R_{г} = 100$  Ом (см. рисунок 22).
9. В каких случаях применяются интегрирующие цепи?
10. Нарисуйте схему интегрирующей цепи и поясните принцип ее работы.
11. Рассчитайте амплитуду выходного сигнала интегрирующей цепи при подаче на его вход прямоугольного импульса с амплитудой  $E = 10$  В и

длительностью  $t_{и.вх} = 100 \text{ мкс}$ .  $R_1 = 56 \text{ кОм}$ ,  $C = 0,02 \text{ мкФ}$ , Сопротивление генератора входного сигнала –  $120 \text{ Ом}$ . Как измениться амплитуда входного сигнала при подключении нагрузки  $R_n = 5,6 \text{ кОм}$ .

12. Нарисуйте схемы интегратора и дифференциатора на ОУ и поясните их принцип работы.

### Порядок выполнения работы

1. Собрать схему дифференцирующей цепи, изображенную на рисунке 22.

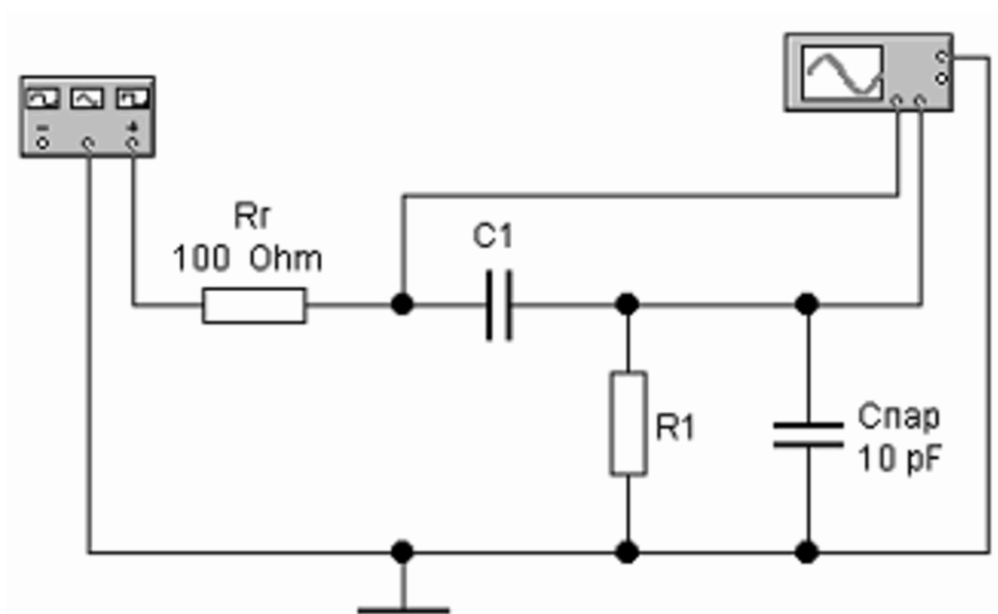


Рисунок 22 – Схема для исследования дифференцирующей RC-цепи.

2. Установить номиналы элементов дифференцирующей цепи в соответствии с результатами расчетов (пункт 8 вопросов для самоподготовки).

3. Настроить функциональный генератор в соответствии с рисунком 38. Частота  $50 \text{ кГц}$  соответствует длительности импульса  $10 \text{ мкс}$  при коэффициенте заполнения  $50\%$ . Рассчитать частоту для длительности импульса вашего задания и задать параметры входного сигнала

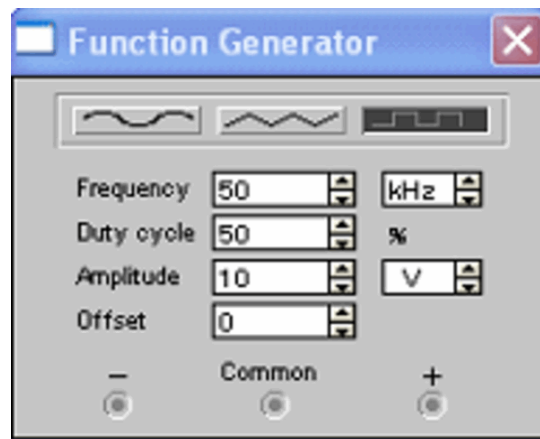


Рисунок 23 – Установка параметров выходного сигнала функционального генератора.

4. Включить схему.

5. Развернуть и настроить осциллограф, изменяя чувствительность и длительность развертки. Наблюдать входной сигнал и результат его обработки дифференцирующей цепью (рисунок 24).

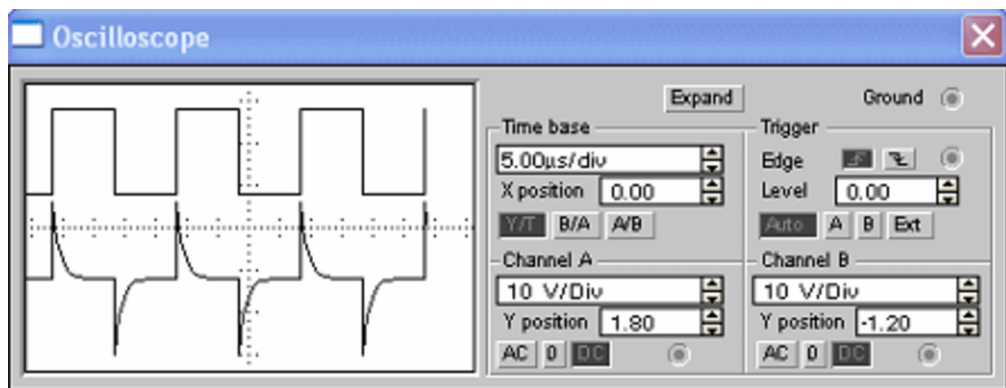


Рисунок 24 – Осциллограммы входного и выходного напряжения.

6. Используя показания осциллографа рассчитать параметры выходного импульсного сигнала.

7. Изменяя параметры элементов проследить за изменениями выходного сигнала.

8. Собрать схему интегрирующей цепи, изображенную на рисунке 25.

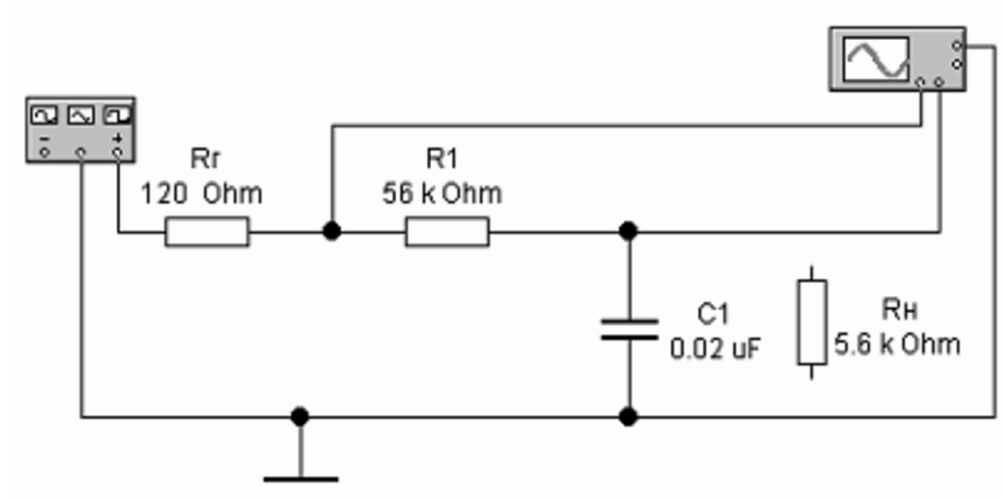


Рисунок 25 – Схема для исследования интегрирующей RC-цепи.

9. Настроить функциональный генератор в соответствии с рисунком 26.

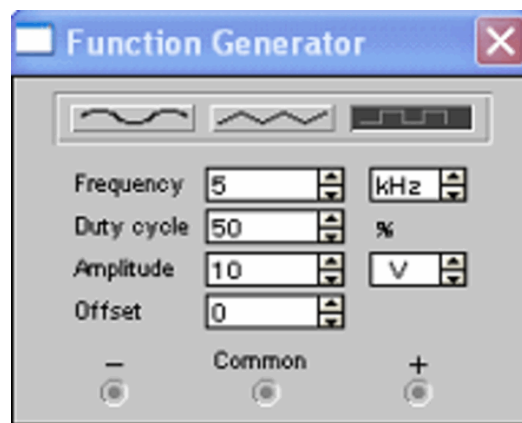


Рисунок 26 – Установка параметров выходного сигнала функционального генератора.

10. Установить параметры семы в соответствии с пунктом 11 вопросов для самоподготовки.

11. Включить схему.

12. Развернуть и настроить осциллограф, изменяя чувствительность и длительность развертки. Наблюдать входной сигнал и результат его обработки интегрирующей цепью (рисунок 27).

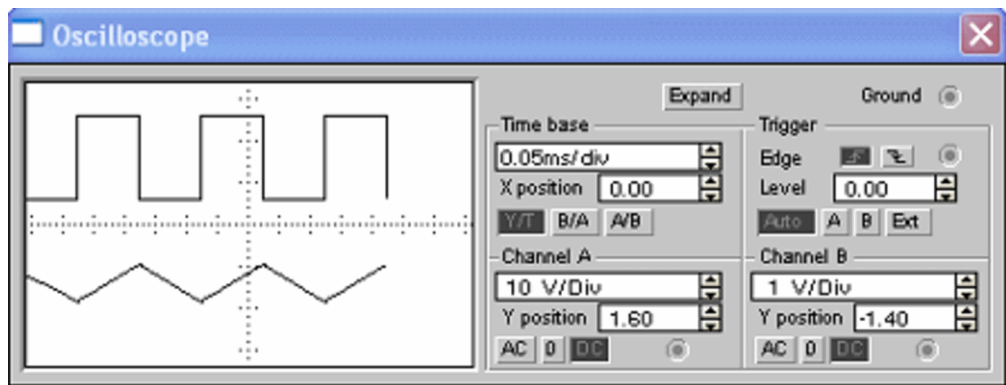


Рисунок 27 – Осциллограммы входного и выходного напряжения.

13. Используя показания осциллографа рассчитать параметры выходного импульсного сигнала. Сравнить результаты с полученными при решении задачи.
14. Включить в схему резистор нагрузки  $R_n$ . Провести измерения и сравнить результаты с полученными при решении задачи.
15. Изменяя параметры элементов проследить за изменениями выходного сигнала.
16. Повторите исследования для схем, изображенных на рисунке 28, самостоятельно выбрав настройки функционального генератора.

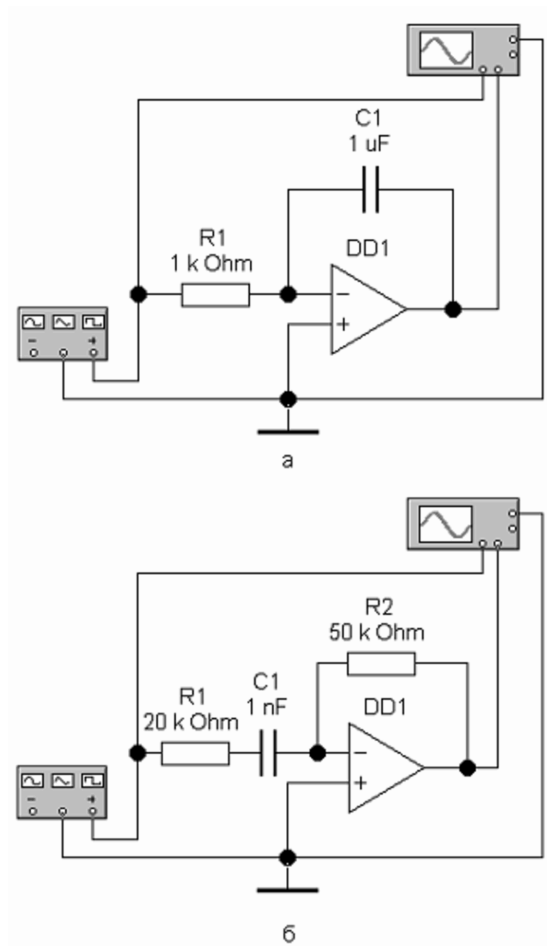


Рисунок 28 – Интегратор (а) и дифференциатор (б) на операционном усилителе.

17. Сделать вывод.

## Лабораторная работа №10

### Исследование мультивибратора на операционном усилителе

**Цель работы:** Построение схемы и изучение принципа работы мультивибратора на ОУ.

#### **Вопросы для самоподготовки:**

1. Что такое электрический импульс?
2. Что понимают под импульсным режимом работы аппаратуры?
3. Какие виды импульсов вам известны?
4. Нарисуйте видеоимпульс. Назовите его основные параметры.
5. Назовите и поясните параметры периодических импульсов.
6. Как определить скважность импульсов? Как называется величина, обратная скважности?
7. Что такое мультивибратор? Каково его назначение?
8. Нарисуйте схему мультивибратора на транзисторах. Поясните принцип работы схемы.
9. Какие еще импульсные генераторы вам известны. В чем их отличия?
10. Выполните расчет мультивибратора на ОУ по данным, предложенным преподавателем.

#### **Порядок выполнения работы**

1. Собрать схему мультивибратора на ОУ, изображенную на рисунке 29.



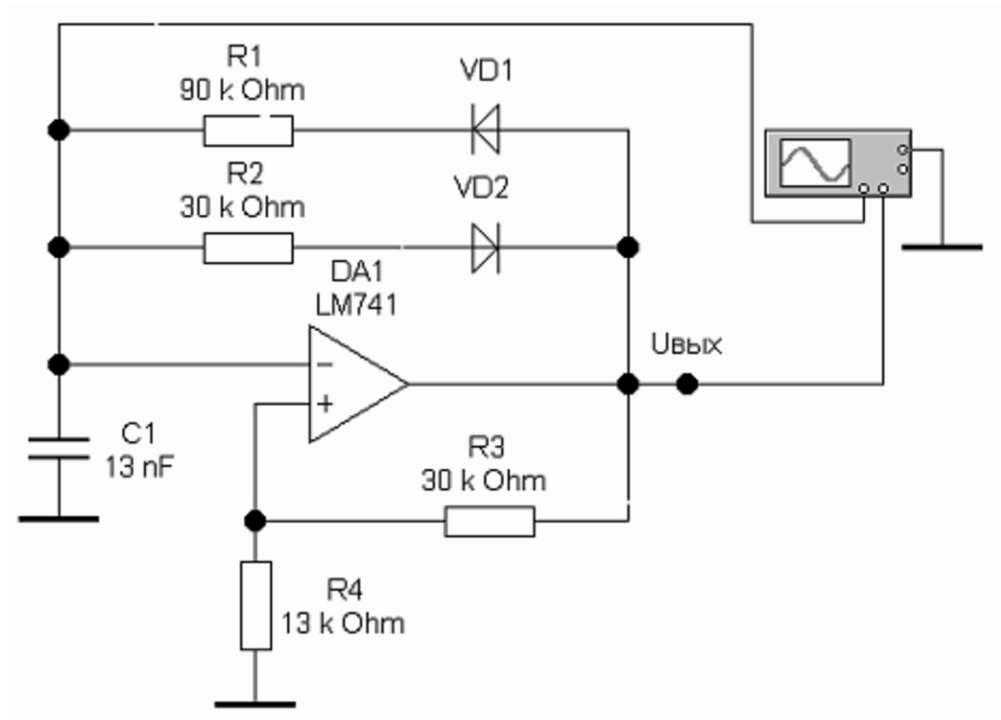


Рисунок 29 – Схема для исследования мультивибратора на ОУ.

2. Установить значения параметров элементов в соответствии со схемой (рекомендуется использовать полученные при расчете).
3. Включить схему.
4. Развернуть и настроить осциллограф, изменяя чувствительность и длительность развертки. На экране можно наблюдать изменение напряжения на конденсаторе и выходной сигнал (рисунок 30).

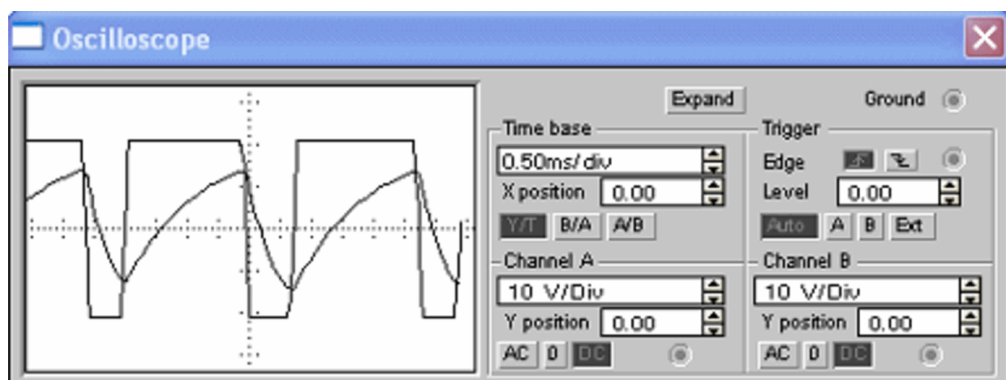


Рисунок 30 – Осциллограммы напряжения на конденсаторе и выходного сигнала.

5. Используя показания осциллографа рассчитать параметры выходного импульсного сигнала.

6. Изменяя значения сопротивления резисторов  $R_1$  и  $R_2$ , а затем емкости конденсатора  $C_1$ , проследить за изменениями выходного сигнала.

7. Сделать вывод.

# Лабораторная работа №11

## Исследование одновибратора на операционном усилителе

**Цель работы:** Построение схемы и изучение принципа работы одновибратора на ОУ.

### **Вопросы для самоподготовки:**

1. Что такое одновибратор?
2. Расскажите об области применения одновибраторов.
3. Сколько устойчивых состояний имеет одновибратор?
4. Нарисуйте схему одновибратора на операционном усилителе.
5. Расскажите о назначении элементов схемы.
6. Поясните принцип работы одновибратора.
7. Чем определяется амплитуда входных импульсов?
8. Чем ограничивается максимальная частота входных импульсов?
9. По какой формуле можно рассчитать длительность импульса, формируемого одновибратором?
10. По какой формуле можно рассчитать длительность стадии восстановления?

### **Порядок выполнения работы**

1. Собрать схему одновибратора на ОУ, изображенную на рисунке 31.

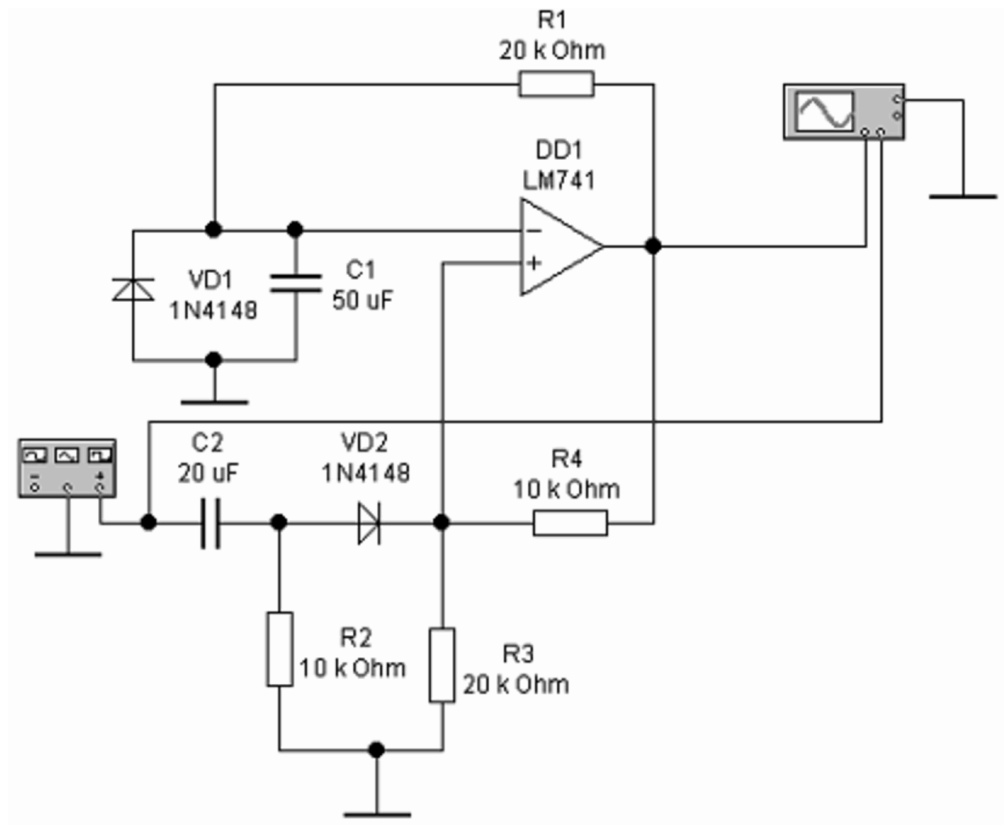


Рисунок 31 – Схема для исследования одновибратора на ОУ.

2. Установить значения параметров элементов в соответствии со схемой (рекомендуется использовать полученные при расчете).
3. Включить схему.
4. Настроить функциональный генератор (рисунок 32).
5. Развернуть и настроить осциллограф, изменяя чувствительность и длительность развертки. На экране можно наблюдать входной и выходной сигнал (рисунок 33).

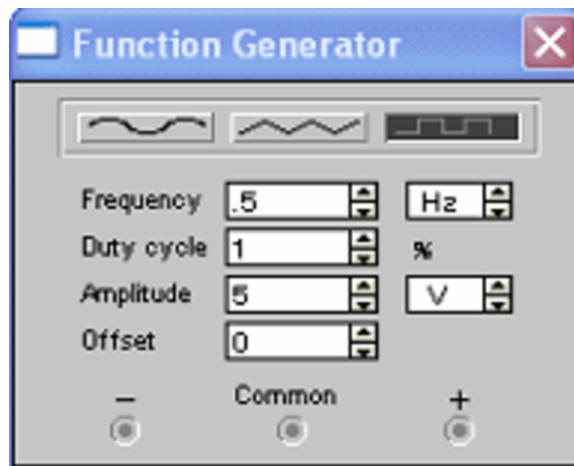


Рисунок 32 – Настройка функционального генератора.

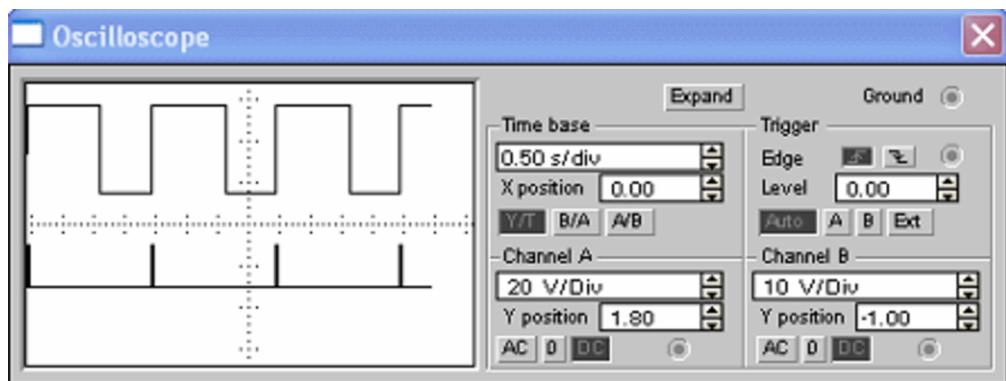


Рисунок 33 – Осциллограммы входного и выходного сигнала.

6. Используя показания осциллографа рассчитать параметры выходного импульсного сигнала.
7. Изменяя значения сопротивления резистора  $R1$  и емкости конденсатора  $C1$ , проследить за изменениями выходного сигнала.
8. Сделать вывод

## Лабораторная работа №12

### Исследование генераторов линейно изменяющегося напряжения

**Цель работы:** построение схем и изучение принципа работы генераторов линейно изменяющегося напряжения.

#### **Вопросы для самоподготовки:**

1. Что такое линейно изменяющееся напряжение? Какие типы ГЛИН вам известны?
2. Расскажите об области применения линейно изменяющегося напряжения.
3. Перечислите основные параметры линейно изменяющегося напряжения.
4. Как определить коэффициент использования напряжения источника питания?
5. Расскажите о принципе работы ГЛИН, используя единую эквивалентную схему.
6. Нарисуйте схему ГЛИН на биполярном транзисторе. Опишите принцип ее работы.
7. Нарисуйте схему ГЛИН на логическом элементе «И-НЕ». Опишите принцип ее работы.
8. Нарисуйте схему ГЛИН на операционном усилителе. Опишите принцип ее работы.

#### **Порядок выполнения работы**

1. Собрать схему генератора линейно изменяющегося напряжения, изображенную на рисунке 34.

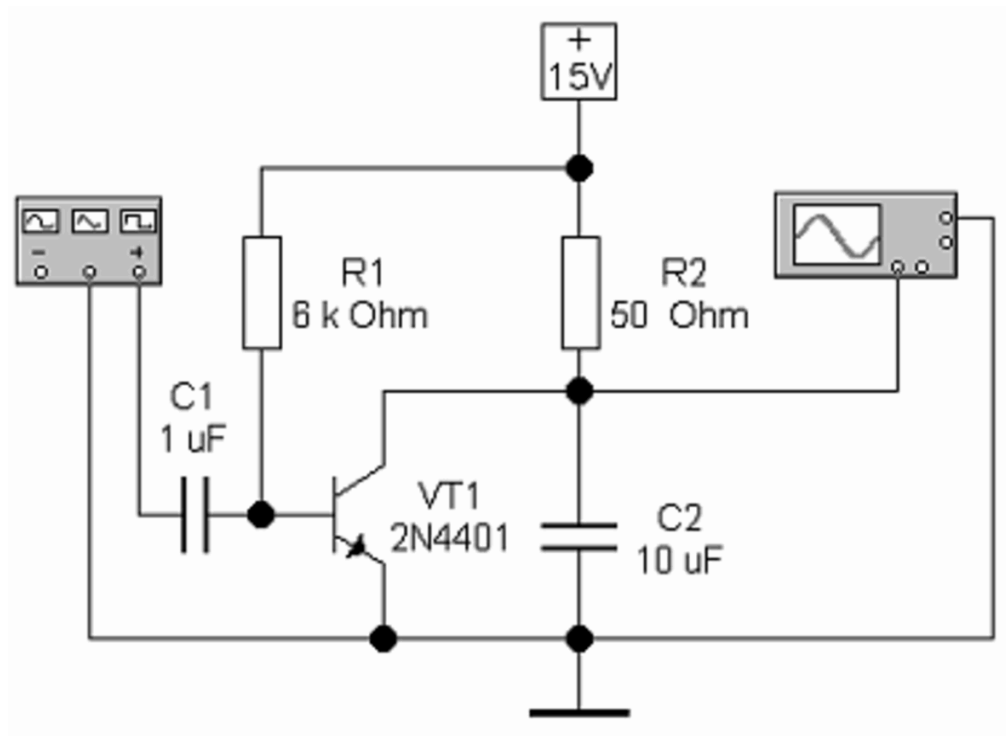


Рисунок 34 – Генератор линейно изменяющегося напряжения на биполярном транзисторе.

2. Установить значения параметров элементов в соответствии со схемой.
3. Установить параметры функционального генератора в соответствии с рисунком 35.

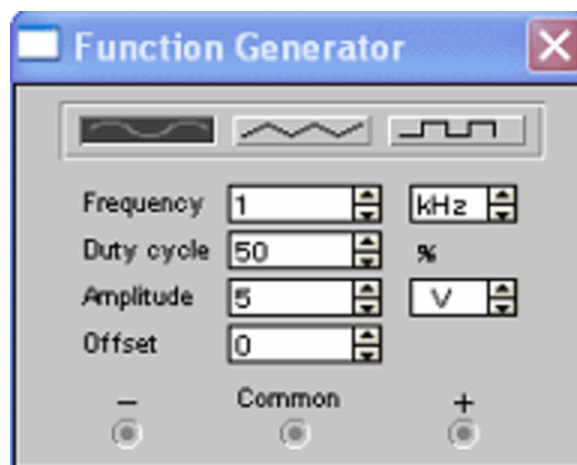


Рисунок 35 – Настройка функционального генератора.

4. Включить схему.

5. Развернуть и настроить осциллограф, изменяя чувствительность и длительность развертки. На экране можно наблюдать изменение выходного сигнала (см. рисунок 36).

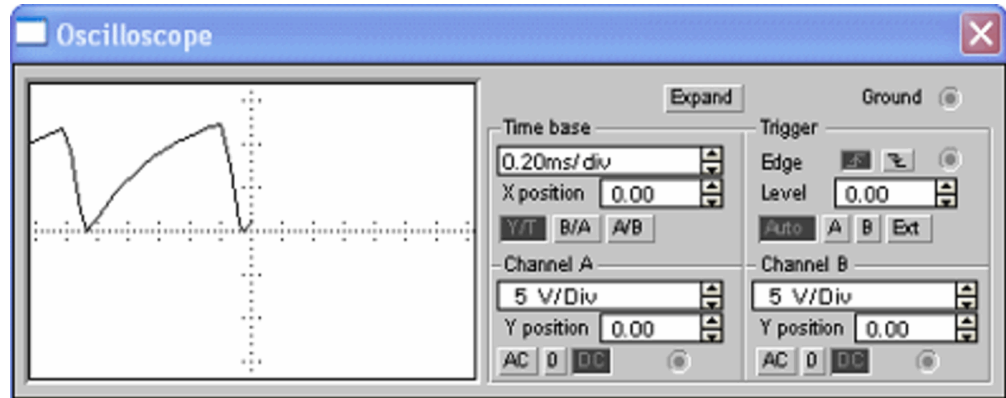


Рисунок 36 – Осциллограмма выходного напряжения.

6. Изменяя параметры схемы наблюдать за изменением выходного напряжения.

7. Собрать схему генератора линейно изменяющегося напряжения, изображенную на рисунке 37.

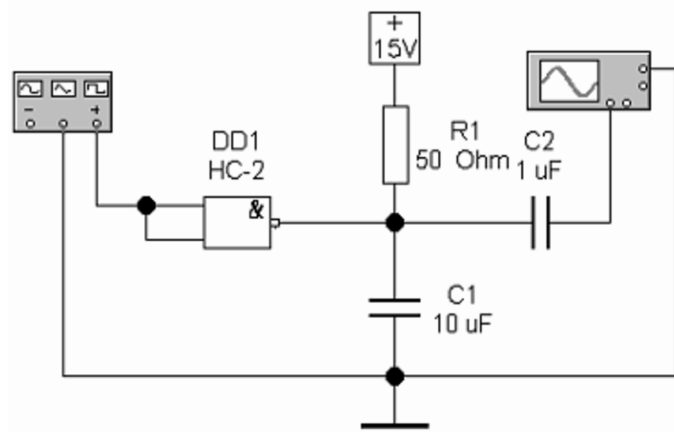


Рисунок 37 – Генератор линейно изменяющегося напряжения на логическом элементе «И-НЕ».

8. Установить значения параметров элементов в соответствии со схемой.



9. Развернуть и настроить осциллограф, изменяя чувствительность и длительность развертки. На экране можно наблюдать изменение выходного сигнала.

10. Изменяя параметры схемы наблюдать за изменением выходного напряжения.

11. Собрать схему генератора линейно изменяющегося напряжения, изображенную на рисунке 38.

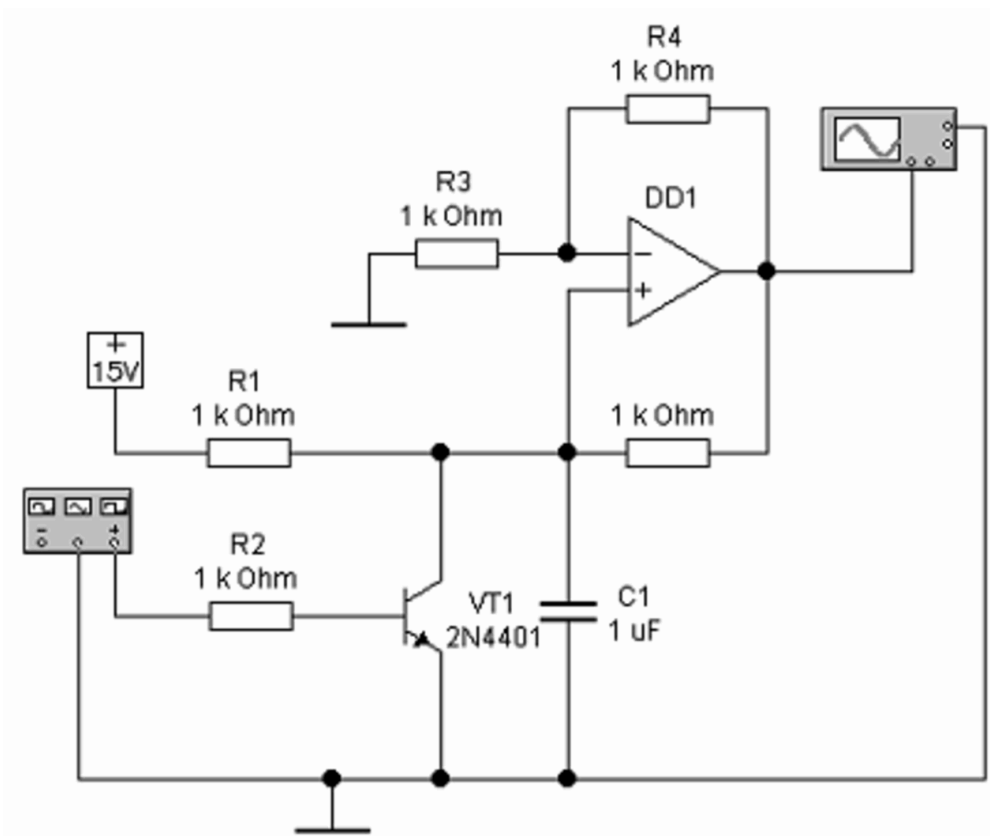


Рисунок 38 – Генератор линейно изменяющегося напряжения на операционном усилителе.

12. Установить значения параметров элементов в соответствии со схемой.

13. Установить параметры функционального генератора в соответствии с рисунком 39.

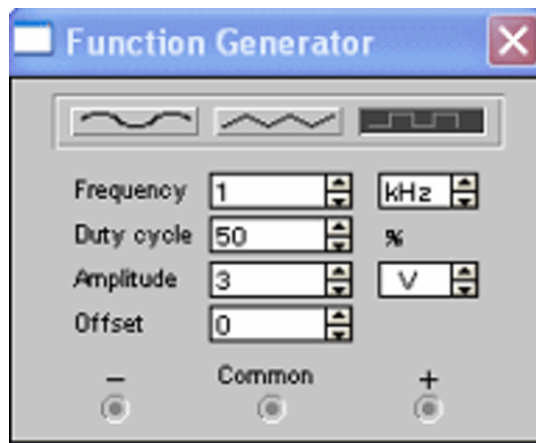


Рисунок 39 – Настройка функционального генератора.

14. Развернуть и настроить осциллограф, изменяя чувствительность и длительность развертки. На экране можно наблюдать изменение выходного сигнала.

15. Изменяя параметры схемы наблюдать за изменением выходного напряжения.

16. Сделать вывод.

## Лабораторная работа №13

### Исследование логических схем «И» и «ИЛИ»

**Цель работы:** изучение принципа действия логических схем «И» и «ИЛИ» на диодах и экспериментальное подтверждение их таблиц истинности.

#### Вопросы для самоподготовки:

1. Что такое и для чего служат логические сообщения?
2. Для чего предназначены логические операции?
3. Что такое инверсия? Как записывается эта операция? Нарисуйте условное графическое обозначение соответствующего логического элемента. Нарисуйте схему логического элемента на транзисторах.
4. Что такое дизъюнкция? Как записывается эта операция? Нарисуйте условное графическое обозначение соответствующего логического элемента. Нарисуйте схему логического элемента на транзисторах.
5. Что такое конъюнкция? Как записывается эта операция? Нарисуйте условное графическое обозначение соответствующего логического элемента. Нарисуйте схему логического элемента на транзисторах.
6. Нарисуйте условное графическое обозначение и таблицу истинности логического элемента «И-НЕ».
7. Нарисуйте условное графическое обозначение и таблицу истинности логического элемента «ИЛИ-НЕ».
8. Что такое ТТЛ-логика? Нарисуйте схему логического элемента «И-НЕ» ТТЛ-логики. Поясните принцип работы схемы.
9. Что такое МДП-логика? Нарисуйте схему логического элемента «ИЛИ-НЕ» МДП-логики. Поясните принцип работы схемы.
10. Назовите основные параметры логических интегральных микросхем.

## Порядок выполнения работы

1. Собрать схему логического элемента «И», изображенную на рисунке 40.

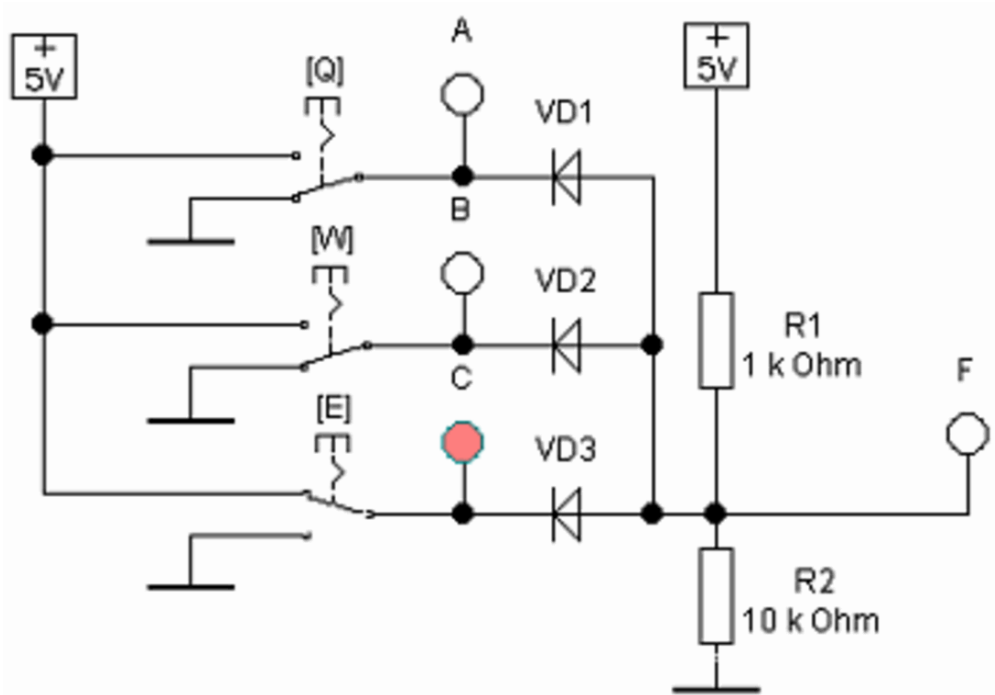


Рисунок 40 – Схема для исследования логического элемента «И».

2. Установить значения параметров элементов в соответствии со схемой.

Таблица 7 – Таблица истинности логического элемента «И».

A	B	C	F
0	0	0	
1	0	0	
0	1	0	
0	0	1	
1	1	0	
1	0	1	
0	1	1	
1	1	1	

3. Включить схему.

4. С помощью ключей (управляются клавишами [Q], [W], [E]) подать на вход схемы различные комбинации переменных A, B и C. Значения функции F занести в таблицу 7.

5. Собрать схему логического элемента «ИЛИ», изображенную на рисунке 41.

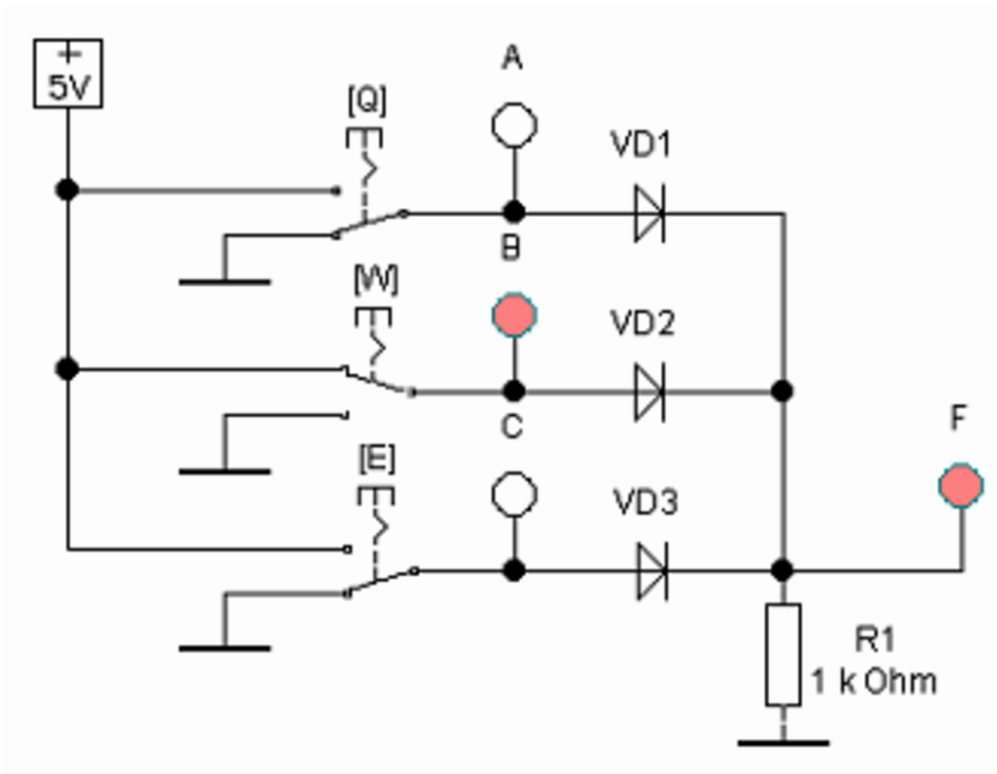


Рисунок 41 – Схема для исследования логического элемента «ИЛИ».

Таблица 8 – Таблица истинности логического элемента «ИЛИ».

A	B	C	F
0	0	0	
1	0	0	
0	1	0	
0	0	1	
1	1	0	
1	0	1	
0	1	1	
1	1	1	

6. Установить значения параметров элементов в соответствии со схемой.

7. Включить схему.

8. С помощью ключей (управляются клавишами [Q], [W], [E]) подать на вход схемы различные комбинации переменных A, B и C. Значения функции F занести в таблицу 8.

9. Сделать вывод.

## Лабораторная работа №14

### Исследование полусумматора и сумматора

**Цель работы:** построение схем и изучение принципа действия комбинационных логических схем на примере полусумматора и сумматора. Экспериментальное подтверждение таблицы истинности полусумматора.

#### **Вопросы для самоподготовки:**

1. Для чего предназначены комбинационные логические схемы?
2. Приведите примеры комбинационных логических схем.
3. Что такое система счисления? Приведите примеры позиционной и непозиционной систем счисления. Расскажите о двоичной системе счисления.
4. Что такое полусумматор?
5. Нарисуйте условное графическое обозначение и поясните назначение выводов полусумматора.
6. Нарисуйте схему полусумматора на логических элементах и поясните принцип ее работы.
7. Составьте таблицу истинности полусумматора.
8. Что такое сумматор?
9. Нарисуйте условное графическое обозначение и поясните назначение выводов сумматора.
10. Нарисуйте схему сумматора и поясните принцип ее работы.

#### **Порядок выполнения работы**

1. Собрать схему, изображенную на рисунке 42.

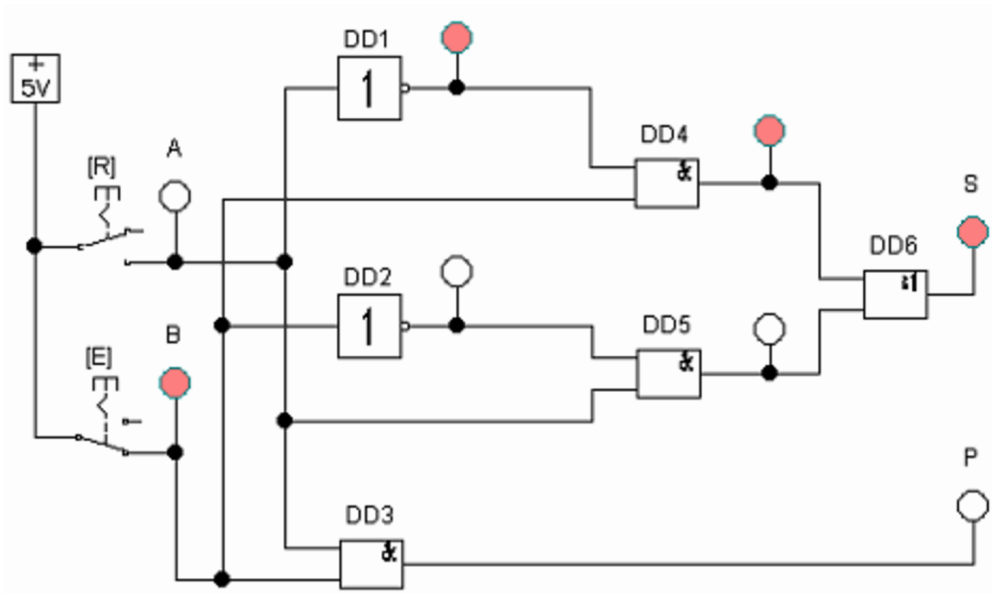


Рисунок 42 – Схема для исследования полусумматора.

2. Установить значения параметров элементов в соответствии со схемой.
3. Включить схему.
4. С помощью ключей (управляются клавишами [R] и [E]) подать на вход схемы различные комбинации одноразрядных двоичных чисел A и B. Значения выходов S и P занести в таблицу 9.

Таблица 9 – Таблица истинности полусумматора.

A	B	P	S
0	0		
1	0		
0	1		
1	1		

5. Собрать схему, изображенную на рисунке 43.

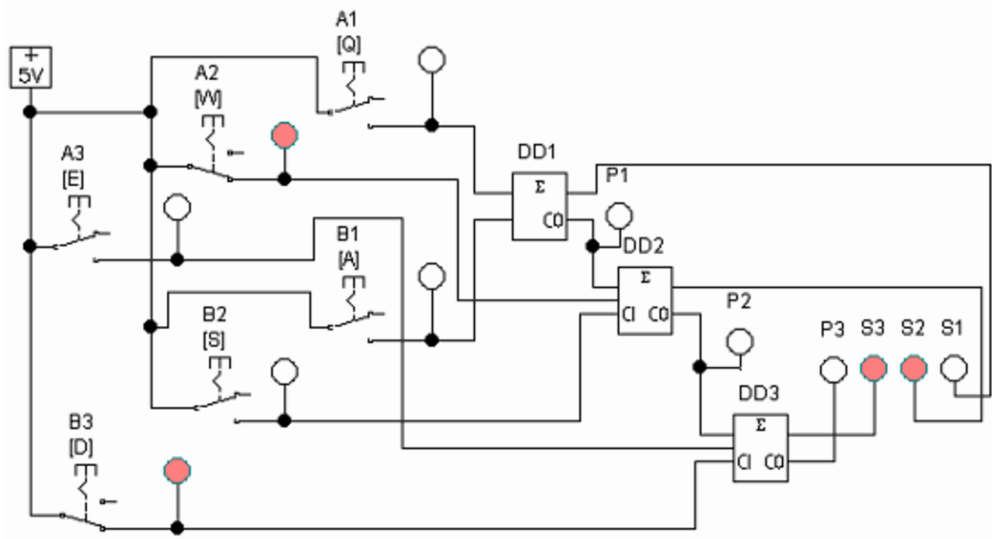


Рисунок 43 – Сумматор для сложения трехразрядных двоичных чисел.

6. Преобразовать в двоичную систему числа А (5) и В (7). Записать их поразрядно в таблицу 10 (сейчас в таблицу записаны числа 2 и 4; результат – число 6)

Таблица 10 – Результаты работы сумматора.

A3	A2	A1	B3	B2	B1	P3	S3	S2	S1
0	1	0	1	0	0	0	1	1	0

7. Повторить исследование с двумя другими цифрами. Занести результаты в таблицу.

8. Сделать вывод.



# Лабораторная работа №15

## Исследование RS-триггера

**Цель работы:** построение схемы и изучение принципа работы RS-триггера.

### **Вопросы для самоподготовки:**

1. Что такое триггер? Какие типы триггеров вам известны?
2. Нарисуйте схему RS-триггера на транзисторах, поясните принцип ее работы.
3. Нарисуйте схему асинхронного RS-триггера на логических элементах. Поясните принцип его работы.
4. Нарисуйте таблицу состояний асинхронного RS-триггера.
5. Нарисуйте схему синхронного RS-триггера на логических элементах. Поясните принцип его работы.
6. Нарисуйте схему D-триггера на логических элементах. Поясните принцип его работы.
7. Расскажите о JK-триггерах и T-триггерах.
8. Нарисуйте схему преобразования JK-триггера в T-триггер.
9. Расскажите об области применения триггеров.

### **Порядок выполнения работы**

1. Собрать схему, изображенную на рисунке 44.
  2. С помощью ключей (управляются клавишами [W] и [Q]) подать на вход схемы комбинации значений R и S. Значения выходов занести в таблицу
- 11.

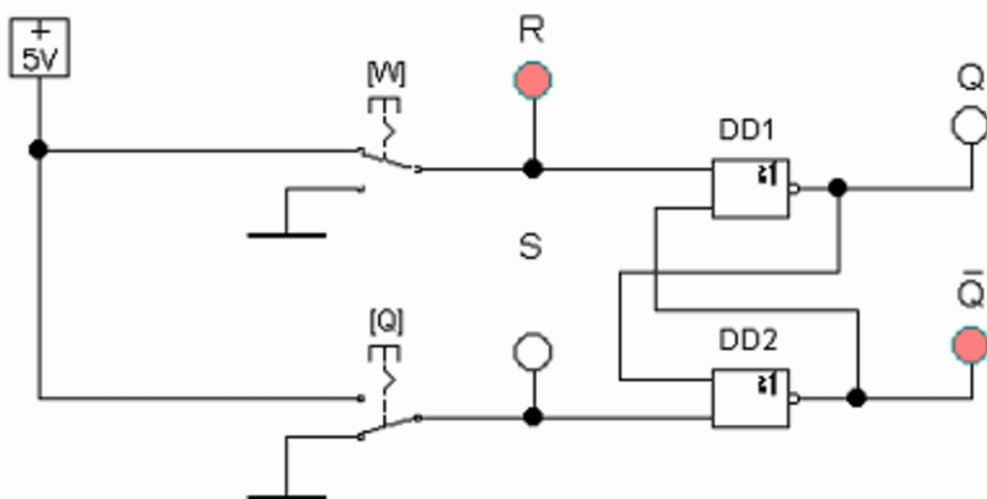


Рисунок 44 – Схема для исследования асинхронного RS-триггера.

Таблица 11 – Таблица истинности синхронного RS-триггера.

R	S	Q	не Q
0	0		
1	0		
0	1		
1	1	запрещено	

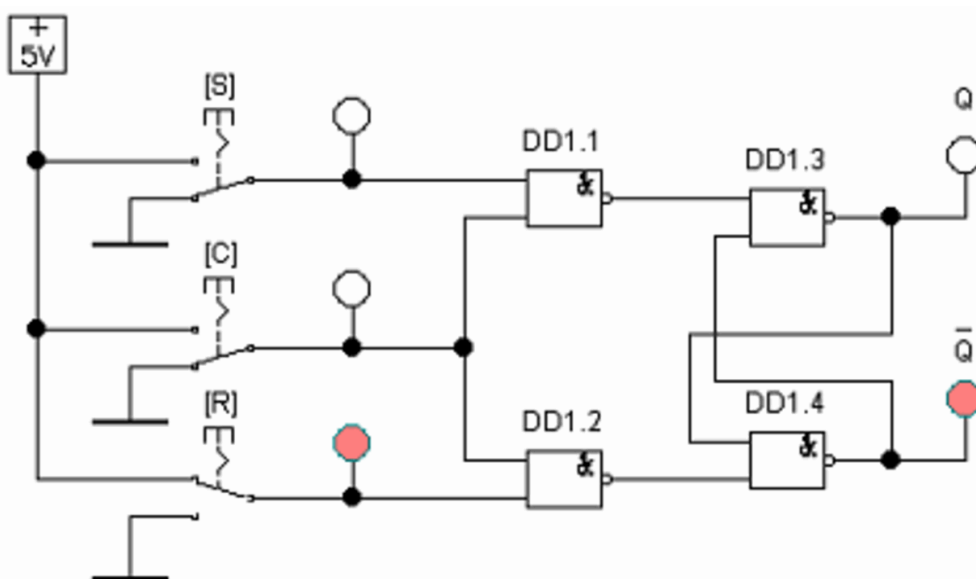


Рисунок 45 – Схема для исследования синхронного RS-триггера.

3. Собрать схему, изображенную на рисунке 45.
4. Проанализировать работу триггера в зависимости от наличия логической единицы на тактовом входе С.
5. Сделать вывод.

## Лабораторная работа №16

### Исследование последовательного и параллельного регистров

**Цель работы:** построение схем и изучение принципа работы последовательного и параллельного регистров на D-триггерах.

#### **Вопросы для самоподготовки:**

1. Что такое регистры? Каково их назначение?
2. Расскажите об устройстве регистров.
3. Как подразделяются регистры по способу ввода и вывода информации?
4. Как подразделяются регистры по характеру представления информации?
5. Какие триггеры используются для построения регистров?
6. Нарисуйте схему и опишите принцип работы последовательного регистра.
7. Какие функции может выполнять последовательный регистр?
8. Нарисуйте схему и опишите принцип работы параллельного регистра.
9. Нарисуйте схему и опишите принцип работы параллельно-последовательного регистра.
10. Расскажите о реверсивных регистрах.

#### **Порядок выполнения работы**

1. Собрать схему последовательного регистра на D-триггерах, изображенную на рисунке 46.

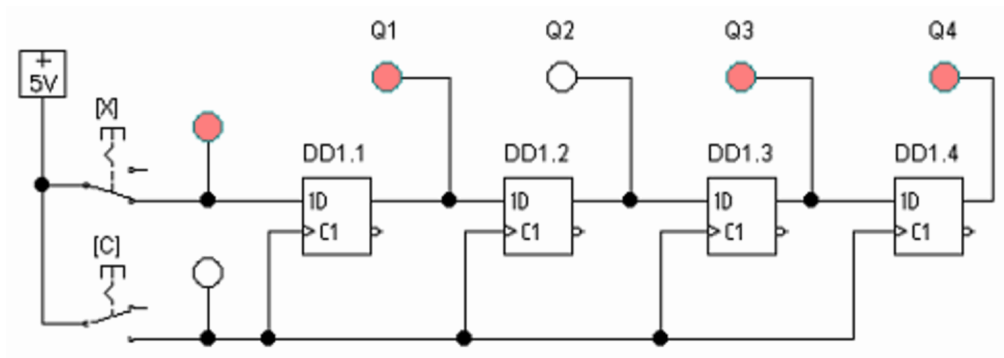


Рисунок 46 – Схема для исследования последовательного регистра.

2. Включить схему.
3. При подаче на вход X логических единиц и нулей кратковременно нажимать клавишу [C] для имитации тактового импульса. Наблюдать, как происходит запись данных в последовательный регистр.
4. Собрать схему параллельного регистра (рисунок 47).

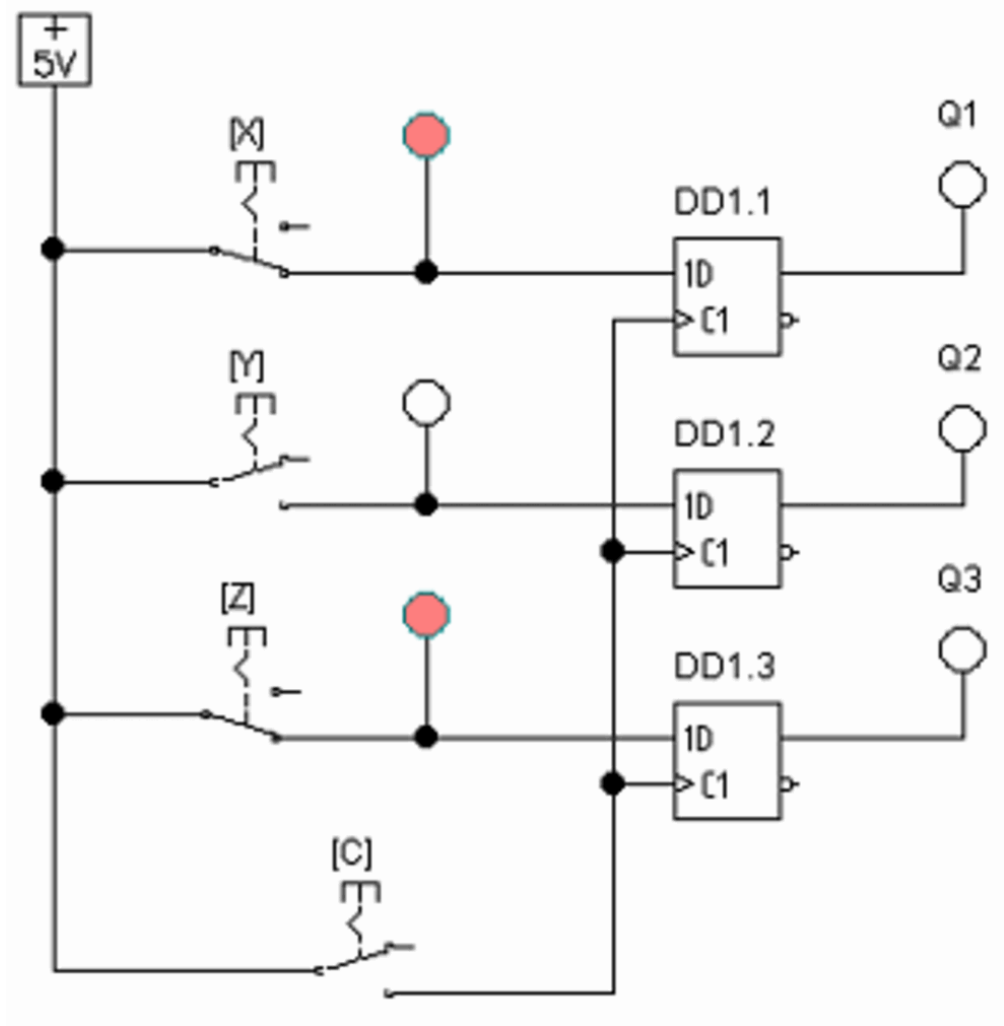


Рисунок 47 – Схема для исследования параллельного регистра

5. Подать на входы  $X$ ,  $Y$  и  $Z$  трехзначное двоичное число.
6. Кратковременным нажатием клавиши [C] имитировать тактовый импульс.
7. Наблюдать запись числа в параллельный регистр.
8. Сделать вывод.

## Лабораторная работа №17

### Исследование выпрямителей и сглаживающих фильтров

**Цель работы:** построение схем и изучение принципа работы однофазных выпрямителей и сглаживающих фильтров.

#### Вопросы для самоподготовки:

1. Что такое выпрямители? Каково их назначение?
2. Какие виды выпрямителей вам известны?
3. Нарисуйте схему и поясните принцип работы однополупериодного выпрямителя. По каким формулам можно определить параметры выходного напряжения такого выпрямителя?
4. Что такое коэффициент пульсаций? По какой формуле он определяется? Какие требования предъявляются к качеству выпрямленного напряжения при питании различных устройств?
5. Какими способами можно уменьшить пульсации выпрямленного напряжения?
6. Нарисуйте схемы и поясните принцип действия сглаживающих фильтров. Запишите формулы для определения коэффициента сглаживания фильтров.
7. Нарисуйте схему и поясните принцип работы однофазного нулевого выпрямителя (двухполупериодного). По каким формулам можно определить параметры выходного напряжения такого выпрямителя?
8. Нарисуйте схему и поясните принцип работы однофазного мостового выпрямителя (двухполупериодного). По каким формулам можно определить параметры выходного напряжения такого выпрямителя?
9. Рассчитать однофазный мостовой выпрямитель с С-фильтром (используя, например, метод Терентьева), если  $E_1=220\text{В}$ ,

$$U_n = (70 + \text{"Ваш номер по журналу"} \cdot B) \quad (2)$$

$I_n=0,1\text{A}$ ,  $q_2=0,05$ ,  $r=0,1\text{Rн}$ . Параметры диодов  $I_a$ ,  $I_{am}$ ,  $U_{обр}$ ; трансформатора  $I_2$ ,  $I_1$ ,  $E_2$ ,  $kT$ ,  $S_t$  и емкость фильтра  $C$ .

### Порядок выполнения работы

1.Собрать схему однополупериодного выпрямителя, изображенную на рисунке 48.

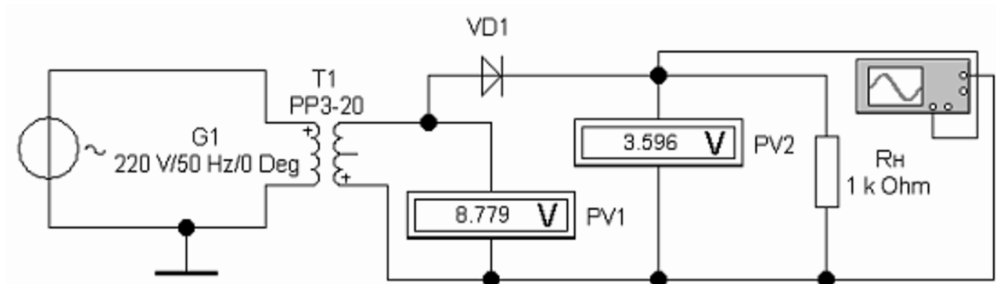


Рисунок 48 – Однополупериодный выпрямитель.

2. Установить вольтметр PV1 в режим измерения переменного напряжения (AC).

3. Включить схему.

4. По показаниям приборов определить напряжение на выходе трансформатора и выпрямленное напряжение на нагрузке (Вольтметр PV2 должен находиться в режиме измерения постоянного напряжения – DC).

5. По показаниям прибора PV1 рассчитать выпрямленное напряжение на активной нагрузке. Сравнить с экспериментально полученными данными.

6. Переключить вольтметр PV2 в режим измерения переменного напряжения. Измерить пульсации выпрямленного напряжения. Сравнить с теоретическими данными.

7. Развернуть лицевую панель осциллографа. Наблюдать форму входного и выходного напряжения выпрямителя.

8. Собрать схему однофазного нулевого выпрямителя, изображенную на рисунке 49.

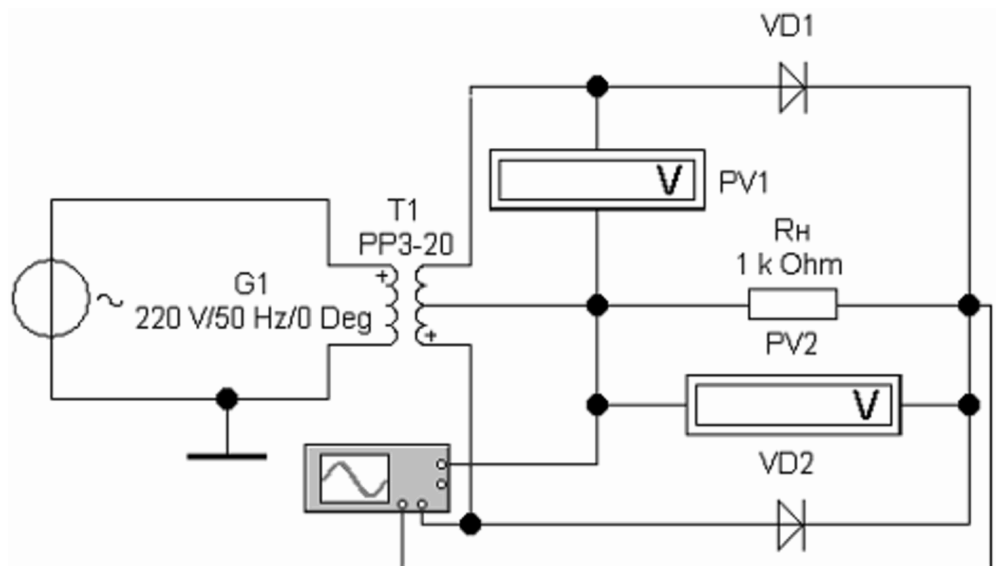


Рисунок 49 – Однофазный нулевой выпрямитель.

9. Установить вольтметр PV1 в режим измерения переменного напряжения (AC).

10. Включить схему.

11. По показаниям приборов определить напряжение на выходе первой половины вторичной обмотки трансформатора и выпрямленное напряжение на нагрузке (Вольтметр PV2 должен находиться в режиме измерения постоянного напряжения – DC).

12. По показаниям прибора PV1 рассчитать выпрямленное напряжение на активной нагрузке. Сравнить с экспериментально полученными данными.

13. Переключить вольтметр PV2 в режим измерения переменного напряжения. Измерить пульсации выпрямленного напряжения. Сравнить с теоретическими данными.

14. Развернуть лицевую панель осциллографа. Наблюдать форму входного и выходного напряжения выпрямителя.

15. Собрать схему однофазного мостового выпрямителя, изображенную на рисунке 50.



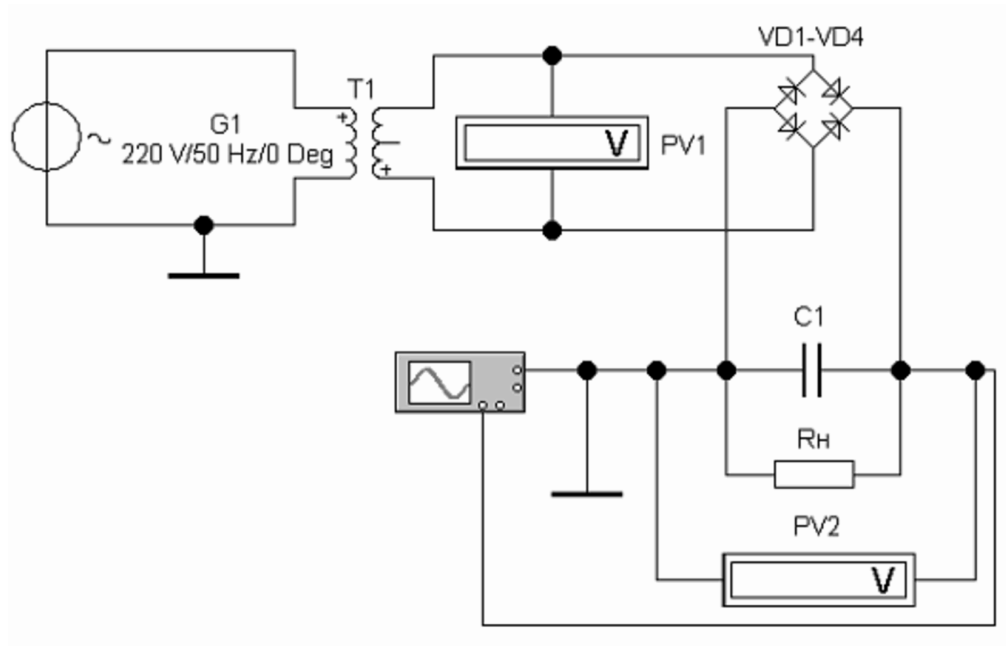


Рисунок 50 – Однофазный мостовой выпрямитель.

16. Установить параметры элементов схемы в соответствии с полученными при подготовке к лабораторной работе.

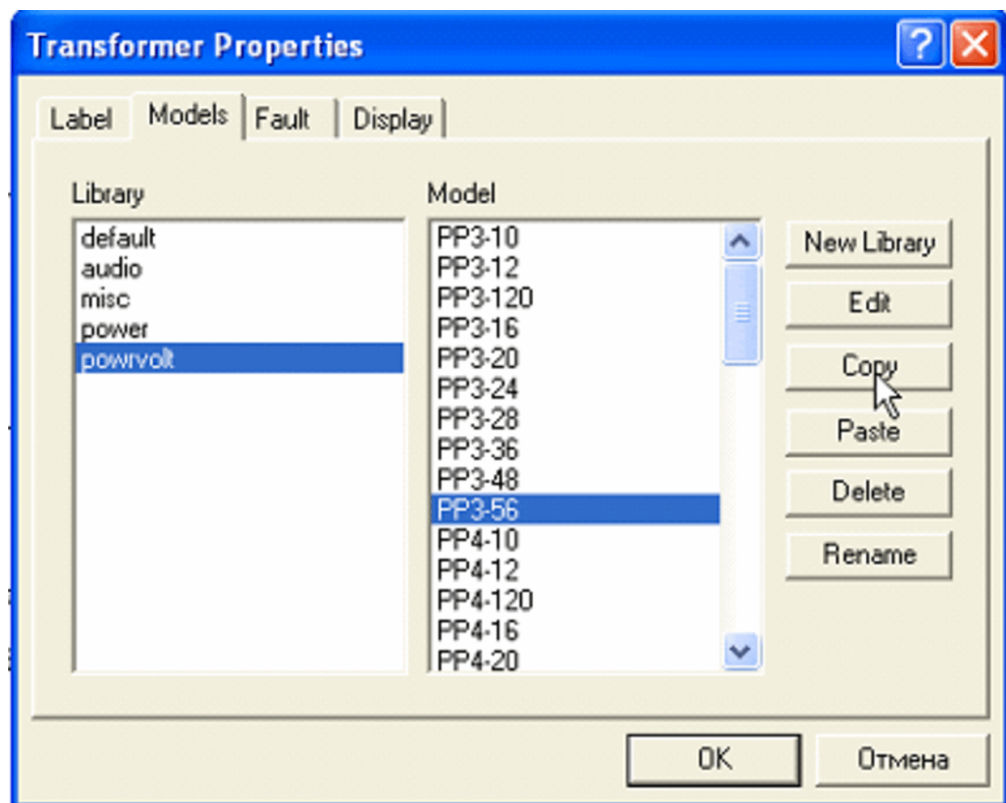


Рисунок 51 – Свойства трансформатора.

17. При установке параметров трансформатора двойным щелчком левой кнопки мыши открыть диалоговое окно «Transformer Properties» - «Свойства трансформатора». На вкладке «Models» - «Модели» из списка rowvolt выбрать произвольный трансформатор (например, PP3-56). Нажать кнопку «Copy» - «Копировать» (см. рисунок 51). Нажать кнопку «Paste» - «Вставить». В появившемся диалоговом окне вписать произвольное название трансформатора. Нажать кнопку ОК. Нажать кнопку «Edit» - «Редактировать». В открывшемся диалоговом окне «Transformer Model» - «Модель трансформатора» в строке «Primary-to-secondary turns ratio» - «Коэффициент трансформации» вписать необходимый коэффициент трансформации. В данном диалоговом окне доступны также параметры:

- Leakage inductance – Индуктивность рассеяния.
- Magnetizing inductance – Намагничивание катушки индуктивности.
- Primary winding resistance – Сопротивление первичной обмотки.
- Secondary winding resistance – Сопротивление вторичной обмотки

(см рисунок 52).

Закрывать окна, нажимая кнопку ОК.

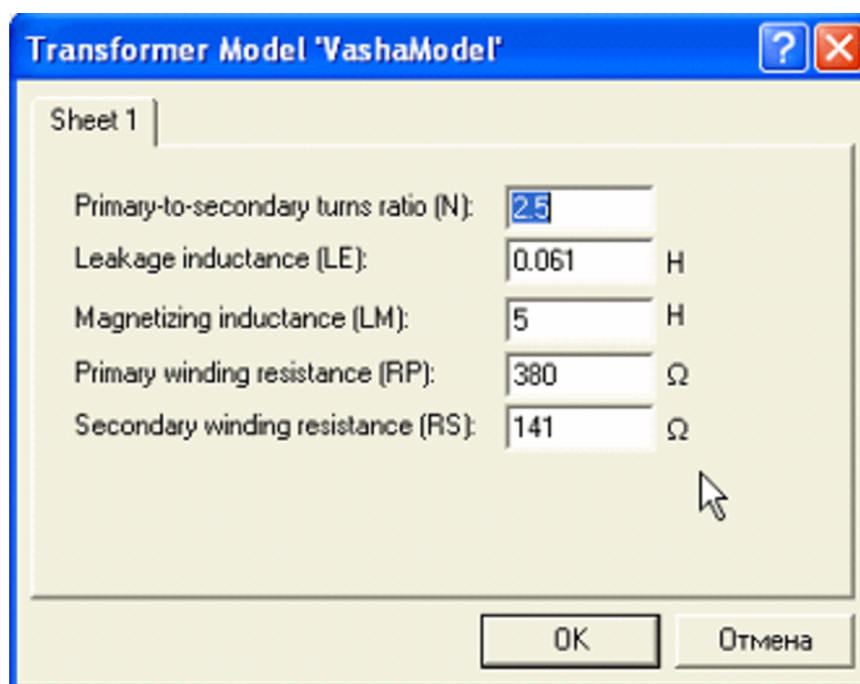


Рисунок 52 – Модель трансформатора.

18. Включить схему и проверить ее работу. Сравнить значения, полученные экспериментально, с расчетными.

19. Развернуть лицевую панель осциллографа. Наблюдать форму входного и выходного напряжения выпрямителя.

20. Провести необходимые измерения и рассчитать коэффициент пульсаций выходного напряжения и коэффициент сглаживания С-фильтра.

21. Сделать вывод.

## Лабораторная работа №18

### Исследование стабилизаторов постоянного напряжения

**Цель работы:** построение схем и изучение принципа работы параметрического и компенсационного стабилизаторов напряжения.

**Вопросы для самоподготовки:**

1. Что такое стабилизаторы напряжения? Каково их назначение?
2. Какие виды стабилизаторов вам известны?
3. Поясните принцип работы стабилизаторов. Нарисуйте функциональные схемы.
4. Какие элементы входят в состав параметрического стабилизатора напряжения? Нарисуйте схему. Поясните назначение элементов.
5. В каком режиме работы стабилизатора нагрузка на стабилитрон максимальна – в режиме холостого хода или в режиме короткого замыкания?
6. Рассчитайте схему параметрического стабилизатора напряжения, выбрав необходимые данные из представленных ниже:  
 $U_{вх}=9В$ ,  $U_{н}=5,2В$ ,  $R_{н}=100кОм$ ,  $U_{стаб.ном}=5,1В$ ,  $R_{ст}=70м$ ,  
 $I_{ст.min}=3мА$ ,  $I_{ст.max}=49мА$ ,  $I_{ст.ном}=10мА$ ,  $P_{max}=300мВт$ .
7. По какой формуле определяется коэффициент стабилизации?
8. Какие элементы входят в состав компенсационного стабилизатора напряжения? Нарисуйте схему. Поясните назначение элементов.
9. Расскажите о принципе построения компенсационного стабилизатора на ОУ.
10. Расскажите, из каких основных узлов состоят интегральные стабилизаторы напряжения.

## Порядок выполнения работы

1. Собрать схему параметрического стабилизатора напряжения, изображенную на рисунке 53. Источник переменного напряжения G1 используется в схеме для имитации пульсаций.

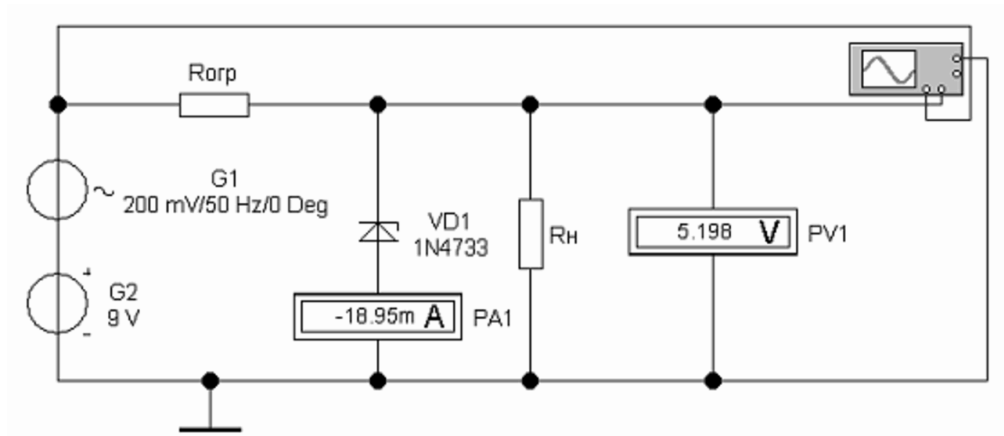


Рисунок 53 – Параметрический стабилизатор напряжения.

2. Установить сопротивление резистора  $R_n=100\text{кОм}$ , а сопротивление ограничительного резистора – в соответствии с результатами расчетов.
3. Включить схему.
4. По показаниям приборов проверить параметры рассчитанного стабилизатора.
5. Развернуть панель осциллографа и наблюдать входной и выходной сигналы (Рисунок 54).

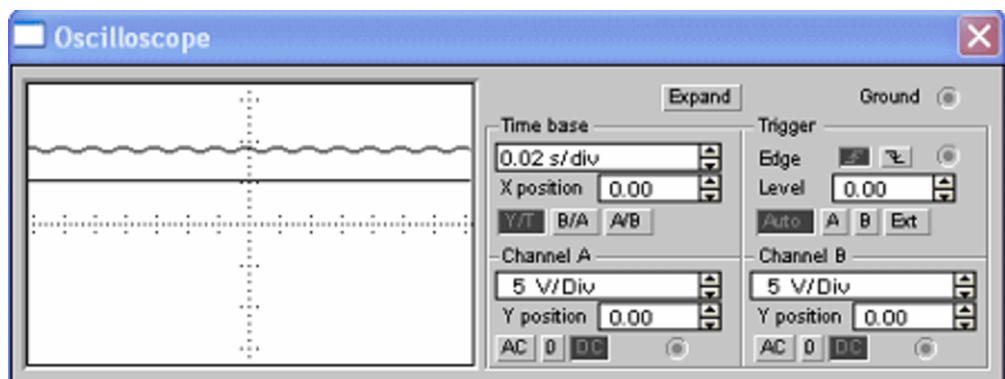


Рисунок 54 – Сигналы на входе и выходе стабилизатора.

6. Открыть свойства вольтметра PV1 и переключить его на измерение переменного напряжения (режим AC).

7. Определить пульсации на нагрузке и рассчитать коэффициент стабилизации.

8. Собрать схему компенсационного стабилизатора напряжения, изображенную на рисунке 55.

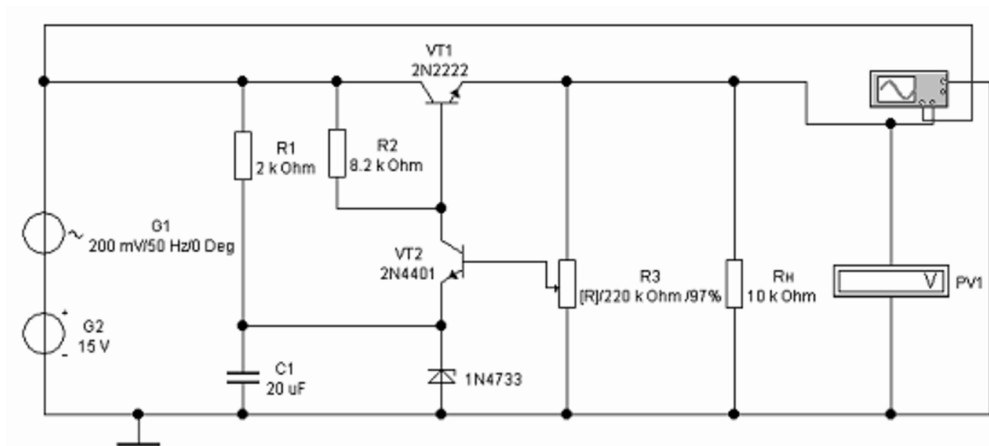


Рисунок 55 – Компенсационный стабилизатор напряжения.

9. Изменяя сопротивление переменного резистора R3 с помощью клавиш [R] (уменьшение сопротивления) и [Shift]+[R] (увеличение сопротивления) установить на нагрузке напряжение 6В.

10. Развернуть панель осциллографа и наблюдать входной и выходной сигналы (см. рисунок 54).

11. Открыть свойства вольтметра PV1 и переключить его на измерение переменного напряжения.

12. Определить пульсации на нагрузке и рассчитать коэффициент стабилизации.

13. Сделать вывод.

## Тестовые задания

1. Твердое тело принято считать полупроводником, если разность энергий между нижним уровнем зоны проводимости и верхним уровнем валентной зоны:

1. Равна  $\epsilon$
2. Меньше  $\epsilon$
3. Больше  $\epsilon$

2. Незанятое электроном энергетическое состояние в валентной зоне, обладающее положительным зарядом, называется:

1. Полюсом
2. Дыркой
3. Ионом

3. В результате перемещения электронов проводимости образуется:

1. Дырочная проводимость
2. Переменная проводимость
3. Электронная проводимость

4. Как зависит ток термоэлектронной эмиссии от температуры нагрева катода и работы выхода?

1. Увеличивается
2. Уменьшается.
3. Не изменяется.

5. В результате перемещения дырок проводимости образуется:

1. Дырочная проводимость
2. Переменная проводимость.
3. Электронная проводимость

6. Если в четырехвалентный германий добавить пятивалентный мышьяк, то такая примесь будет называться:

1. Акцепторной
2. Примесной

3. Донорной

7. Введение в полупроводник атомов соответствующей примеси способствует:

1. Повышению электропроводности
2. Понижению электропроводности
3. Электропроводность не изменяется

8. Электрический переход между двумя областями полупроводника, одна из которых имеет электропроводность n-типа, а другая p-типа называется...

1. Электронный переход
2. p-n переход
3. Полупроводниковый переход

9. Можно ли получить p-n переход простым соприкосновением разных полупроводниковых тел?

1. Нет
2. Да
3. Иногда

10. Диод, предназначенный для преобразования переменного тока в постоянный называется...

1. Плоскостный диод.
2. Выпрямительный диод.
3. Туннельный диод.

11. Один p-n-переход и 2 омических контакта:

1. Полупроводниковый диод
2. Выпрямительный диод
3. Плоскостный диод

12. Полупроводниковые диоды, работающие в режиме электрического пробоя:

1. Импульсный диод
2. Стабилитрон



3. Точечный диод

13. Плоский электрический переход, линейные размеры которого, определяющие его площадь, значительно больше ширины p-n-перехода:

1. Плоскостный диод
2. Стабилитрон
3. Точечный диод.

14. Полупроводниковый прибор с двумя переходами и тремя и более выводами называется...

1. Диод
2. Триод
3. Биполярный транзистор

15. Не существует схемы включения биполярного транзистора:

1. С общим эмитером
2. С общей базой
3. С общим калибратором

16. Выход электронов за пределы поверхности вещества под действием излучения называется...

1. Внешний фотоэффект
2. Внутренний фотоэффект
3. Принудительный фотоэффект

17. При каких условиях усилитель превращается в автогенератор:

1. При положительной обратной связи
2. При отрицательной обратной связи
3. При обратной связи равной 1

18. В каких единицах измеряются основные параметры усилителей?

1. В вольтах
2. В амперах
3. В децибелах

19. Электронное устройство, с помощью которого осуществляется преобразование энергии постоянного тока в энергию переменного тока различной формы называется:

1. Усилителем постоянного тока
2. Выпрямителем переменного тока
3. Генератором электрических колебаний

20. Что такое триггер?

1. Импульсное устройство, имеющее два стойких состояния, в которых он может пребывать как угодно долго
2. Устройство, имеющее два стойких состояния, в которых он может пребывать как угодно долго
3. Импульсное устройство, имеющее два стойких состояния

21. Имеет один информационный вход, один вход синхронизации и два выхода: прямой и инверсный, также называется триггер с задержкой:

1. D-триггер
2. RS-триггер
3. T - триггер

22. Цифровые устройства, построенные на основе триггеров и предназначенные для уменьшения частоты импульсов в целое количество раз, называются:

1. Делители частоты
2. Сумматоры
3. Регистры

23. Регистр это —

1. Число или символ, участвующие в машинной операции
2. Электронная схема для временного хранения двоичной информации
3. Устройство выполняющее по командам несколько простейших операций

24. Число 22 в двоичной системе счисления:

1. 10010

2. 10101

3. 10110

25. Реализует логическую операцию умножения...

1. Логический элемент ИЛИ

2. Логический элемент И

3. Логический элемент НЕ

26. Краткосрочное отклонение физического процесса от установленного значения называется...

1. Сигнал

2. Информативность

3. Импульс

27. Устройство, предназначенное для открытия или закрытия канала, передающего энергию, называется...

1. Коммутатор

2. Ключевой элемент

3. Дешифратор

28. Активными элементами называются...

1. Элементы, содержащие внутренние источники энергии

2. Элементы, в которых внутренние источники энергии отсутствуют

3. Элементы, вырабатывающие электрическую энергию

29. Ключ, имеющий нулевое сопротивление в замкнутом состоянии и бесконечно большое сопротивление в разомкнутом состоянии называется...

1. Усилительный

2. Реальный

3. Идеальный

30. Тест. Устройство, предназначенное для сложения двоичных чисел называется...

1. Мультиплексор

2. Коммутатор

3. Сумматор

Таблица – ответы к тестовым заданиям.

Номер вопроса	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Правильный ответ	2	2	3	1	1	3	1	2	1	2	1	2	1	3	3	1	2	3	3	1	1	1	2	3	2	3	3	1	3	3

## Вопросы для подготовки к экзамену

1. RS- триггер: асинхронный и синхронный (базис И-НЕ).
2. RS- триггер: асинхронный и синхронный (базис ИЛИ-НЕ).
3. 5 поколений схемотехники ЭВМ и их влияние на параметры ЭВМ.
4. Классификация триггерных устройств.
5. Характеристики и параметры цифровых ИМС. Параметры ИМС.
6. Регистр. Счетчики. Сумматор.
7. Дешифраторы.
8. Шифратор.
9. Мультиплексоры.
10. Демультиплексоры.
11. Операционные усилители. Схемы включения.
12. Особенности полупроводников типа – n.
13. Особенности полупроводников типа – p.
14. Устройство и принцип работы транзисторного усилительного каскада с общим эмиттером.
15. Передаточная характеристика усилительного каскада.
16. Усиление сигнала по мощности с помощью биполярного транзистора. Рабочий режим биполярного транзистора.
17. Импульсно-модулированные сигналы.
18. Аналогово-цифровой преобразователь. Основные параметры.
19. Цифро-аналоговые преобразователи (ЦАП).
20. Демодуляция. Виды демодуляции. Типовые схемы.
21. Особенности реального электронно-дырочного перехода.
22. Полевые транзисторы с изолированным затвором.
23. ПЗУ однократного программирования. Перепрограммируемое ПЗУ.
24. Ассоциативное запоминающее устройство.
25. Модуляция. Виды модуляции.
26. Непрерывный радиосигнал с многотональной амплитудной модуляцией.

27. Непрерывный радиосигнал с балансной амплитудной модуляцией.

28. Непрерывный радиосигнал с однополосной амплитудной модуляцией.

29. Непрерывные радиосигналы с угловой модуляцией.

30. Непрерывный радиосигнал с фазовой модуляцией.

31. Непрерывный радиосигнал с частотной модуляцией.

32. Импульсные радиосигналы с АМ-модуляцией.

33. Полярная модуляция.

34. Эмиттерно-связная логика (ЭСЛ).

35. Программируемая логическая матрица (ПАМ).

## Глоссарий

**Амплитуда** (лат. *Amplitudo* — значительность, обширность, величие, обозначается буквой А) — максимальное значение смещения или изменения переменной величины от среднего значения при колебательном или волновом движении.

**Амплитудная модуляция** — вид модуляции, при которой изменяемым параметром несущего сигнала является его амплитуда.

**Биполярный транзистор** — трёх электродный полупроводниковый прибор, один из типов транзисторов. В полупроводниковой структуре сформированы 2 р-п перехода и перенос заряда в приборе осуществляется носителями 2 видов — электронами и дырками. Именно поэтому прибор получил название «биполярный». Применяется в электронных устройствах для усиления генерации электрических колебаний и в качестве переключающего ток элемента, например, в логических электронных схемах.

**Мультивибратор** — релаксационный генератор электрических прямоугольных колебаний с короткими фронтами. Название «мультивибратор» предложил голландский физик ван дер Поль, и отражает тот факт, что в спектре прямоугольных колебаний мультивибратора присутствует множество высших гармоник — в отличие от генератора синусоидальных колебаний («моновибратора»). Впервые мультивибратор был описан Икклзом и Джорданом в 1918 году.

**Операционный усилитель** — усилитель постоянного тока с дифференциальным входом и, как правило, единственным выходом, имеющий высокий коэффициент усиления. ОУ почти всегда используются в схемах с глубокой отрицательной обратной связью, которая, благодаря высокому коэффициенту усиления ОУ, полностью определяет коэффициент передачи полученной схемы.

**Осциллограф** (лат. *Oscillo* — качаюсь + греч. *γραφω* — пишу) — прибор, предназначенный для исследования (наблюдения, записи, измерения) амплитудных и временных параметров электрического сигнала, подаваемого на его вход, либо непосредственно на экране, либо записываемого на фотоленте. Современные осциллографы позволяют исследовать сигнал гигагерцовых частот.

**Полосно-заграждающий фильтр** (проф. жаргон — *режекторный фильтр, фильтр-пробка*) — электронный или любой другой фильтр, не пропускающий колебания некоторой определённой полосы частот, и пропускающий колебания с частотами, выходящими за пределы этой полосы.

**Полупроводниковый диод** — полупроводниковый прибор, в широком смысле - электронный прибор, изготовленный из полупроводникового материала, имеющий два

электрических вывода (электрода). В более узком смысле - полупроводниковый прибор, во внутренней структуре которого сформирован один или несколько  $p-n$  переходов. В отличие от других типов диодов, например, вакуумных, принцип действия полупроводниковых диодов основывается на различных физических явлениях переноса зарядов в твердотельном полупроводнике и взаимодействии их с электромагнитным полем в полупроводнике.

**Полусумматор** — комбинационная логическая схема, имеющая два входа и два выхода (двухразрядный сумматор, бинарный сумматор). Полусумматор позволяет вычислять сумму  $A + B$ , где  $A$  и  $B$  — это разряды (биты) обычно двоичного числа, при этом результатом будут два бита  $S$  и  $C$ , где  $S$  — это бит суммы по модулю 2, а  $C$  — бит переноса.

**Регистр** — последовательное или параллельное логическое устройство, используемое для хранения  $n$ -разрядных двоичных чисел и выполнения преобразований над ними.

**Сумматор** — устройство, преобразующее информационные сигналы (аналоговые или цифровые) в сигнал, эквивалентный сумме этих сигналов.

**Триггер** — класс электронных устройств, обладающих способностью длительно находиться в одном из двух устойчивых состояний и чередовать их под воздействием внешних сигналов. Каждое состояние триггера легко распознаётся по значению выходного напряжения. По характеру действия триггеры относятся к импульсным устройствам — их активные элементы (транзисторы, лампы) работают в ключевом режиме, а смена состояний длится очень короткое время.

**Фазовая модуляция** — один из видов модуляции, при которой фаза несущего колебания управляется информационным сигналом. Фазовая модуляция, не связанная с начальной фазой несущего сигнала, называется *относительной фазовой модуляцией* (ОФМ). В случае, когда информационный сигнал является дискретным, то говорят о *фазовой манипуляции*.

**Частотная модуляция (ЧМ, FM (англ. Frequency modulation))** — вид аналоговой модуляции, при котором информационный сигнал управляет частотой несущего колебания. По сравнению с амплитудной модуляцией здесь амплитуда остаётся постоянной.

**Электрический импульс** — кратковременный всплеск электрического напряжения или силы тока в определённом, конечном временном промежутке. Различают видеоимпульсы — единичные колебания какой-либо формы и радиоимпульсы —



всплески высокочастотных колебаний. Видеоимпульсы бывают однополярные (отклонение только в одну сторону от нулевого потенциала) и двухполярные.

**Эмиттерно-связанная логика (ЭСЛ, ECL)** — способ построения логических элементов на основе дифференциальных транзисторных каскадов. ЭСЛ является самой быстродействующей из всех типов логики, построенной на биполярных транзисторах. Это объясняется тем, что транзисторы в ЭСЛ работают в линейном режиме, не переходя в режим насыщения, выход из которого замедлен. Низкие значения логических перепадов в ЭСЛ-логике способствуют снижению влияния на быстродействие паразитных ёмкостей.

## Список литературы

1. Дзен С. А. Лабораторный практикум по радиоэлектронике на персональном компьютере. - Могилев: Могилевский профессиональный электротехнический колледж 2005. - 33 с.
2. Микропроцессоры: лабораторный практикум (по специальности 230700.62 – «Прикладная информатика» и 230400.62 – «Информационные системы и технологии»). / А.В. Параскевов, Д.Ю. Жмурко, С.А. Курносков, В.И. Лойко. – Краснодар: КубГАУ, 2013. – 71 стр., режим доступа: [http://edu.kubsau.ru/file.php/118/Laboratornyi\\_praktikum\\_po\\_mikroprocessoram.pdf](http://edu.kubsau.ru/file.php/118/Laboratornyi_praktikum_po_mikroprocessoram.pdf).
3. «Микропроцессоры»: учеб. пособие / А.В. Параскевов, А.Н. Бардак – Краснодар, КубГАУ, 2015. - 160 с., режим доступа: [http://edu.kubsau.ru/file.php/118/Uchebnoe\\_posobie\\_Mikroprocessory\\_ispravlenniy\\_.pdf](http://edu.kubsau.ru/file.php/118/Uchebnoe_posobie_Mikroprocessory_ispravlenniy_.pdf).
4. <http://www.adito.ru/>
5. Электроника и схемотехника. В 2 т.: учебник для академического бакалавриата / О. П. Новожилов. — М. : Издательство Юрайт, 2015. — 382 с. — Серия : Бакалавр. Академический курс.
6. Л.А. Коледов. Технология и конструкции микросхем, микропроцессоров и микросборок. М.: Изд-во «Техносфера», 2009 г.
7. Гусев В.Г., Гусев Ю.М.. Электроника и микропроцессорная техника: учеб. для вузов. —М.: Высшая школа, 2004. – 788 с.
8. Марголин В. И., Жабров В. А., Тупик В. А. Физические основы микроэлектроники : учеб. для вузов. – М.: Академия, 2008. – 400 с.
9. И.А.Каплунов Физическое материаловедение. Фазовые равновесия. Учебное пособие. Тверь: ТвГУ, 2009.
10. Щука А. А. Нанoeлектроника. – М.: Физматкнига, 2007 .– 463 с.
11. Старосельский, В. И. Физика полупроводниковых приборов микроэлектроники. — М.: Юрайт, 2009. — 464 с.
12. Шишкин Г. Г. Шишкин А. Г. Электроника[Электронный ресурс] Издательство: М., Дрофа, 2009, <http://www.biblioclub.ru/book/53723/>
13. Марченко А. Л. Основы электроники [Электронный ресурс]. Учебное пособие для вузов Допущено Научно методическим советом электротехнике и электронике Минобрнауки РФ в качестве учебного пособия для студентов высших учебных заведений

Издательство: Москва, ДМК Пресс, 2009 - 294 с. – Режим доступа:  
<http://www.biblioclub.ru/book/47452/>

14. А.П. Лысенко. Физические свойства р-п-перехода. М. МИЭМ НИУ ВШЭ, 2014.

15. А.П. Лысенко. Физические процессы в биполярных транзисторах. М. МИЭМ НИУ ВШЭ, 2014.

16. А.А. Коваленко, М.Д. Петропавловский. Основы микроэлектроники: Учебное пособие. М.: Издательский центр «Академия», 2006. – 240 с.

17. Несмелов Н. С., Славникова М. М., Широков А. А. «Физические основы микроэлектроники (конспект лекций)»: Учебное пособие для вузов – ТУСУР, Томск, 2007.- 276 с.

Учебное пособие

**Параскевов** Александр Владимирович  
старший преподаватель  
кафедры компьютерных технологий и систем

МИКРОЭЛЕКТРОНИКА И СХЕМОТЕХНИКА

для направления подготовки 09.03.02 – «Информационные системы и  
технологии»

В авторской редакции

Усл. печ. л. – 11.