

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
**«Владимирский государственный университет
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»
(ВлГУ)**

Кафедра электротехники и электроэнергетики

Методические указания к лабораторным работам
по дисциплине “Электротехника и электроника”.

Составители
Д.П. Андрианов,
В.И. Афонин

Владимир 2014

УДК 621. 621.316
ББК 31.2я73

Методические указания к лабораторным работам по электротехнике и электронике / Владим. гос. ун-т: Сост.: Д.П. Андрианов, В.И. Афонин. Владимир. 2014. 15с.

Составлены в соответствии с программой курса «Электротехника и электроника» для неэлектротехнических специальностей высших учебных заведений.

Предназначены для студентов дневной и контрактно-заочной форм обучения и составлены применительно к действующему учебному плану программы подготовки бакалавров направлений 22.03.01 «Материаловедение и технологии материалов», 27.03.04 «Управление в технических системах», 10.03.01 «Информационная безопасность», 10.05.04 «Информационно-аналитические системы безопасности», 20.03.01 «Техносферная безопасность», 23.03.01 «Технология транспортных процессов», 15.03.06 «Мехатроника и робототехника».

Изложены методические указания по экспериментальному исследованию, расчётам и оформлению результатов испытаний для электрических цепей постоянного и переменного тока.

Ил. 32. Библиогр.: 4 назв.

Печатается по решению редакционно-издательского совета
Владимирского государственного университета

Рецензент

Кандидат технических наук, доцент кафедры приборостроения и информационно-измерительной техники

Владимирского государственного университета

Грибакин В.С.

ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

При выполнении лабораторных работ студенты углубляют знания по электротехнике, учатся экспериментально проверять теоретические положения, приобретают навыки работы с измерительными приборами и вычислительной техникой.

Перед выполнением курса лабораторных работ каждый студент обязан изучить правила техники безопасности и расписаться в журнале, который находится в лаборатории.

Лабораторные работы выполняются бригадами из трех-четырех студентов. Очередность работ определяется графиком. В день выполнения работы бригады должны иметь одну заготовку отчета, выполненную в соответствии с требованиями раздела «Подготовка к работе». Перед выполнением лабораторной работы каждый студент получает допуск к работе, который включает в себя проверку:

- выполнения задач, предусмотренных разделом «Подготовка к работе»;
- знания теоретического материала по теме работы;
- знания методики проведения исследований;
- умения пользоваться измерительной аппаратурой.

Студенты, не подготовившиеся к занятиям, к выполнению работы не допускаются.

Отчеты по лабораторным работам должны быть выполнены на стандартных листах писчей бумаги.

Отчет должен содержать:

- титульный лист с указанием кафедры, учебной группы, фамилии, имени, отчества студента, названия, номера и даты выполнения работы;
- цель работы;
- исследуемую электрическую схему;
- расчетные формулы;
- таблицы измеренных и вычисленных величин;
- требуемый по заданию графический материал;
- краткие выводы по работе.

Краткие сведения о лабораторном оборудовании

Универсальный учебно-исследовательский лабораторный стенд УИЛС-1 представляет собой конструкцию (Рис.1), состоящую из корпусов активных и пассивных блоков, соединенных наборным полем. На рис. 1 обозначены

- 1 – блок постоянных напряжений;
- 2 – блок переменного напряжения;
- 3 – блок трехфазного напряжения
- 4 – блок переменного сопротивления;
- 5 – блок переменной индуктивности
- 6 – блок переменной емкости
- 7 – наборное поле.

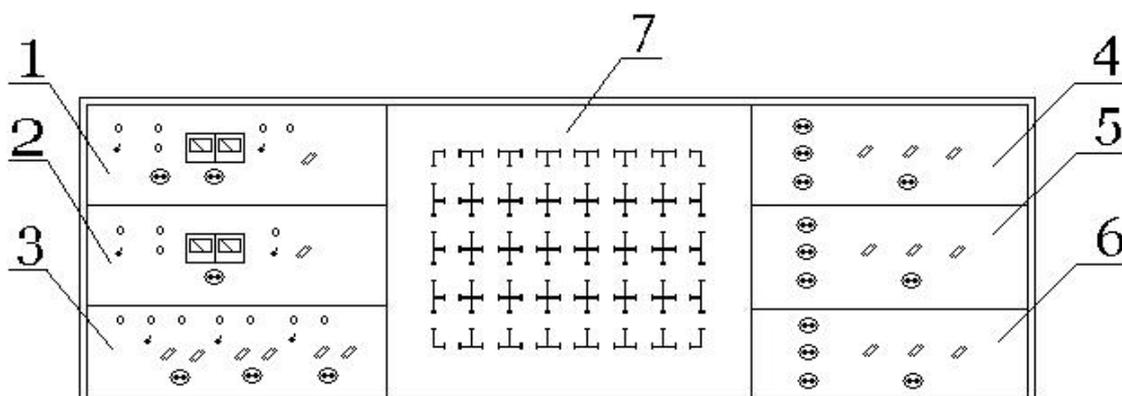


Рис. 1. Общий вид стенда УИЛС – 1.

Блок постоянных напряжений содержит

- регулируемый источник постоянного стабилизированного напряжения, с напряжением на выходе от 2 до 30 В
 - нерегулируемый источник постоянного напряжения с напряжением на выходе 20 В.
 - измерительные приборы (вольтметр и амперметр) для контроля величины тока и напряжения регулируемых источников напряжения. Регулирование осуществляют с помощью потенциометра.
- Оба источника напряжения снабжены схемой защиты от короткого замыкания и перегрузок.

Блок переменного напряжения представляет собой источник однофазного переменного напряжения регулируемой частоты синусоидальной, прямоугольной и треугольной формы.

Схема снабжена электронной защитой от короткого замыкания и перегрузок.

Блок трехфазного напряжения является источником трехфазного напряжения промышленной частоты. Каждая фаза электрически не зависима друг от друга.

Наборная панель представляет собой панель с 67 парами определенным образом соединенных гнезд, предназначенных для подключения и установки наборных элементов (элементов исследуемых цепей). Наборные элементы выполнены в виде прозрачных пластмассовых коробочек, в торце которых имеется вилка, а внутри впаяны радиоэлементы.

Лабораторная работа №1

Исследование пассивных линейных двухполюсников в цепях постоянного тока.

Цель работы – изучить методики измерения силы тока, напряжения, определения эквивалентного сопротивления пассивного двухполюсника.

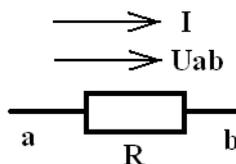
Краткие теоретические сведения

1. Закон Ома для участка цепи, не содержащего ЭДС, устанавливает связь между током и напряжением на этом участке:

$$U_{ab} = I R$$

или

$$I = U_{ab}/R$$



2. Активные элементы электрической цепи – те, в которых индуцируется ЭДС. Все прочие электроприемники и соединительные провода – пассивные элементы. В пассивных элементах электрическая энергия рассеивается или накапливается.
3. Эквивалентное сопротивление последовательно соединенных участков цепи равна сумме сопротивлений участков.
4. Эквивалентная проводимость параллельно соединенных участков цепи равна сумме проводимостей участков.

Объект и средства измерения.

Объектом исследования служат линейные двухполюсные элементы, содержащие сопротивления из комплекта наборных элементов (комплектующих лабораторного стенда УИЛС-1)

В работе используется регулируемый источник постоянного напряжения 0-30 В, расположенный в блоке постоянных напряжений. Включение источника осуществляется тумблером «Вкл./сеть», при этом загорается светодиод над тумблером. Регулировка напряжения осуществляется поворотом ручки потенциометра «напряжение».

Измерение напряжения осуществляется вольтметром, встроенным в блок постоянных напряжений. Измерение силы тока осуществляется учебным миллиамперметром. Измерение сопротивления наборных элементов осуществляется цифровым переносным мультиметром серии МУ6Х.

Подготовка к работе.

- 1.1. Ознакомиться с методами измерения тока, напряжения приборами непосредственной оценки.
- 1.2. Ознакомиться с методами анализа пассивных линейных двухполюсников в цепях постоянного тока:

эквивалентными преобразованиями пассивных участков линейных электрических цепей.

Рабочее задание.

2.1. Используя цифровой мультиметр определить величины сопротивлений, задействованных в схеме двухполюсника (выдаются преподавателем).

2.2. Собрать схему с подключенным линейным двухполюсником согласно рис. 1.1.

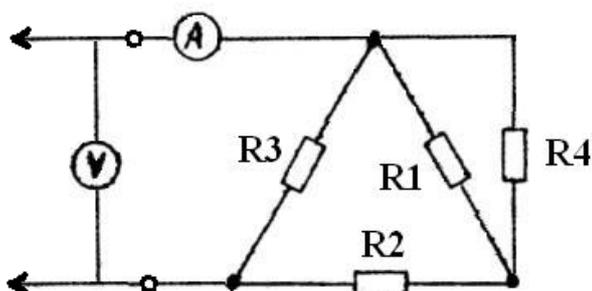


Рис.1.1 Электрическая схема линейного двухполюсника.

2.3. Снять показания приборов при напряжении источника питания 10В. Определить по закону Ома величину эквивалентного сопротивления двухполюсника.

2.4. Вывести формулу эквивалентного сопротивления пассивного двухполюсника по схеме рис. 1.1 исходя из значений сопротивлений R_1 , R_2 , R_3 , R_4 . Рассчитать эквивалентное сопротивление с учетом измеренных величин сопротивлений по пункту 2.1.

2.5. Сравнить результаты, полученные из опыта и при выводе формулы эквивалентного сопротивления двухполюсника. Определить процент расхождения.

2.6. Снять вольт-амперную характеристику пассивного двухполюсника.

Принять начальное напряжение на входе 2,5 В, шаг приращения 2,5 В.

Зафиксировать 8-9 показаний.

По полученным данным заполнить таблицу 1.1.

Таблица 1.1

U, В							
I, мА							

Построить на графике вольтамперную характеристику пассивного двухполюсника.

Контрольные вопросы

1. Каковы особенности измерения сопротивлений амперметром и вольтметром?
2. Что такое омметр?
3. Что такое вольтамперная характеристика двухполюсника?
4. Каковы параметры активных двухполюсников?
5. Как определить погрешность измерения?
6. Как определяется цена деления амперметра, вольтметра?

7. Как осуществить выбор измерительных приборов для конкретных измерений?
8. Что понимается под электрическим сопротивлением?
9. В чем принцип действия приборов магнитоэлектрической системы?
10. В каком случае двухполюсник называют активным?

Лабораторная работа № 2

Определение параметров пассивных элементов в цепях переменного тока.

Цель работы – овладеть методикой определения характеристик пассивных элементов в цепях переменного тока.

Краткие теоретические сведения

Для R-L-цепи переменного тока векторная диаграмма сопротивлений представляет собой прямоугольный треугольник, катетами которого являются вектор сопротивления резистора R и вектор сопротивления катушки индуктивности X_L . Полное сопротивление R-L-цепи:

$$Z = R + X_L$$

С учетом показаний приборов и расшифровки сопротивления индуктивности имеем

$$U / I = R + j\omega L,$$

где j – мнимая единица,

ω – круговая частота [рад/с],

L – индуктивность [Гн],

U и I – показания вольтметра и амперметра соответственно.

Переходя от комплексной записи уравнения к действительным значениям, получаем следующую зависимость для индуктивности

$$L = \frac{1}{\omega} \cdot \sqrt{\left(\frac{U}{I}\right)^2 - R^2}$$

Аналогично для R-C-цепи переменного тока полное сопротивление:

$$Z = R + X_C.$$

После расшифровки имеем

$$U / I = R + 1 / (j\omega C).$$

Емкость

$$C = \frac{1}{\omega \cdot \sqrt{\left(\frac{U}{I}\right)^2 - R^2}}$$

Резонансная частота колебательного контура определяется исходя из равенства сопротивлений катушки индуктивности и емкости:

$$X_L = X_C$$

После представления реактивных сопротивлений по составляющим получаем

$$\omega = \sqrt{\frac{1}{L \cdot C}}$$

Объект и средства измерения.

Объектом исследования служат двухполюсные элементы, содержащие емкость и индуктивность из комплекта наборных элементов (комплектующих лабораторного стенда УИЛС-1).

В работе используется регулируемый источник переменного напряжения 0-30 В, расположенный в блоке переменных напряжений. Включение источника осуществляется тумблером «Вкл./сеть», при этом загорается светодиод над тумблером. Регулировка напряжения осуществляется поворотом ручки потенциометра «напряжение».

Измерение напряжения осуществляется вольтметром, встроенным в блок постоянных напряжений. Измерение силы тока осуществляется учебным миллиамперметром. Измерение сопротивления наборных элементов (резисторов) осуществляется цифровым переносным мультиметром серии МУ6Х.

Подготовка к работе.

- 1.3. Ознакомиться с методами измерения тока, напряжения приборами непосредственной оценки.
- 1.4. Освоить методику построения векторных диаграмм для цепей переменного тока.

Рабочее задание.

- 2.1. Используя цифровой мультиметр определить величины сопротивлений резисторов, задействованных в исследуемых схемах (выдаются преподавателем).
- 2.2. Собрать R-L цепь по схеме на рис. 2.1.
- 2.3. Снять показания приборов для фиксированного значения напряжения источника.

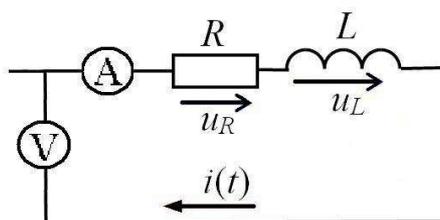


Рис.2.1

- 2.4. Построить векторную диаграмму сопротивлений, рассчитать значение индуктивности L, основываясь на показаниях приборов.
- 2.5. Собрать R-C цепь по схеме на рис. 2.2.
- 2.6. Снять показания приборов для фиксированного значения напряжения источника.

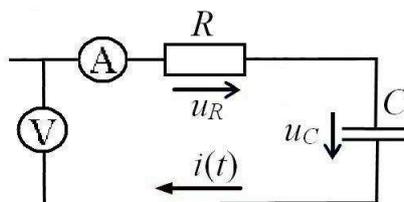


Рис.2.2

2.7. Построить векторную диаграмму сопротивлений , рассчитать значение индуктивности C , основываясь на показаниях приборов.

2.8. Собрать R-L-C цепь по схеме на рис. 2.3.

2.9. Снять показания приборов для фиксированного значения напряжения источника.

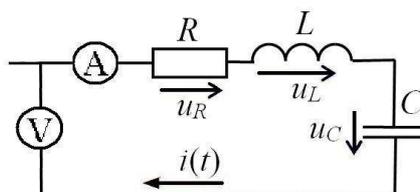


Рис.2.3

2.10. Рассчитать резонансную частоту R-L-C цепи. Построить векторную диаграмму.

Контрольные вопросы

1. Какими параметрами характеризуются синусоидальный ток (напряжение)?
2. Каково соотношение между амплитудным и действующим значениями величин, изменяющихся по синусоидальному закону?
3. Построить векторную диаграмму напряжения и тока для участка цепи.
4. Как величина индуктивного и емкостного реактивных сопротивлений зависит от частоты питающего напряжения?
5. Построить векторные диаграммы для участков цепи с идеальной индуктивностью и идеальной емкостью.
6. Как определяют активное, реактивное и полное сопротивления цепи, содержащей несколько последовательно включенных элементов?
7. Как рассчитать активную, реактивную и полную мощности цепи?

Лабораторная работа №3

Исследование трехфазной электрической цепи при присоединении приемников звездой.

Цель работы – изучить и экспериментально исследовать трех и четырехпроводную трехфазные цепи при симметричной и несимметричной

нагрузке. Научиться строить векторные диаграммы трехфазных электрических цепей при соединении приемников звездой.

Краткие теоретические сведения

Трехфазная система электрических цепей представляет собой совокупность электрических цепей, в которых действуют три синусоидальные ЭДС одной и той же частоты, сдвинутые друг относительно друга по фазе и создаваемые общим источником энергии.

Фазное напряжение – напряжение между началом и концом фазы.

Линейное напряжение – напряжение между линейными проводами.

В трехфазной цепи полную, активную и реактивную фазные мощности определяют, как и в однофазных цепях.

Мощность трехфазного приемника или источника равна сумме фазных мощностей.

Объект и средства и измерения.

Объектом исследования служит трехфазная электрическая цепь, собранная на базе учебно-исследовательского лабораторного стенда УИЛС-1.

В работе используется блок трехфазной цепи, содержащий три источника переменного тока с фазовым сдвигом относительно друг друга. Исследуемую трехфазную цепь собирают на наборном поле, соединяя сопротивления из блока сопротивлений.

Измерение токов и напряжений осуществляется амперметрами и вольтметрами или цифровым переносным мультиметром серии МУ6Х. Измерение сопротивления наборных элементов осуществляется цифровым переносным мультиметром серии МУ6Х.

Рабочее задание.

- 1.1. Собрать несвязанную трехфазную электрическую цепь по схеме на рис. 3.1.
- 1.2. Измерить напряжения и токи во всех фазах цепи. Результаты записать в таблицу 3.1. Определить величины сопротивлений нагрузки.

Табл. 3.1

	Фаза А	Фаза В	Фаза С
Напряжение, В			
Сила тока, А			
Сопротивление, Ом			

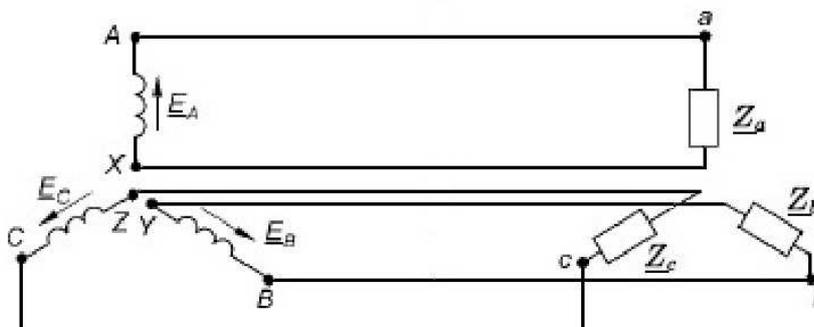


Рис. 3.1.

- 1.3. Собрать связанную трехфазную электрическую цепь с нейтральным проводом по схеме на рис. 3.2. Сопротивления Z_a , Z_b , Z_c выбираются из набора сопротивлений комплектующих лабораторного стенда УИЛС-1 исходя из обеспечения симметричной и несимметричной нагрузки.

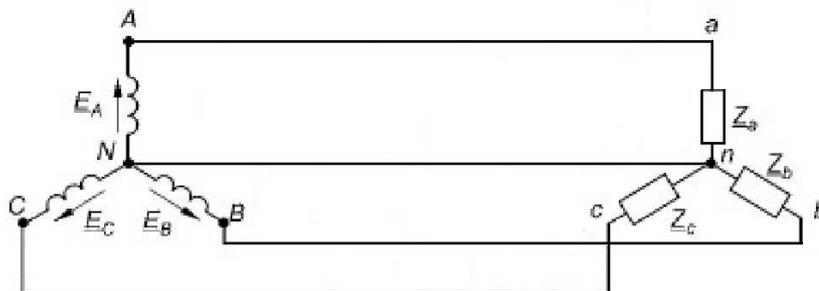


Рис. 3.2.

- 1.4. Измерить фазные напряжения и токи во всех фазах цепи для вариантов схемы (рис. 3.2) с симметричной и несимметричной нагрузкой. Результаты записать в таблицу 3.2.

Табл. 3.2

	Измеряемый параметр	Симметричная нагрузка	Несимметричная нагрузка	Сопротивление нагрузки	
				симметр	несимметр
Фаза А	Напряжение				
	Сила тока				
Фаза В	Напряжение				
	Сила тока				
Фаза С	Напряжение				
	Сила тока				
Нейтральный провод	Сила тока				

- 1.5. Измерить линейные напряжения цепи для вариантов схемы (рис. 3.2) с симметричной и несимметричной нагрузкой. Результаты записать в таблицу 3.3.

Табл.3.3

	Симметричная нагрузка	Несимметричная нагрузка
АВ		
ВС		
АС		

- 1.5. Собрать связанную трехфазную электрическую цепь без нейтрального провода по схеме на рис. 3.3.

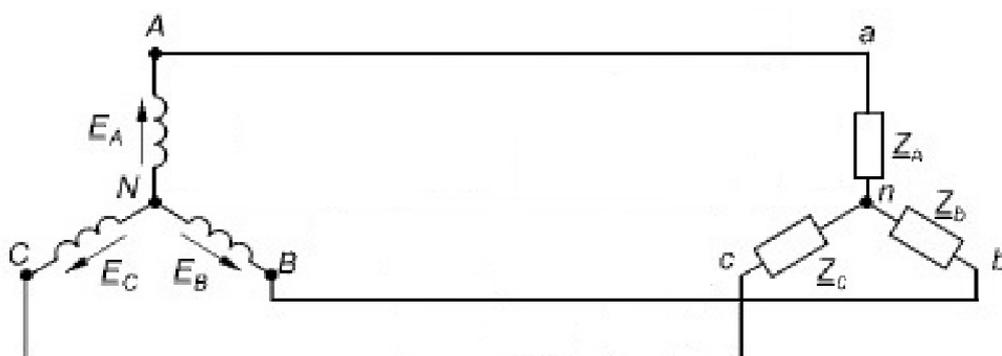


Рис. 3.3

- 1.6. Измерить линейные напряжения цепи для вариантов схемы (рис. 3) с симметричной и несимметричной нагрузкой. Результаты записать в таблицу 3.4.

Табл.3.4

	Симметричная нагрузка	Несимметричная нагрузка
AB		
BC		
AC		

- 1.7. Построить векторные диаграммы токов (напряжений) для пп. 1.3 и 1.5
 1.8. Определить мощность трехфазного приемника для пп. 1.3 и 1.5.

Контрольные вопросы

1. Как устроен трехфазный генератор?
2. Что такое фазное и линейное напряжения?
3. Что такое фаза трехфазной электрической цепи?
4. Какие элементы включает в себя фаза трехфазной электрической цепи?
5. Какие функции играет нейтральный провод трехфазной электрической цепи?
6. Как определить мощность приемника трехфазной электрической цепи?
7. Как изменится векторная диаграмма напряжений и токов при обрыве одного из проводов в трехфазной симметричной связанной цепи с нейтральным проводом?
8. Как изменится векторная диаграмма напряжений и токов при обрыве одного из линейных проводов в трехфазной симметричной связанной цепи?
9. Как связаны между собой линейные и фазные напряжения для симметричной системы?

Лабораторная работа №4

Исследование однофазных выпрямительных устройств

Цель работы: изучить принцип действия и практически ознакомиться со свойствами выпрямителей однофазного переменного напряжения, фильтрами.

Краткие теоретические сведения

Для получения электрической энергии нужного вида часто приходится преобразовывать энергию переменного тока в энергию постоянного тока (выпрямление) либо энергию постоянного тока в энергию переменного тока (инвертирование).



Рис.4.1. Классификация выпрямителей

Виды нагрузок: активная, активно-индуктивная, активно-емкостная и с противо-э.д.с.

Выпрямители малой мощности – активная и активно-емкостная нагрузка.

Выпрямители средней и большой мощности – активно-индуктивная нагрузка.

Нагрузку с противо-э.д.с. выпрямитель имеет при питании двигателя постоянного тока или при зарядке аккумулятора.

Однофазный выпрямитель.

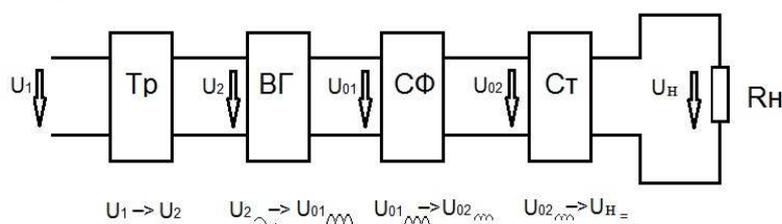


Рис. 4.2. Структурная схема однофазного выпрямителя

Тр – трансформатор,

ВГ – вентильная группа,

СФ – сглаживающий фильтр,

Ст – стабилизатор постоянного напряжения.

Двухполупериодный мостовой выпрямитель состоит из трансформатора и четырех диодов, подключенных к вторичной обмотке трансформатора по мостовой схеме. К одной из диагоналей моста подсоединяется вторичная обмотка трансформатора, а к другой – нагрузочный резистор R_n . Каждая пара диодов (Д1-Д3 и Д2-Д4) работают поочередно.

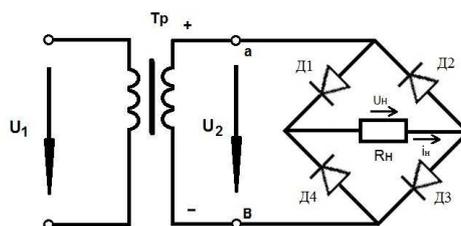


Рис. 4.3 Двухполупериодный мостовой выпрямитель.

Первый полупериод: $0-0,5T$; диоды Д2 и Д4 закрыты.

Второй полупериод: $0,5T-T$; диоды Д1 и Д3 закрыты.

В оба полупериода ток через нагрузочный резистор R_H имеет одно и то же направление.

Однополупериодный выпрямитель состоит из трансформатора, к вторичной обмотке которого последовательно подсоединены диод Д и нагрузочный резистор R_H .

Применяют для питания высокоомных нагрузочных устройств (например, электронно-лучевых трубок) допускающих повышенную пульсацию, мощность не более 10-15 Вт.

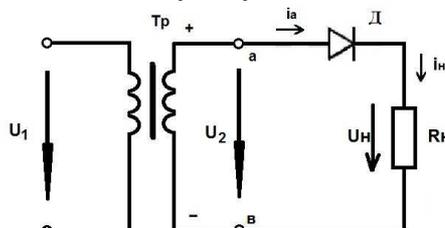


Рис. 4.4 Однополупериодный выпрямитель.

Первый полупериод: $0-0,5T$; диод Д открыт.

Второй полупериод: $0,5T-T$; диод Д закрыт.

Двухполупериодный выпрямитель с выводом средней точки вторичной обмотки трансформатора можно рассматривать как сочетание двух однополупериодных выпрямителей, включенных на один и тот же нагрузочный резистор R_H .

Недостатки: габариты, масса и стоимость трансформатора больше, чем в однополупериодных и мостовых выпрямителях.

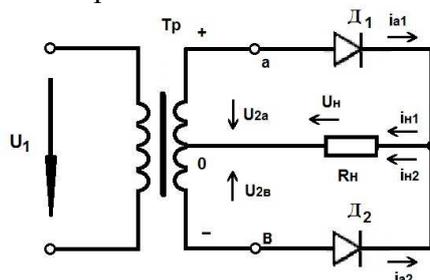


Рис. 4.5. Двухполупериодный выпрямитель с выводом средней точки.

Первый полупериод: $0-0,5T$; диод Д1 открыт, Д2 закрыт.

Второй полупериод: $0,5T-T$; диод Д1 закрыт, Д2 открыт.

1. Объект и средства исследования.

Объектом исследования служит однополупериодный и двухполупериодный мостовой и с нулевым выводом выпрямители без фильтров и с емкостными фильтрами.

При исследованиях используются источник переменного напряжения (ИП). Осциллограф и измерительные приборы: ампервольтметры АВМ1, АВМ2, милливольтметр МВ. Сборка исследуемой цепи осуществляется коммутацией гнезд платы и рабочего комплекта и гнезд источника, измерительных приборов, осциллографа при помощи проводников с однополюсными вилками и установкой в гнезда платы рабочего комплекта дискретных элементов.

2. Домашнее задание.

2.1. Изучить принцип действия выпрямительных устройств. Зарисовать формы выпрямленного напряжения для однополупериодного и двухполупериодного выпрямителей.

2.2. Рассчитать, каким должно быть действующее значение переменного напряжения

на входе выпрямителя (на вторичной обмотке трансформатора), чтобы получить среднее значение выпрямленного напряжения равным 12 В.

2.3. По каким параметрам выбирается тип диода для выпрямителей?

2.4. Записать выражения для параметров, оценивающих степень пульсации выпрямленного напряжения и сглаживающее действие фильтров.

3. Рабочее задание.

Часть I. ИССЛЕДОВАНИЕ ДВУХПОЛУПЕРИОДНОЙ МОСТОВОЙ СХЕМЫ ВЫПРЯМИТЕЛЯ.

3.1. Установить на лабораторном стенде плату №9 и собрать схему (рис. 4.6) с помощью съемных элементов V1-V4 (диоды КД103А), резистор R2 (300 Ом), перемычка; подключить миллиамперметр АВМ1, вольтметр АВМ2. Получив разрешение преподавателя, подключить питание к схеме.

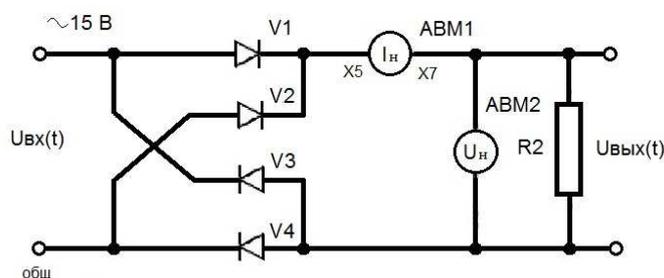


Рис. 4.6. Мостовая схема двухполупериодного выпрямителя

Зарисовать осциллограммы входного напряжения, подаваемого на схему от источника переменного напряжения ИП и выпрямленного напряжения $U_n(t)$ в режиме холостого хода и максимального тока нагрузки ($R_2=51$ кОм и $R_2=300$ Ом), и оценить степень пульсации выпрямленного напряжения.

Установить удобный для зарисовки осциллограммы размер изображения. В дальнейшем для исключения количественных ошибок снятие всех осциллограмм производить при выбранном в данном опыте масштабе.

3.3. Установить зависимость постоянного напряжения выпрямителя от тока нагрузки - снять внешнюю характеристику $U_{н.ср} = f(I_{н.ср})$, изменяя сопротивление нагрузки R2 (51 кОм - 300 Ом).

3.4. Для режима холостого хода выпрямителя рассчитать соотношение между средним значением выпрямленного напряжения $U_{н.ср}$ с переменным входным напряжением $U_{ип}$, измерив эти значения напряжения.

3.5. Построить внешнюю характеристику $U_{н.ср} = f(I_{н.ср})$. На характеристике указать точки, к которым относятся снятые осциллограммы.

3.6. Исследовать действие емкостного фильтра на выпрямленное напряжение (соблюдать полярность конденсатора!)

Емкостным фильтром является конденсатор C1, подключенный параллельно нагрузке R2 (рис.4.7).

а) для выпрямленного устройства с однофазной мостовой схемой и емкостными фильтрами ($C_1=20$ мкФ, $C_2=50$ мкФ) снять осциллограммы напряжения на нагрузке $U_n(t)$ при максимальном токе нагрузки и на холостом ходу;

б) рассчитать коэффициент сглаживания – отношение коэффициентов пульсации на входе и на выходе устройства:

$$q = k_{\text{ПВХ}} / k_{\text{ПВЫХ}}$$

в) снять внешнюю характеристику $U_{н.ср} = f(I_{н.ср})$ с емкостными фильтрами от

режима холостого хода до максимального тока нагрузки.

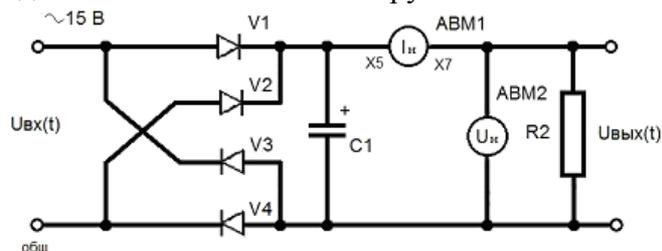


Рис. 4.7. Схема выпрямителя с емкостным фильтром

3.7. Построить внешние характеристики выпрямителя без фильтра (п.3.1) и с фильтрами (п.3.6) в единой системе координат.

Часть II. ИССЛЕДОВАНИЕ ДВУХПОЛУПЕРИОДНОЙ СХЕМЫ ВЫПРЯМИТЕЛЯ С НУЛЕВЫМ ВЫВОДОМ

3.9. Установить на лабораторном стенде плату № 8 и собрать схему (рис. 4.8) с помощью съемных элементов: V1, V2 (диоды КД103А), R2 (300 Ом).

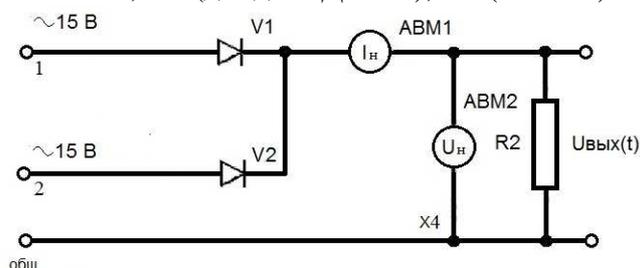


Рис. 4.8. Схема двухполупериодного выпрямителя с нулевым выводом.

Подключить осциллограф и зарисовать осциллограммы входного напряжения $U_{вх}(t)$, напряжения на каждом из диодов и выпрямленного напряжения $U_n(t)$. Осциллограммы снимать при максимальном токе нагрузки R2 (300 Ом).

На осциллограмме выпрямленного напряжения $U_n(t)$ показать среднее значение выпрямленного напряжения.

3.11. Снять внешнюю характеристику $U_{нсп}(t)$ для двухполупериодного выпрямительного устройства с нулевым выводом, изменяя сопротивление нагрузки R2 (300 Ом-51 кОм).

3.12. Построить внешнюю характеристику $U_{нсп}(I_{нсп})$ и обозначить точку, к которой относится снятая осциллограмма $U_n(t)$ в п.9.

3.13. Исследовать действие емкостного, Г-образного и П-образного фильтров на выпрямленное напряжение.

Для выпрямительного устройства с емкостным фильтром (рис. 4.9), с Г-образным RC фильтром (рис. 4.10), с П-образным, состоящим из емкостного и Г-образного фильтров (рис.4.11), снять осциллограммы напряжения на нагрузке $U_n(t)$ при максимальном токе и нагрузке $R_2=300$ Ом и в режиме холостого хода $R_2=1$ кОм.

Рассчитать коэффициент сглаживания.

3.14. Сравнить постоянные составляющие выпрямленного напряжения и степень пульсации в однополупериодном и двухполупериодном выпрямителях.

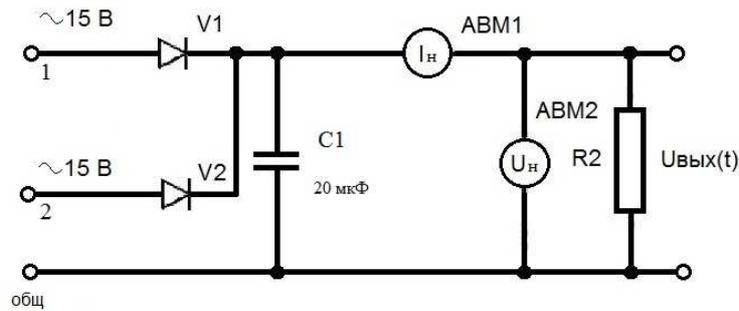


Рис. 4.9. Схема выпрямителя с емкостным фильтром

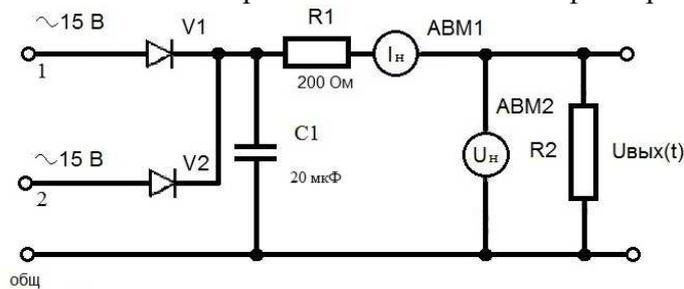


Рис. 4.10. Схема выпрямителя с Г-образным RC-фильтром

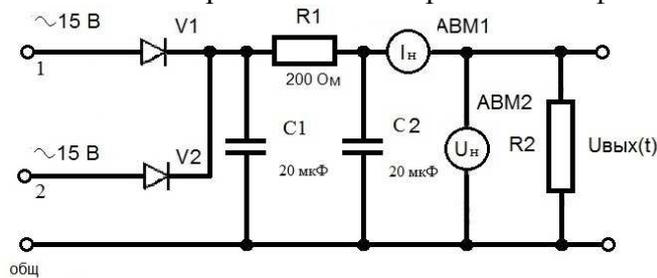


Рис. 4.11. Схема выпрямителя с П-образным RC-фильтром

Контрольные вопросы

1. Объяснить принцип действия каждой из рассмотренных схем выпрямления и фильтров.
2. Сравнить свойства рассмотренных схем выпрямления и фильтров.
3. Объяснить характер и взаимное расположение полученных в опытах внешних характеристик.
4. Какова пульсация напряжений на нагрузке для каждого из рассмотренных лабораторно работе выпрямительных устройств?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5

Исследование светодиодов.

Цель работы: ознакомиться с устройством, параметрами, характеристиками и принципом действия светодиодов.

Краткие теоретические сведения.

Светодиод или **светоизлучающий диод** (СД, СИД; англ. *light-emitting diode, LED*) — полупроводниковый прибор с электронно-дырочным переходом, создающий

оптическое излучение при пропускании через него электрического тока в прямом направлении.

Излучаемый светодиодом свет (СД видимого диапазона) лежит в узком диапазоне спектра — в отличие от лампы, излучающей более широкий спектр, где нужный цвет можно получить лишь применением внешнего светофильтра. Диапазон излучения светодиода во многом зависит от химического состава использованных полупроводников (Табл. 5.1).

Табл. 5.1

Цветовая характеристика	Длина волны, нм	Напряжение, В	Материал*
Инфракрасные	до 760	до 1.9	GaAs, AlGaAs
Красные	610 — 760	от 1.6 до 2.03	AlGaInP, GaP
Оранжевые	590 — 610	от 2.03 до 2.1	GaAsP, AlGaInP, GaP
Желтые	570 — 590	от 2.1 до 2.2	GaAsP, AlGaInP, GaP
Зеленые	500 — 570	от 2.2 до 3.5	InGaN, GaN, AlGaInP,
Синие	450 — 500	от 2.5 до 3.7	InGaN, SiC
Фиолетовые	400 — 450	от 2.8 до 4	InGaN,
Ультрафиолетовые	до 400	от 3.1 до 4.4	AlN, AlGaN, AlGaInN
Белые	Широкий спектр	от 3 до 3.7	

*- обозначения химических элементов Периодической системы Менделеева:

Al – алюминий, As – мышьяк, C – углерод. Ga – галлий, In – индий, N – азот, P – фосфор, Si – кремний.

При пропускании электрического тока через р-п-переход в прямом направлении, носители заряда — электроны и дырки — рекомбинируют с излучением фотонов (из-за перехода электронов с одного энергетического уровня на другой). Если излучение не происходит, высвобожденная энергия переходит в тепловую, нагревая вещество.

Не все полупроводниковые материалы эффективно испускают свет при рекомбинации. Лучшие излучатели относятся к прямозонным полупроводникам (разрешены прямые оптические переходы зона-зона), типа $A^{III}B^V$ (GaAs или InP) и $A^{II}B^{VI}$ (ZnSe или CdTe). Варьируя состав полупроводников, можно создавать светодиоды для всевозможных длин волн от ультрафиолета (GaN) до среднего инфракрасного диапазона (PbS).

Диоды, сделанные из непрямозонных полупроводников (кремния, германия или карбида кремния), свет практически не излучают.

Светоизлучающий диод, как и обычный диод, состоит из кристалла полупроводникового материала легированного различными примесями для создания р-п-перехода. Ток протекает через переход между полупроводником р-типа, или анодом и полупроводником n-типа - катодом, но не в обратном, а в прямом направлении.



Рис. 5.1. Конструкция светодиода

Вольтамперная характеристика светодиодов в прямом направлении нелинейна. Диод начинает проводить ток, начиная с некоторого порогового напряжения. Это напряжение позволяет достаточно точно определить материал полупроводника.

Из-за круто возрастающей вольтамперной характеристики р-п-перехода в прямом направлении, светодиод должен подключаться к источнику напряжения через токостабилизирующую цепь (некоторые светодиоды могут содержать токостабилизирующую цепь внутри себя, в таком случае для них указывается диапазон допустимых напряжений питания).

По сравнению с другими электрическими источниками света (преобразователями электроэнергии в электромагнитное излучение видимого диапазона), светодиоды имеют следующие отличия:

- Высокая световая отдача. Современные светодиоды сравнялись по этому параметру с натриевыми газоразрядными лампами и металлогалогенными лампами, достигнув 160 люмен на ватт.
- Высокая механическая прочность, вибростойкость (отсутствие нити накаливания и иных чувствительных составляющих).
- Длительный срок службы — от 30000 до 100000 часов.
- Спектр современных белых светодиодов — от тёплого белого = 2700 К до холодного белого = 6500 К. Спектральная чистота достигается не фильтрами, а принципом устройства прибора.
- Малая инерционность — включаются сразу на полную яркость, в то время как у ртутно-фосфорных (люминесцентных) ламп время включения от 1 с до 1 мин, а яркость увеличивается от 30 % до 100 % за 3-10 минут, в зависимости от температуры окружающей среды.
- Количество циклов включения-выключения не оказывают существенного влияния на срок службы светодиодов (в отличие от ламп накаливания, газоразрядных ламп).
- Различный угол излучения — от 15 до 180 градусов.
- Низкая стоимость индикаторных светодиодов.
- Безопасность — не требуются высокие напряжения, низкая температура светодиода или арматуры, обычно не выше 60 °С.
- Нечувствительность к низким и очень низким температурам.
- Экологичность — отсутствие ртути, фосфора и ультрафиолетового излучения в отличие от люминесцентных ламп.

Классификация светодиодов.



Рис. 5.2. Классификация светодиодов

- **Одноцветные светодиоды**

Одноцветные светодиоды излучают монохромный свет и требуют различного напряжения для работы – красный цвет берет наименьшее напряжение (около 2 вольт), синий цвет – большее напряжение (около 4 вольт). Типичные светодиоды требуют 20-30 миллиампер тока независимо от величины напряжения.

- **Инфракрасные светодиоды**

ИК-светодиоды (инфракрасные), излучают свет вне видимого диапазона (длина волны 850-940 нм).

- **Многоцветные светодиоды**

В корпусе одного светодиода устанавливается более одного полупроводникового кристалла, причем сами кристаллы сделаны из разных материалов и соответственно излучают разные цвета. Двухцветные светодиоды используют как индикаторы (обычно красный/зеленый цвет), трехцветные светодиоды используют для подсветки дисплеев и постройки светодиодных экранов.

- **RGB-светодиоды**

Полноцветный светодиод (RGB-светодиод - Red, Green, Blue).

Смешивая эти три цвета в разной пропорции можно отобразить любой цвет. RGB-светодиод состоит из трех кристаллов под одним корпусом и имеет 4 вывода: один общий и три цветовых вывода (Рис.5.3).

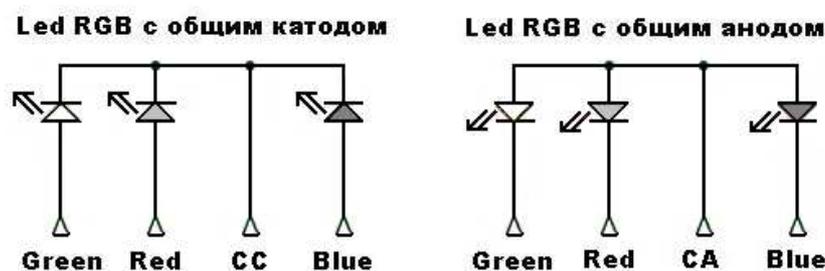


Рис. 5.3. Схема выводов RGB-светодиода.

- **Мигающие светодиоды**

Мигающий светодиод (МСД) — светодиод со встроенным интегральным генератором импульсов с частотой вспышек 1,5-3 Гц. В мигающий светодиод входит полупроводниковый чип генератора и некоторые дополнительные элементы. Напряжение питания в пределах от 3 до 14 вольт - для высоковольтных, и от 1,8 до 5 вольт для

низковольтных экземпляров.

В некоторых вариантах мигающих светодиодов могут быть встроены несколько (обычно - 3) разноцветных светодиода с разной периодичностью вспышек. Применение мигающих светодиодов оправдано в компактных устройствах с высокими требованиями к габаритам радиоэлементов и электропитанию - мигающие светодиоды очень экономичны, т.к. электронная схема МСД выполнена на МОП структурах.

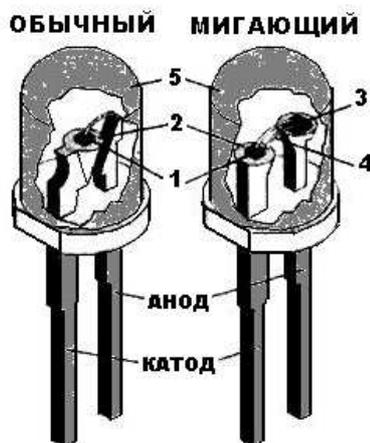


Рис. 5.4. Конструкция мигающего светодиода.

Внутри МСД находятся две подложки одинакового размера. На первой из них располагается кристаллический кубик светового излучателя из редкоземельного сплава. Для увеличения светового потока, фокусировки и формирования диаграммы направленности применяется параболический алюминиевый отражатель (2). В МСД он немного меньше по диаметру, чем в обычном светодиоде, так как вторую часть корпуса занимает подложка с интегральной микросхемой (3). Электрически обе подложки связаны друг с другом двумя золотыми проволочными перемычками (4). Корпус МСД (5) выполняется из матовой светорассеивающей пластмассы или из прозрачного пластика.

- **Ультрафиолетовые светодиоды**

Общая длина волны света ультрафиолетовых светодиодов (400 нанометров) располагается на границе между фиолетовым и ультрафиолетовым диапазоном – часть испускаемого света невидима.

- **Органические светодиоды — OLED**

Многослойные тонкоплёночные структуры, изготовленные из органических соединений, которые эффективно излучают свет при пропускании через них электрического тока. Основное применение OLED находит при создании устройств отображения информации (дисплеев сотовых телефонов, GPS-навигаторов, приборов ночного видения).

1. Объект и средства исследования.

Объект исследования – полупроводниковые приборы: одно-, двух- и трехцветные светодиоды,.

При исследованиях используются источники постоянного тока (ГТ), постоянного напряжения (ГН2, ГН3), ампервольтметры АВМ1, АВМ2 и АВ0, расположенные на лабораторном стенде. Сборка исследуемой цепи осуществляется коммутацией гнезд платы из рабочего комплекта и гнезд измерительных приборов и источников при помощи проводников с однополюсными вилками и установкой в гнезда платы рабочего комплекта дискретных элементов.

2. Рабочее задание.

5.1. Получить допуск к выполнению работы.

Часть I. ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ОДНОЦВЕТНЫХ СВЕТОДИОДОВ.

5.2. Установить на лабораторном стенде плату №10 из рабочего комплекта, произвести сборку электрической схемы (рис.5.5) с помощью соединительных проводов, подключив источник напряжения ГН, и измерительные приборы АВМ1, АВМ2.

Примечание: В качестве источника напряжения можно использовать автономный источник постоянного тока POWER DC.

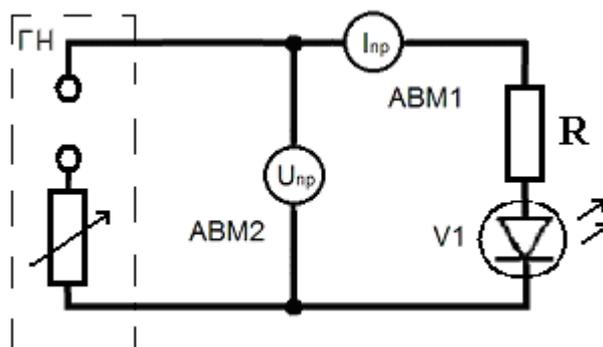


Рис. 5.5. Схема для снятия характеристик светодиода.

5.3. Снять вольтамперные характеристики одноцветных (синий, зеленый) светодиодов. Верхний предел напряжения в цепи – 15 В.

Примечание: При построении ВАХ следует учесть наличие в цепи защитного сопротивления R , величину которого можно определить тестером.

5.4. Рассчитать сопротивление R_d и падение напряжения на светодиоде U_d :

$$U = U_d + I * R,$$

$$U_d = I * R_d,$$

где R – сопротивление защитного резистора,

R_d – сопротивление светодиода,

I – сила тока в контуре,

U_d – падение напряжения на светодиоде.

5.5. Заполнить таблицу 5.2.

Табл. 5.2

Напряжение U	Сила тока I		R_d		U_d	
	Синий	Зеленый	Синий	Зеленый	Синий	Зеленый
2В						
4В						
...						
10В						
12 В						

5.6. Построить ВАХ для синего и зеленого светодиодов.

Часть II. ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ДВУХЦВЕТНОГО СВЕТОДИОДА.

5.7. Собрать схему с двухцветным светодиодом (рис. 5.5).

5.8. Зафиксировать показания приборов в цепи для обоих режимов работы двухцветного светодиода (красный и синий цвета).

Примечание: Двухцветный светодиод работает в мигающем режиме, время длительности свечения каждой из частей определяется встроенным в кристалл генератором импульсов.

5.9. Рассчитать сопротивления и падения напряжения для обоих режимов работы (красный и синий цвета) двухцветного светодиода.

Часть III. ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ТРЕХЦВЕТНОГО СВЕТОДИОДА.

5.10. Собрать схему с трехцветным светодиодом (рис. 5.5).

5.11. Зафиксировать показания приборов в цепи для всех режимов работы трехцветного светодиода (зеленый, красный и синий цвета).

5.12. Рассчитать сопротивления и падения напряжения для всех режимов работы трехцветного светодиода.

Контрольные вопросы

1. Какие факторы определяют цвет испускаемого света светодиода?
2. В чем заключается принципиальное различие между светом, испускаемым обычной лампой накаливания, и от светодиода?
3. Как получить светодиод, испускающий белый свет?
4. Как рассчитать величину сопротивления защитного резистора, устанавливаемого в цепь со светодиодом?
5. От каких параметров зависит долговечность светодиода?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 6

Исследование оптической пары.

Цель работы: ознакомиться с устройством, параметрами, характеристиками и принципом действия оптической пары, состоящей из инфракрасного светодиода и фотодиода.

Краткие теоретические сведения.

Оптопара или оптрон — электронный прибор, состоящий из излучателя света (обычно — светодиод, в ранних изделиях — миниатюрная лампа накаливания) и фотоприёмника (биполярных и полевых фототранзисторов, фотодиодов, фототиристор, фоторезисторов), связанных оптическим каналом. Принцип работы оптрона заключается в преобразовании электрического сигнала в свет, его передаче по оптическому каналу и последующем преобразовании обратно в электрический сигнал.

Фотодиод (ФД) — приемник оптического излучения, который преобразует падающий на его фоточувствительную область поток электромагнитного излучения в электрический заряд за счет процессов в p-n-переходе.

При освещении p-n-перехода монохроматическим излучением имеет место собственное поглощение квантов излучения и генерируются неравновесные фотоэлектроны и дырки. Под действием электрического поля перехода эти фотоносители перемещаются: электроны — в n-область, а дырки — в p-область, т.е. через переход течет дрейфовый ток неравновесных носителей. Ток фотодиода определяется

ТОКОМ НЕОСНОВНЫХ НОСИТЕЛЕЙ.

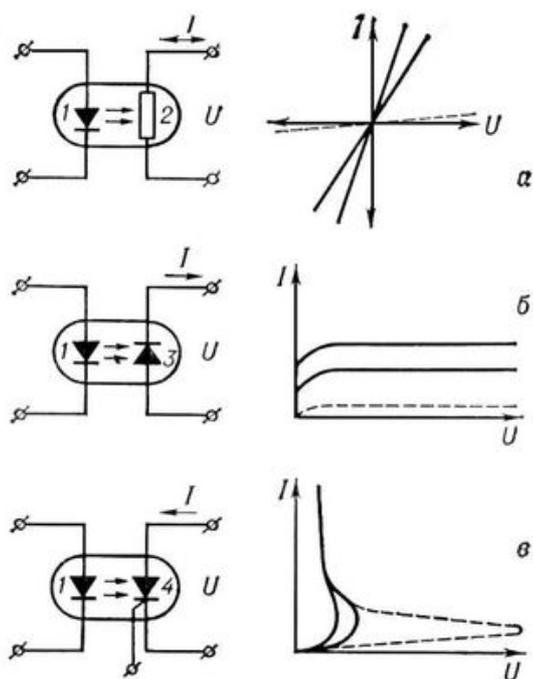
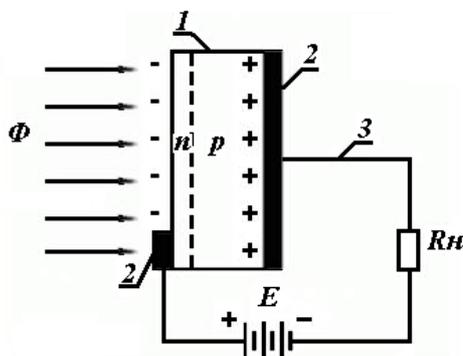


Рис. 6.1. Электрические схемы и выходные характеристики оптронов с фоторезистором (а), фотодиодом (б) и фототиристором (в):

1 — полупроводниковый светоизлучающий диод; 2 — фоторезистор; 3 — фотодиод; 4 — фототиристор; U и I — напряжение и ток в выходной цепи оптрона. Пунктирные кривые соответствуют отсутствию тока во входной цепи оптрона, сплошные — двум разным значениям входных токов.



- 1 – кристалл полупроводника
- 2 – контакты
- 3 – выводы
- Φ – поток электромагнитного излучения
- E – напряжение источника постоянного тока
- R_n – сопротивление нагрузки

Рис. 6.2. Структурная схема фотодиода

Семейство ВАХ фотодиода (Рис.6.3) расположено в квадрантах I, III и IV. Квадрант I – нерабочая область для ФД, в этом режиме фотоуправление током через диод невозможно.

Квадрант IV семейства ВАХ фотодиода соответствует фотогальваническому режиму работы ФД. Если цепь разомкнута, то концентрация электронов в n-области и дыр – в p-области увеличивается, поле объемного заряда атомов примеси в переходе частично

компенсируется и потенциальный барьер снижается на величину фотоЭДС (напряжение холостого хода фотодиода).

Если р- и n-области соединить внешним проводником, то в нем потечет ток короткого замыкания, образованный неравновесными фотоносителями.

Квадрант III – это фотодиодная область работы ФД, при которой к р-n-переходу прикладывается обратное напряжение.



Рис. 6.3. Вольтамперная характеристика фотодиода.

Основными световыми характеристиками фотодиода в фотогальваническом режиме являются зависимости тока короткого замыкания $I_{кз}$ и напряжение холостого хода $U_{хх}$ от светового потока (Рис. 6.4).

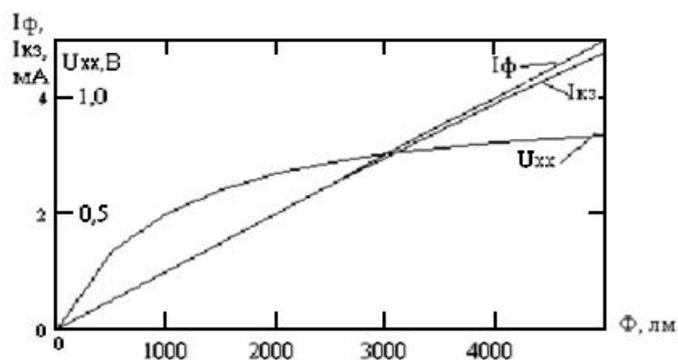


Рис. 6.4. Световые характеристики фотодиода

Фотодиод может работать в двух режимах:

- фотогальванический — без внешнего напряжения,
- фотодиодный — с внешним обратным напряжением.

Если фотодиод неосвещен, то через него проходит незначительный темновой ток. При освещении запирающего перехода, фотодиод открывается и через него проходит световой ток, величина которого зависит от значения светового потока.

Виды фотодиодов

- р-і-n фотодиод

В р-і-n структуре (рис. 6.5) средняя і-область заключена между двумя областями противоположной проводимости. При достаточно большом напряжении оно пронизывает і-область, и свободные носители, появившиеся за счет фотонов при облучении, ускоряются электрическим полем р-n переходов. Это дает выигрыш в быстродействии и чувствительности.

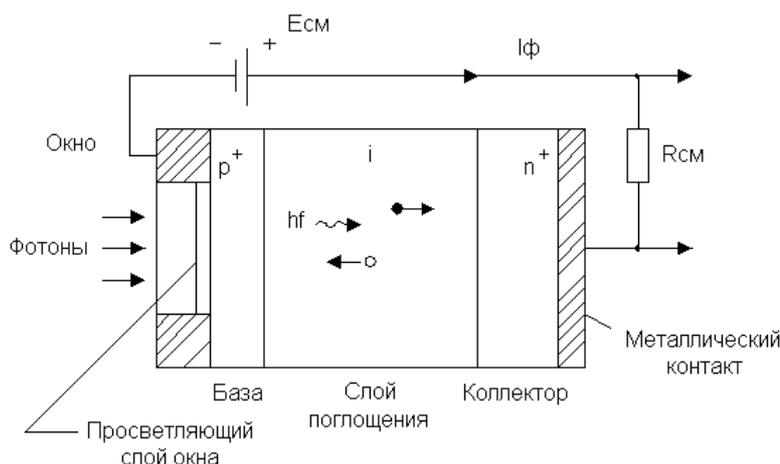


Рис. 6.5. Конструкция р-і-п фотодиода

- **Фотодиод Шоттки**

Структура металл-полупроводник. При образовании структуры часть электронов перейдет из металла в полупроводник р-типа

- **Лавинный фотодиод**

В структуре лавинного фотодиода (Рис. 6.6) используется лавинный пробой, возникающий тогда, когда энергия фотоносителей превышает энергию образования электронно-дырочных пар. Чувствительность лавинных фотодиодов может быть на несколько порядков больше, чем у обычных фотодиодов (у германиевых – в 200 – 300 раз, у кремниевых – в 104 – 106 раз).

- **Фотодиод с гетероструктурой**

Гетеропереход - слой, возникающий на границе двух полупроводников с разной шириной запрещенной зоны. Один слой р+ играет роль «приёмного окна». Заряды генерируются в центральной области. За счет подбора полупроводников с различной шириной запрещенной зоны можно перекрыть весь диапазон длин волн. Недостаток — сложность изготовления.

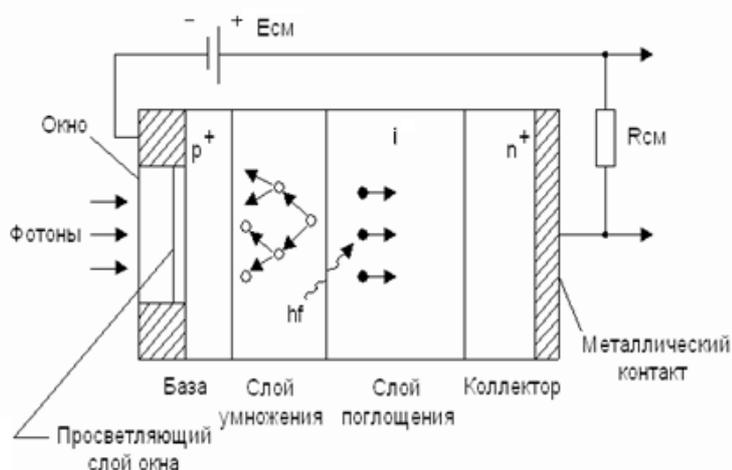


Рис. 6.6. Конструкция лавинного фотодиода

Кремниевые фотодиоды ФД.

Фотодиоды ФД-320 структуры р-п с квадратным фоточувствительным элементом площадью 25 мм² оформлены в пластмассовом корпусе с жесткими штампованными лужеными выводами. Входное окно выполнено в виде линзы. Чувствительность прибора

максимальна, когда падающее на него излучение направлено вдоль оптической оси. Предназначены для применения в качестве датчиков инфракрасного излучения в системах дистанционного управления радиоэлектронной аппаратурой.

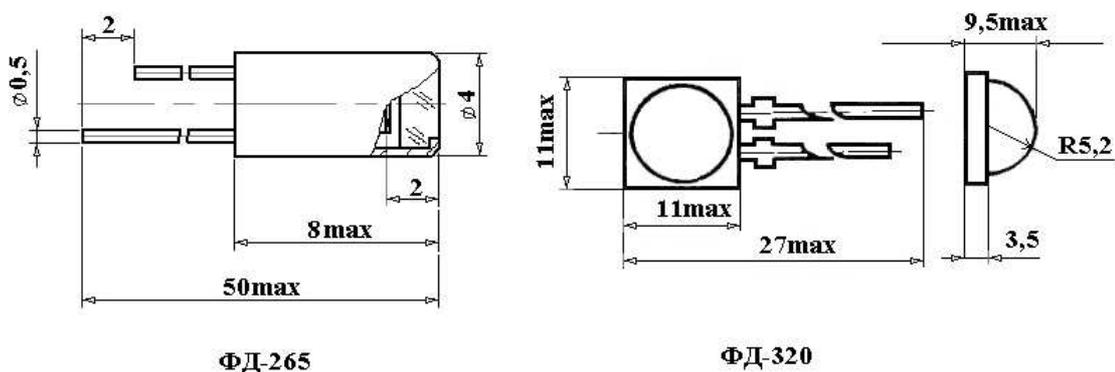


Рис. 6.7. Конструкции фотодиодов ФД-265 и ФД-320

Характеристики фотодиода ФД-320

Максимальный темновой ток при 25° С	5×10^{-8} А.
Токовая импульсная чувствительность	0,12 А/В.
Рабочее напряжение	12 В.
Емкость	80 пФ.
Максимальное допустимое напряжение	30 В.
Освещенность	100 лк.
Максимальная длина волны в максимуме чувствительности	0,87...0,96 мкм.
Температурный диапазон	-10...+60° С.

Характеристики фотодиода ФД-265

Размер чувствительной площадки	1,45x1,45 мм
Спектральный диапазон	0,4...1,1 мкм
Длина волны в максимуме чувствительности	0,85 мкм
Рабочее напряжение	5 В
Темновой ток при 20° С	<0,1 мкА
Интегральная чувствительность (Тцв=2850 К, Т=20° С)	>5 мА/лм
Рабочая температура	-60...+85° С

1. Объект и средства исследования.

Объект исследования – полупроводниковые приборы: оптическая пара из фотодиода и ИК-светодиода.

При исследованиях используются источники постоянного тока (ГТ), постоянного напряжения (ГН2, ГН3), ампервольтметры АВМ1, АВМ2 и АВ0, расположенные на лабораторном стенде. Сборка исследуемой цепи осуществляется коммутацией гнезд платы из рабочего комплекта и гнезд измерительных приборов и источников при помощи проводников с однополюсными вилками и установкой в гнезда платы рабочего комплекта дискретных элементов.

2. Рабочее задание.

2.1. Получить допуск к выполнению работы.

2.2. Установить на лабораторном стенде плату №10 из рабочего комплекта, произвести сборку электрической схемы (рис.6.8) оптической пары с помощью соединительных

проводов. Инфракрасный светодиод устанавливается на дополнительную колодку с коммутационными гнездами. Фотодиод устанавливается на плату стенда.

Необходимо собрать два независимых контура, питаемых от отдельных источников: ГН стенда и POWER DC автономного источника постоянного тока.

2.3. Включить 2 контур, содержащий фотодиод, установить напряжение в контуре 6В.

2.4. Включить 1 контур, содержащий ИК-светодиод, установить начальное напряжение 2 В. Установить колодку с ИК-светодиодом относительно фотодиода так, чтобы оптические оси приборов совпадали.

Примечание. Для отладки работы оптической пары вместо сопротивления R2 можно использовать светодиод с защитным сопротивлением. По интенсивности свечения светодиода можно сделать вывод об оптимальном расположении элементов оптопары.

Зафиксировать показания приборов обоих контуров и записать в табл. 6.1.

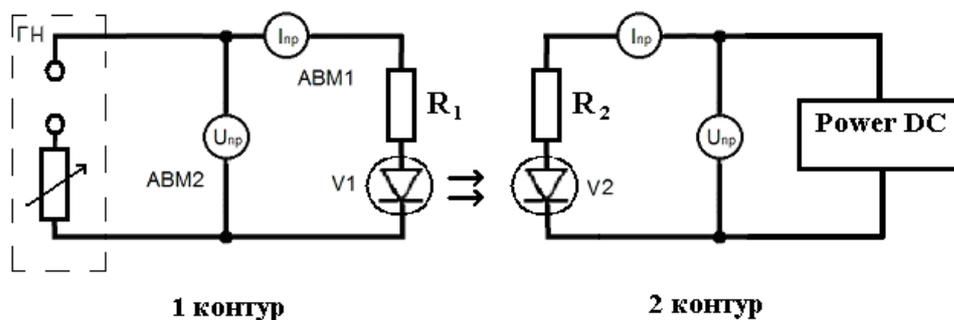


Рис. 6.8. Схема для исследования оптической пары.

2.5. С помощью рукоятки настройки блока питания ГТ увеличить напряжение в 1 контуре на 1 В. Записать показания приборов в Табл. 6.1.

Табл. 6.1.

V1	A1	V2	A2
2В		6В	
3В		6В	
...		6В	
12В		6В	

2.6. Повторить п.2.5, пошагово увеличивая напряжение питания 1-го контура с шагом 1В до 12 В.

2.7. Построить вольтамперные характеристики для 1 и 2 контура.

2.8. Установить напряжение питания 2-го контура 10 В. Повторить пункты 2.5, 2.6 и 2.7.

Контрольные вопросы.

1. Пояснить принцип действия оптической пары.
2. Пояснить принцип действия фотодиода
3. Чем отличается р-і-п-фотодиод от р-п-фотодиода?
4. Что такое темновой ток фотодиода?
5. В каких формах может проявиться внутренний фотоэффект фотодиода?
6. Каковы основные требования к фотоприемнику?
7. Перечислить основные характеристики фотодиода.

Список рекомендуемой литературы

1. Иванов И.И., Соловьев Г.И., Фролов В.Я. Электротехника и основы электроники. – СПб.: Издательство «Лань», 2012, –736 с.
2. Касаткин А.С., Электротехника: учебник для вузов. – М.: Академия, 2005
3. Бычков, Ю. А. Основы теории электрических цепей: учебник для вузов.– СПб.: Издательство «Лань», 2002.
4. Электротехника и электроника. Кн. 3. Электрические измерения и основы электроники. / Г.П. Гаев, В.Г, Герасимов, О.М. Князев и др. Под ред. В.Г. Герасимова. – М.: Энергоатомиздат, 1988, –432 с.

Содержание

Общие положения	3
Краткие сведения о лабораторном оборудовании	4
Лабораторная работа №1. Исследование пассивных линейных двухполюсников в цепях постоянного тока.	5
Лабораторная работа №2. Определение параметров пассивных элементов в цепях переменного тока.	7
Лабораторная работа №3. Исследование трехфазной электрической цепи при присоединении приемников звездой.	9
Лабораторная работа №4. Исследование однофазных выпрямительных устройств	13
Лабораторная работа №5. Исследование светодиодов	17
Лабораторная работа №6. Исследование оптической пары.	23
Список рекомендуемой литературы	29