

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова»
Многопрофильный колледж

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
ДЛЯ ЛАБОРАТОРНЫХ И ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ
УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

ОП.04 Основы электротехники и электронной техники

**для обучающихся специальности
09.02.01 Компьютерные системы и комплексы**

СОДЕРЖАНИЕ

1 ВВЕДЕНИЕ	3
2 МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ	4
Практическое занятие №1	4
Практическое занятие № 2	5
Практическое занятие № 3	6
Практическое занятие № 4	8
Практическое занятие №5	9
Лабораторное занятие №1	12
Лабораторное занятие №2	16
Лабораторное занятие №3	20
Лабораторное занятие №4	22
Лабораторное занятие №5	27
Лабораторное занятие №6	33
Лабораторное занятие №7	35
Лабораторное занятие №8	37
Лабораторное занятие №9	40
Лабораторное занятие №10	42
Лабораторное занятие №11	44
Лабораторное занятие №12	46
Лабораторное занятие №13	48
Лабораторное занятие №14	50
Лабораторное занятие №15	53

1 ВВЕДЕНИЕ

Важную часть теоретической и профессиональной практической подготовки студентов составляют практические и лабораторные занятия.

Состав и содержание практических и лабораторных работ направлены на реализацию Федерального государственного образовательного стандарта среднего профессионального образования.

Ведущей дидактической целью практических занятий является формирование профессиональных практических умений (умений выполнять определенные действия, операции, необходимые в последующем в профессиональной деятельности).

Ведущей дидактической целью лабораторных работ является экспериментальное подтверждение и проверка существенных теоретических положений (законов, зависимостей).

В соответствии с рабочей программой учебной дисциплины «Основы электротехники и электронной техники» предусмотрено проведение практических и лабораторных работ.

В результате их выполнения, обучающийся должен уметь:

- применять основные определения и законы теории электрических цепей;
- различать непрерывные и дискретные сигналы и их параметры;
- различать электрические и полупроводниковые приборы на схеме;
- определять параметры и характеристики основных функциональных узлов электрических и электронных цепей.

Содержание практических и лабораторных работ ориентировано на подготовку студентов к освоению программы подготовки специалистов среднего звена по специальности и овладению **профессиональными компетенциями**:

ПК1.2. Разрабатывать схемы электронных устройств на основе интегральных схем разной степени интеграции в соответствии с техническим заданием.

ПК 3.1. Проводить контроль параметров, диагностику и восстановление работоспособности цифровых устройств компьютерных систем и комплексов.

А также формированию **общих компетенций**:

ОК 01. Выбирать способы решения задач профессиональной деятельности применительно к различным контекстам;

ОК 04. Эффективно взаимодействовать и работать в коллективе и команде.

Практические и лабораторные занятия проводятся в рамках соответствующей темы, после освоения дидактических единиц, которые обеспечивают наличие знаний, необходимых для ее выполнения.

Критерии оценки практических работ:

Оценка «отлично» ставится, если задание выполнено верно.

Оценка «хорошо» ставится, если ход выполнения задания верный, но была допущена одна или две ошибки, приведшие к неправильному результату.

Оценка «удовлетворительно» ставится, если приведено неполное выполнение задания.

Оценка «неудовлетворительно» ставится, если задание не выполнено.

Критерии оценки лабораторных работ:

Оценка «отлично» ставится, если эксперимент проведён, обработаны результаты, выполнены все задания, работа оформлена в соответствии с требованиями.

Оценка «хорошо» ставится, если была допущены ошибки при проведении эксперимента, обработке результатов или при оформлении отчёта.

Оценка «удовлетворительно» ставится, если эксперимент проведён, приведено неполное выполнение заданий.

Оценка «неудовлетворительно» ставится, если эксперимент не проводился, задание не выполнено.

2 МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

Тема 1.1.

Электрическая цепь. Элементы электрической цепи

Практическое занятие №1

Определение параметров и характеристик элементов электрической цепи

Цель: научиться определять параметры и характеристик элементов электрической цепи.

Выполнив работу, Вы будете:

уметь:

- применять основные определения и законы теории электрических цепей;
- различать непрерывные и дискретные сигналы и их параметры;
- определять параметры и характеристики основных функциональных узлов электрических и электронных цепей.

Материальное обеспечение: для проведения практической работы требуется наличие специальной литературы, интернет-ресурсы.

Задание: определите параметры и характеристики элементов электрической цепи

Порядок выполнения работы:

1. Используя справочную литературу, средства интернет и другие информационные источники, определите параметры элементов электрической цепи и заполните таблицы 1, 2, 3. Исходные данные по вариантам приведены в таблице 4.

Таблица 1 – Параметры резисторов

Маркировка элемента	Номинальная мощность, Вт	Диапазон номинальных сопротивлений	Допуск, %	Габаритные размеры, мм		
				Диаметр (ширина), D (B)	Длина (L)	Высота (h)

Таблица 2 – Параметры конденсаторов

Тип	Номинальное напряжение, В	Диапазон номинальных ёмкостей	Допуск, %	Габаритные размеры, мм		
				Диаметр (ширина), D (B)	Длина (L)	Высота (h)

Таблица 3 – Параметры трансформаторов

Тип	Длительность импульса, мкс	Амплитуда импульсов на первичной обмотке, В	Частота следования импульсов, кГц	Ток намагничивания, мА

Таблица 4 – Исходные данные

Вариант		Вариант		Вариант		Вариант	
1	МЛТ-0,125 КД-1 ТИ1	8	СПЗ-9 К75-15 ТИМ1	15	ВС-0,5 К10У-5 ТИ6	22	С2-1 К75-37 ТИ51
2	МЛТ-0,25 КД-2 ТИ26	9	СПЗ-16 К75-41 ТИМ22	16	ВС-0,25 КД-1 ТИ29	23	Р1-16 КМ-6 ТИМ43
3	МЛТ-0,5	10	СП5-30	17	ВС-0,125	24	МЛТ-0,125

	КМ-6 ТИ2		К50-20 ТИМ2		К75-41 ТИ5		К75-15 ТИ52
4	МЛТ-1 К10У-5 ТИ27	11	СПЗ-38 КД-1 ТИМС2 3	18	МЛТ-0,5 К50-6 ТИ30	25	СПЗ-9 К50-20 ТИМ44
5	ВС-0,125 КТ4-21 ТИ3	12	СП-4-1 КМ-6 ТИМ3	19	МЛТ-0,25 КМ-6 ТИМ64	26	СПЗ-30 КД-1 ТИ53
6	ВС-0,25 К50-6 ТИ28	13	Р1-16 К10У-5 ТИМ24	20	МЛТ-1 К75-37 ТИМ25	27	СПЗ-16 К50-6 ТИМ45
7	ВС-0,5 К75-37 ТИ4	14	С2-11 К50-6 ТИМ4	21	МЛТ-0,125 К75-41 ТИМ65	28	СПЗ-38 К10У-5 ТИ54

2. Зарисуйте эскизные чертежи элементов с указанием размеров.

Форма представления результата:

Отчет по работе должен содержать:

- 1) наименование работы и цель работы;
- 2) таблицы с параметрами резисторов, конденсаторов, трансформаторов;
- 3) эскизные чертежи элементов с размерами;
- 4) выводы по работе.

Тема 1.2. Основные понятия, определения и законы теории электрических цепей

Практическое занятие № 2

Определение параметров электрической цепи постоянного тока

Цель: научиться рассчитывать параметры электрической цепи постоянного тока.

Выполнив работу, Вы будете:

уметь:

- применять основные определения и законы теории электрических цепей;
- различать непрерывные и дискретные сигналы и их параметры;
- определять параметры и характеристики основных функциональных узлов электрических и электронных цепей.

Материальное обеспечение: для проведения практической работы наличие специальных материалов и оборудования не требуется.

Задание:

Выполните расчёт цепи постоянного тока, состоящей из источника электроэнергии (аккумуляторная батарея), потребителя электроэнергии (резистор) и соединительных проводов. Исходные данные приведены в таблице 5.

Таблица 5 – Исходные данные

Вариант	Внутреннее сопротивление источника, Ом	Время работы цепи, с	Длина соединительных проводов, м	Площадь сечения проводов, мм ²	Сила тока, А	Напряжение на потребителе, В	Удельное сопротивление проводов, Ом·м
1	0,1	10	0,5	0,4	1	5	$2 \cdot 10^{-7}$
2	0,2	20	0,6	0,5	2	6	$3 \cdot 10^{-8}$
3	0,3	30	0,7	0,6	3	7	$4 \cdot 10^{-8}$
4	0,4	40	0,7	0,7	4	8	$5 \cdot 10^{-7}$
5	0,5	50	0,2	0,8	5	9	$2 \cdot 10^{-7}$
6	0,6	60	0,3	0,9	6	10	$2 \cdot 10^{-8}$
7	0,7	70	0,4	0,4	7	11	$3 \cdot 10^{-8}$
8	0,8	80	0,5	0,5	0,5	12	$4 \cdot 10^{-7}$
9	0,9	90	0,6	0,6	0,6	13	$5 \cdot 10^{-7}$

10	0,1	100	0,7	0,7	0,7	14	$6 \cdot 10^{-8}$
11	0,2	110	0,7	0,8	0,8	15	$2 \cdot 10^{-8}$
12	0,3	120	0,2	0,9	0,9	3	$2 \cdot 10^{-7}$
13	0,4	10	0,3	0,4	1	4	$3 \cdot 10^{-8}$
14	0,5	20	0,4	0,5	2	5	$4 \cdot 10^{-8}$
15	0,6	30	0,5	0,6	3	6	$5 \cdot 10^{-7}$
16	0,7	40	0,6	0,7	4	7	$2 \cdot 10^{-7}$
17	0,8	50	0,7	0,8	5	8	$2 \cdot 10^{-8}$
18	0,9	60	0,7	0,9	6	9	$3 \cdot 10^{-8}$
19	0,1	70	0,2	0,4	7	10	$4 \cdot 10^{-7}$
20	0,2	80	0,3	0,5	0,5	11	$5 \cdot 10^{-7}$
21	0,3	90	0,4	0,6	0,6	12	$6 \cdot 10^{-8}$
22	0,4	100	0,5	0,7	0,7	13	$2 \cdot 10^{-8}$
23	0,5	110	0,6	0,8	0,8	14	$2 \cdot 10^{-7}$
24	0,6	120	0,7	0,9	0,9	15	$3 \cdot 10^{-8}$
25	0,7	10	0,7	0,4	1	5	$4 \cdot 10^{-8}$
26	0,8	20	0,2	0,5	2	6	$5 \cdot 10^{-7}$
27	0,9	30	0,3	0,6	3	7	$2 \cdot 10^{-7}$
28	0,1	40	0,4	0,7	4	8	$2 \cdot 10^{-8}$

Порядок выполнения работы:

- 1) нарисуйте схему электрической цепи согласно её описанию;
- 2) определите сопротивление проводника $R_{\text{пров}}$;
- 3) определите сопротивление потребителя электроэнергии $R_{\text{потр}}$;
- 4) определите ЭДС источника электроэнергии;
- 5) определите количество теплоты, выделяемое проводником при нагреве;
- 6) определите мощность потребителя;
- 7) определите мощность источника электроэнергии;
- 8) определите коэффициент полезного действия (КПД) цепи.

Форма представления результата:

Отчет по работе должен содержать:

- 1) наименование работы и цель работы;
- 2) исходные данные для расчёта (по вариантам);
- 3) схему электрической цепи;
- 4) результаты расчётов;
- 5) выводы по работе.

Тема 1.4. Методы расчета электрических цепей постоянного тока

Практическое занятие № 3

Расчёт цепей постоянного тока разными методами

Цель: научиться рассчитывать электрические цепи постоянного тока разными методами.

Выполнив работу, Вы будете:

уметь:

- применять основные определения и законы теории электрических цепей;
- различать непрерывные и дискретные сигналы и их параметры;
- определять параметры и характеристики основных функциональных узлов электрических и электронных цепей.

Материальное обеспечение: для проведения практической работы наличие специальных материалов и оборудования не требуется.

Задание: Определить токи в цепи: методом узловых и контурных уравнений, методом наложения, методом узлового напряжения, методом контурных токов. Составьте баланс мощностей. Схемы электрических цепей приведены на рисунке 1. Исходные данные вариантов приведены в таблице 6.

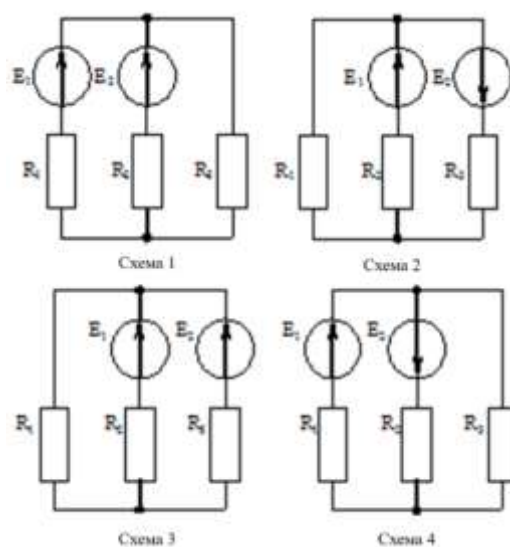


Рисунок 1 - Схемы электрических цепей

Таблица 6 – Исходные данные

Вариант	№ схемы	E_1 , В	E_2 , В	R_1 , Ом	R_2 , Ом	R_3 , Ом
1	1	100	80	1	5	20
2	2	110	70	2	4	21
3	3	120	60	3	3	22
4	4	130	50	4	2	23
5	1	140	60	5	1	24
6	2	150	70	4	1	25
7	3	140	80	3	2	20
8	4	130	70	2	1	21
9	1	120	60	1	2	22
10	2	110	50	1	3	23
11	1	100	80	2	4	24
12	2	110	70	3	5	25
13	3	120	60	4	3	20
14	4	130	50	5	5	21
15	1	140	60	4	1	22
16	2	150	70	3	2	23
17	3	140	80	2	3	24
18	4	130	70	1	4	25
19	1	120	60	1	5	20
20	2	110	50	2	1	21
21	1	100	80	3	1	22
22	2	110	70	4	2	23
23	3	120	60	5	3	24
24	4	130	50	4	4	25
25	1	140	60	3	5	20
26	2	150	70	2	4	21
27	3	140	80	1	3	22
28	4	130	70	1	2	23
29	1	120	60	2	1	24
30	2	110	50	3	2	25

Форма представления результата

Отчет по работе должен содержать:

- 1) наименование работы и цель работы;
- 2) исходные данные для расчёта (по вариантам);
- 3) схема электрической цепи к каждой задаче;
- 4) результаты расчётов;
- 5) выводы по работе.

Тема 1.5. Нелинейные электрические цепи

Практическое занятие № 4

Расчёт нелинейных электрических цепей

Цель: научиться рассчитывать нелинейные электрические цепи постоянного тока.

Выполнив работу, Вы будете:

уметь:

- применять основные определения и законы теории электрических цепей;
- различать непрерывные и дискретные сигналы и их параметры;
- определять параметры и характеристики основных функциональных узлов электрических и электронных цепей.

Материальное обеспечение: для проведения практической работы наличие специальных материалов и оборудования не требуется.

Задание: Решите задачи, используя графоаналитический метод расчёта.

1. Пользуясь рисунком 2, запишите порядок решения следующих задач:

1.1. Дано напряжение U_2 . Определите в цепи ток и напряжение U_1 и U .

1.2. Дан ток. Определить напряжения U_1 , U_2 и U .

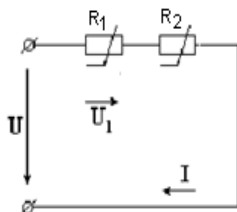


Рисунок 2 – Последовательное соединение нелинейных элементов

2. Пользуясь рисунком 3, запишите порядок решения следующих задач:

2.1. Дан ток I_2 . Определите напряжение U и токи I_1 , I .

2.2. Дан ток I . Определить напряжение U и токи I_1 , I_2 .

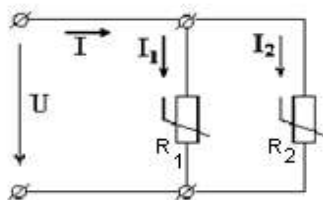


Рисунок 3 – Параллельное соединение нелинейных элементов

3. Постройте вольтамперную характеристику лампы накаливания по данным таблицы 7.

Таблица 7 - Характеристика лампы накаливания

U, В	0	20	40	60	80	100	120
I, А	0	0,6	1,1	1,5	1,85	2,15	2,4

Форма представления результата

Отчет по работе должен содержать:

- 1) наименование работы и цель работы;
- 2) схема электрической цепи к задаче;

- 3) результаты расчётов;
- 4) выводы по работе.

Тема 1.6. Электромагнетизм

Практическое занятие №5

Расчёт магнитных цепей

Цель: научиться рассчитывать магнитные цепи постоянного тока.

Выполнив работу, Вы будете:

уметь:

- применять основные определения и законы теории электрических цепей;
- различать непрерывные и дискретные сигналы и их параметры;
- определять параметры и характеристики основных функциональных узлов электрических и электронных цепей.

Материальное обеспечение: для проведения практической работы наличие специальных материалов и оборудования не требуется.

Краткие теоретические сведения

Расчетные формулы

Электромагнетизм

$$dB = \frac{\mu_0 I d \ell \sin \alpha}{4\pi r^2} - \text{закон Био-Савара.}$$

$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} = 1,25 \cdot 10^{-6} \text{ Гн/м} - \text{магнитная постоянная.}$$

$$\mu_a = \mu_0 \mu_r - \text{абсолютная магнитная проницаемость.}$$

$$\Phi = B_n S - \text{магнитный поток в однородном магнитном поле.}$$

$$H = \frac{B}{\mu_a} = \frac{B}{\mu_0 \mu_r} - \text{напряженность магнитного поля.}$$

$$\oint H_i d\ell = \sum I - \text{закон полного тока.}$$

$$H_A = \frac{I}{2\pi r} - \text{напряженность в точке } A, \text{ созданная током } I \text{ вне проводника.}$$

$$H_A = \frac{I}{2\pi a^2} r - \text{напряженность в точке } A, \text{ созданная током } I \text{ внутри проводника радиусом сечения } a.$$

$$H_A = \frac{IW}{\ell} - \text{напряженность магнитного поля в катушке (приближенная).}$$

$$H_A = \frac{IW}{2\ell} (\cos \beta_1 + \cos \beta_2) - \text{уточненное выражение напряженности в точке } A \text{ на осевой линии цилиндрической катушки.}$$

$$F_u = IB \ell \sin \alpha - \text{электромагнитная сила.}$$

$$F_u = \mu_0 \mu_r \frac{I_1 I_2}{2\pi r} \ell - \text{сила взаимодействия проводников с током.}$$

$$R_m = \frac{\ell}{\mu_0 \mu_r S} - \text{магнитное сопротивление.}$$

$$\Phi = \frac{I_1 W_1 \pm I_2 W_2}{\frac{\ell_1}{\mu_0 \mu_1 S_1} + \frac{\ell_2}{\mu_0 \mu_2 S_2} + \frac{\ell_3}{\mu_0 \mu_3 S_3}} - \text{закон Ома для неразветвленной неоднородной магнитной цепи.}$$

$$E = BV \sin \alpha - \text{ЭДС электромагнитной индукции в проводнике, пересекающем однородное магнитное поле.}$$

$$e = \frac{d\Phi}{dt} - \text{ЭДС электромагнитной индукции в проводнике.}$$

$$e = -\frac{d\Phi}{dt} - \text{ЭДС электромагнитной индукции в контуре.}$$

$$\Psi = \Phi W - \text{потокосцепление, где } W - \text{число витков (контуров) катушки.}$$

$$e = -\frac{d\Psi}{dt} - \text{ЭДС электромагнитной индукции в катушке.}$$

$$L = \frac{\Psi}{I} - \text{индуктивность.}$$

$$L = \mu_0 \mu_r \frac{W^2}{\ell} S - \text{индуктивность катушки.}$$

$$e_L = -L \frac{di}{dt} - \text{ЭДС самоиндукции.}$$

$$W_m = \frac{I^2 L}{2} - \text{энергия в магнитном поле индуктивности.}$$

$$M = \frac{\Psi_{1,2}}{I_1} = \frac{\Psi_{2,1}}{I_2} - \text{взаимная индуктивность.}$$

$$M = \mu_0 \mu_r \frac{W_1 W_2}{\ell} S - \text{взаимная индуктивность двух магнитосвязанных катушек (при отсутствии рассеяния).}$$

$$M = K \sqrt{L_1 L_2} - \text{взаимная индуктивность двух магнитосвязанных катушек.}$$

$$e_{M_2} = -M \frac{di_1}{dt} - \text{ЭДС взаимной индукции во второй катушке.}$$

$$e_{M_1} = -M \frac{di_2}{dt} - \text{ЭДС взаимной индукции в первой катушке.}$$

$$U_1 = i_1 R_1 + L_1 \frac{di_1}{dt} + M \frac{di_2}{dt} - \text{напряжение первичной обмотки трансформатора.}$$

$$U_2 = i_2 R_2 + L_2 \frac{di_2}{dt} + M \frac{di_1}{dt} - \text{напряжение вторичной обмотки трансформатора.}$$

Примеры решения задач

Пример 1

Определить ток в катушке, имеющей 250 витков, и магнитную проницаемость сердечника, на котором расположена катушка (рис. 1), выполненном из литой стали, если магнитный поток, созданный током катушки в сердечнике, $\Phi = 8 \cdot 10^{-4}$ Вб. Размеры однородной магнитной цепи даны в мм.

Решение

По заданному магнитному потоку определяем магнитную индукцию в сердечнике:

$$B = \frac{\Phi}{S} = \frac{8 \cdot 10^{-4}}{7,5 \cdot 10^{-4}} = 1,07 \text{ Тл},$$

где $S = 25 \cdot 30 \text{ мм}^2 = 2,5 \cdot 10^{-2} \cdot 3 \cdot 10^{-2} = 7,5 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$.

По кривой намагничивания для литой стали (Приложение 6) определяем напряженность магнитного поля в сердечнике для вычисленного значения индукции $B = 1,07$ Тл:

$$H = 500 \text{ А/м}.$$

Величину тока определяем из уравнения закона полного тока $IW = H\ell$

$$I = \frac{H\ell}{W} = \frac{500 \cdot 340 \cdot 10^{-3}}{250} = 0,68 \text{ А},$$

где $\ell = 2 \cdot (120 - 25) \cdot 10^{-3} + 2 \cdot (100 - 25) \cdot 10^{-3} = 340 \cdot 10^{-3} \text{ м}$.

Магнитная проницаемость литой стали определяется отношением

$$\mu_r = \frac{B}{H\mu_0} = \frac{1,07}{500 \cdot 4\pi \cdot 10^{-7}} = 1700.$$

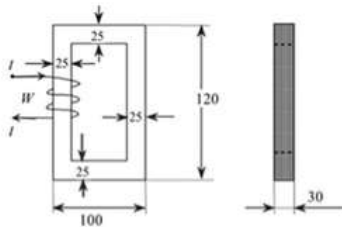


Рис. 1

Пример 3

На среднем стержне Ш-образного симметричного сердечника, выполненного из электротехнической стали 1311 (Э21), расположена обмотка с числом витков $W = 515$ (рис. 3.). Якорь А этой разветвленной магнитной цепи выполнен из стали 1512 (Э42). Между якорем А и сердечником находится воздушный зазор $\ell_{\text{заз}} = 0,2$ мм. Размеры магнитной цепи на рис. 3.18 даны в мм. Определить величину тока в обмотке, расположенной на среднем стержне, при котором в якорь А создается магнитная индукция $B_A = 1,2$ Тл.

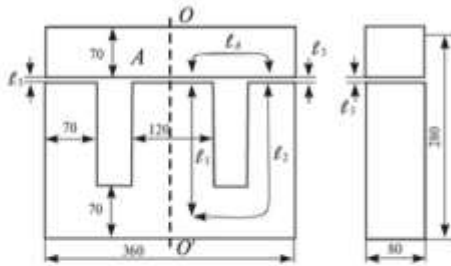


Рис. 3.

Решение

Разделим магнитную цепь по оси симметрии (OO') на две равные части. Каждая часть рассчитывается отдельно, как неразветвленная неоднородная магнитная цепь. Магнитный поток Φ в каждой части определяется по заданной магнитной индукции в якорь

$$\Phi = B_A S_A = 1,2 \cdot 56 \cdot 10^{-4} = 67,2 \cdot 10^{-4} \text{ Вб},$$

где $S_A = 7 \cdot 10^{-2} \cdot 8 \cdot 10^{-2} = 56 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$.

В каждой части (половине) вычисленный магнитный поток замыкается через якорь, Ш-образный участок магнитопровода и два воздушных зазора.

1. По вычисленному потоку Φ определяем магнитную индукцию в однородных участках:

$$\text{на участке } \ell_1: B_1 = \frac{\Phi}{S_1} = \frac{67,2 \cdot 10^{-4}}{48 \cdot 10^{-4}} = 1,4 \text{ Тл},$$

где $S_1 = 6 \cdot 10^{-2} \cdot 8 \cdot 10^{-2} = 48 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$;

Пример 2

По катушке с числом витков $W = 300$ проходит ток 2 А. Катушка расположена на сердечнике из электротехнической стали, размеры которого даны в мм. Определить магнитный поток Φ в магнитопроводе (рис. 2) однородной магнитной цепи.

Решение

Напряженность магнитного поля, созданная током катушки, для однородной магнитной цепи

$$H = \frac{IW}{\ell} = \frac{2 \cdot 300}{75 \cdot 10^{-2}} = 800 \text{ А/м},$$

где $\ell = 2\pi R = 2\pi \cdot 120 \cdot 10^{-3} = 75 \cdot 10^{-2} \text{ м}$ — длина средней линии кольцевого сердечника.

По кривой намагничивания электротехнической стали (Приложение 6) определяем

$$B = 0,9 \text{ Тл}.$$

Тогда магнитный поток в сердечнике

$$\Phi = BS = 0,9 \cdot 19,6 \cdot 10^{-4} = 17,6 \cdot 10^{-4} \text{ Вб},$$

где $S = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{3,14 \cdot (50 \cdot 10^{-3})^2}{4} = 19,6 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$.

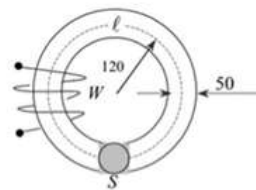


Рис. 2

$$\text{на участке } \ell_2: B_2 = \frac{\Phi}{S_2} = \frac{67,2 \cdot 10^{-4}}{56 \cdot 10^{-4}} = 1,2 \text{ Тл},$$

где $S_2 = 7 \cdot 10^{-2} \cdot 8 \cdot 10^{-2} = 56 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$;

в зазоре бокового стержня: $B_{3,2} = B_2 = 1,2$ Тл;

в зазоре среднего стержня: $B_{3,1} = B_1 = 1,4$ Тл;

в якорь: $B_A = 1,2$ Тл.

2. Напряженность магнитного поля для ферромагнитных участков (Приложение 5):

$$H_A = 540 \text{ А/м}; H_1 = 1580 \text{ А/м}; H_2 = 840 \text{ А/м}.$$

Напряженность в воздушных зазорах:

$$H_{3,1} = \frac{B_{3,1}}{\mu_0} = \frac{1,4}{4\pi \cdot 10^{-7}} = 1,1 \cdot 10^6 \text{ А/м};$$

$$H_{3,2} = \frac{B_{3,2}}{\mu_0} = \frac{1,2}{4\pi \cdot 10^{-7}} = 0,95 \cdot 10^6 \text{ А/м}.$$

3. Величину тока определяем из уравнения, составленного по закону полного тока:

$$I = \frac{H_A \ell_A + H_1 \ell_1 + H_2 \ell_2 + (H_{3,1} + H_{3,2}) \ell_3}{W} =$$

$$= \frac{540 \cdot 18,5 \cdot 10^{-2} + 1580 \cdot 17,5 \cdot 10^{-2} + 840 \cdot 29 \cdot 10^{-2} + (1,1 + 0,95) \cdot 10^6 \cdot 2 \cdot 10^{-4}}{515} = 2 \text{ А},$$

где длина средней линии каждого участка:

$$\ell_A = 35 + 115 + 35 = 185 \text{ мм} = 18,5 \cdot 10^{-2} \text{ м};$$

$\ell_1 = 280 - 70 - 35 = 175 \text{ мм} = 17,5 \cdot 10^{-2} \text{ м}$ (длиной зазора пренебрегаем);

$$\ell_2 = 175 + 115 = 290 \text{ мм} = 29 \cdot 10^{-2} \text{ м} \text{ (длиной зазора пренебрегаем);}$$

$$\ell_3 = 0,2 \text{ мм} = 0,2 \cdot 10^{-4} \text{ м}.$$

Таким образом, индукцию $B_A = 1,2$ Тл в якорь разветвленной магнитной цепи (см. рис. 3.18) создает ток $I = 2$ А.

Пример 4

В сердечнике из стали 1211 (Э11) магнитный поток $\Phi = 0,92 \cdot 10^{-3}$ Вб. Число витков катушки $W = 2000$. Размеры сердечника и воздушного зазора даны в мм. Определить ток в катушке (рис. 4).

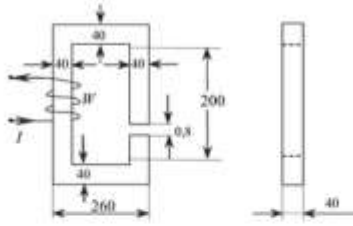


Рис. 4

Решение

Магнитная индукция в сердечнике и воздушном зазоре имеет одинаковое значение (поскольку сечения одинаковы):

$$B_c = B_{\text{воз}} = \frac{\Phi}{S} = \frac{0,92 \cdot 10^{-3}}{16 \cdot 10^{-4}} = 1,2 \text{ Тл,}$$

где $S = S_c = S_{\text{воз}} = 40 \cdot 10^{-3} \cdot 40 \cdot 10^{-3} = 16 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$.

Значения напряженности на участках:

$$H_c = 840 \text{ А/м (Приложение 5);}$$

$$H_{\text{воз}} = \frac{B_{\text{воз}}}{\mu_0} = \frac{1,2}{4\pi \cdot 10^{-7}} = 0,96 \cdot 10^6 \text{ А/м.}$$

Величина тока в катушке

$$I = \frac{H_c \ell_c + H_{\text{воз}} \ell_{\text{воз}}}{W} = \frac{840 \cdot 919,2 \cdot 10^{-3} + 0,96 \cdot 10^6 \cdot 0,8 \cdot 10^{-3}}{2000} = 0,77 \text{ А,}$$

$$\text{где } \ell_c = 2 \cdot 240 \cdot 10^{-3} + 2 \cdot 220 \cdot 10^{-3} - 0,8 \cdot 10^{-3} = 919,2 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

Задание: Решите задачи:

1. Каким должен быть намагничивающий ток катушки индуктивности, имеющей 200 витков, чтобы ее намагничивающая сила создала в чугунном кольце магнитный поток 0,000157 Вб? Средний радиус чугунного кольца 5 см, а диаметр его сечения 2 см (рисунок 4).
2. Замкнутая магнитная цепь (рисунок 5) выполнена из пластин трансформаторной стали. Сколько витков должна иметь катушка с током 0,5 А, чтобы создать в сердечнике магнитный поток 0,0016 Вб?
3. Магнитная цепь, изображенная на рисунке 6, аналогична магнитной цепи предыдущего примера, за исключением того, что она имеет воздушный зазор 5 мм. Какими должны быть намагничивающая сила и ток катушки, чтобы магнитный поток был таким же, как и в предыдущем примере, то есть 0,0016 Вб?
4. Расчетom найдено, что магнитный поток трансформатора 72000 Мкс. Требуется рассчитать намагничивающую силу и намагничивающий ток первичной обмотки, имеющей 800 витков. В сердечнике трансформатора имеется зазор 0,2 мм. Размеры сердечника трансформатора показаны на рисунке 7. Сечение сердечника 6 см^2 .

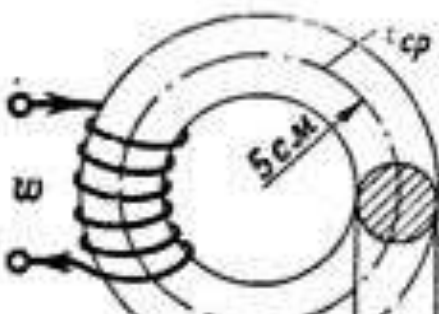


Рис. 1

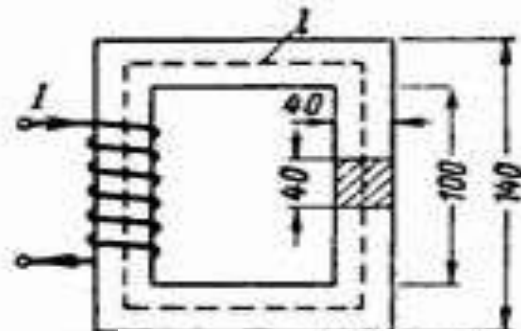
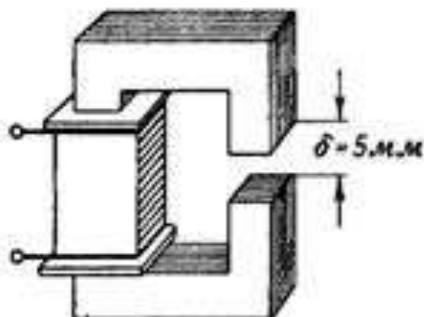


Рис. 2



Форма представления результата

Отчет по работе должен содержать:

- 1) наименование работы и цель работы;
- 2) исходные данные для расчёта;
- 3) результаты расчётов;
- 4) выводы по работе.

Тема 1.3 Виды соединений потребителей постоянного тока Лабораторное занятие №1

Измерение электрических величин и параметров элементов электрических цепей

Цель работы: ознакомиться с измерительными приборами и источниками питания программной среды EasyEDA, изучить методы и приобрести навыки измерения тока, напряжения, а также сопротивлений резисторов различными методами.

Выполнив работу, Вы будете:

уметь:

- различать непрерывные и дискретные сигналы и их параметры;
- определять параметры и характеристики основных функциональных узлов электрических и электронных цепей.

Материальное обеспечение: ПК с выходом в Интернет

Краткие теоретические сведения

Виды и методы измерения электрических величин

В зависимости от способа обработки экспериментальных данных для нахождения результата различают прямые, косвенные, совместные и совокупные измерения.

При *прямом измерении* искомое значение величины находят непосредственно из опытных данных в результате выполнения измерения, например, измерение амперметром тока в ветви цепи.

Косвенное измерение — измерение, при котором искомое значение величины находят на основании известной зависимости между этой величиной и величинами, подвергаемыми прямым измерениям: например, определение сопротивления R резистора из уравнения $R = U/I$, в которое подставляют измеренное значение напряжения U на зажимах резистора и протекающего через него постоянного тока I .

Совместные измерения — одновременные измерения нескольких неоднородных величин для нахождения зависимости между ними: например, определение зависимости сопротивления резистора от температуры по формуле $R_t = R_0(1 + at + bt^2)$ посредством измерения сопротивления резистора R_t при трех различных температурах t . Составив систему из трех уравнений, находят параметры R_0 , a и b зависимости сопротивления резистора от температуры.

Совокупные измерения — одновременные измерения нескольких однородных величин, при которых искомые значения величин находят решением системы уравнений, составленных из результатов прямых измерений различных сочетаний этих величин: например, определение сопротивлений резисторов, соединенных треугольником, посредством измерения

сопротивлений между различными вершинами треугольника. По результатам трех измерений по известным соотношениям определяют сопротивления резисторов треугольника.

Различают также аналоговые и дискретные измерения. При *аналоговых* измерениях на заданном интервале число измерений электрической величины бесконечно, а при *дискретных* — число измерений конечно.

В зависимости от способа применения меры известной величины выделяют при измерениях метод непосредственной оценки и метод сравнения с мерой.

При *методе непосредственной оценки* значение измеряемой величины определяют непосредственно по отсчетному устройству (индикатору) измерительного прибора, например, измерение напряжения с помощью вольтметра.

Методы сравнения с мерой — методы, при которых проводится сравнение измеряемой величины и величины, воспроизводимой мерой: например, измерение, сопротивления резистора с помощью моста сопротивлений.

Мгновенные значения напряжения и тока можно измерить с помощью двухканального осциллографа XSC1, имитируемого программой EasyEDA.

Измерение *действующих* значений напряжения и тока в ветвях электрической цепи проводится мультиметром XMM (рис. 8), который может работать в режиме измерения тока или напряжения (включается *последовательно* с элементами ветви, либо *параллельно* участку цепи, напряжение на котором необходимо измерить). Для установки режима работы нужно дважды нажать на левую клавишу мыши (в дальнейшем дважды *щелкнуть мышью*) на изображении соответствующего прибора, в открывшемся диалоговом окне свойств прибора установить режим работы (амперметр / вольтметр).

В реальных цепях для расширения диапазона измерения тока конкретным амперметром применяют *шунт* (тарированный резистор), включаемый параллельно с амперметром. В этом случае значение измеряемого тока равно показанию амперметра, умноженному на постоянный коэффициент, определяемый по правилу *делителя тока*. При измерении больших переменных токов используют измерительный *трансформатор тока*, первичная обмотка которого включается в ветвь с измеряемым током, а вторичная — замкнута на амперметр. Значение измеряемого тока равно показанию амперметра, умноженному на константу, определяемую коэффициентом трансформации тока измерительного трансформатора.

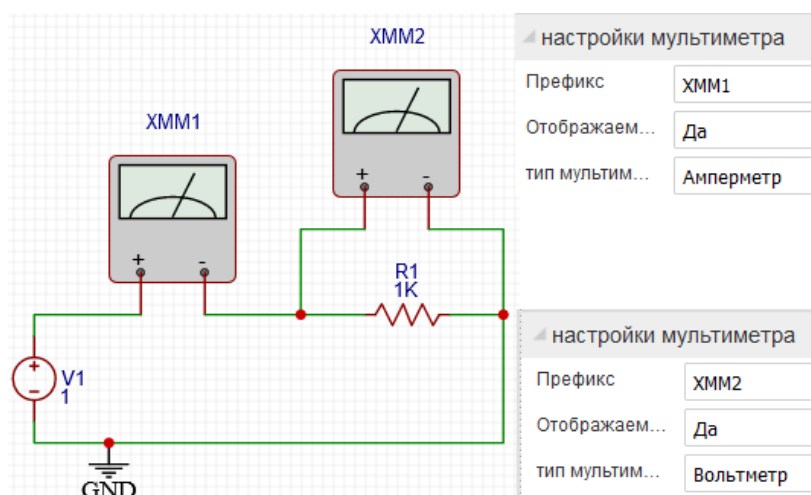


Рис. 8

С целью расширения диапазона измерения напряжения конкретным вольтметром последовательно с его входом включают тарированный резистор. В этом случае значение измеряемого напряжения равно показанию вольтметра, умноженному на коэффициент, определяемый по правилу *делителя напряжения*. При измерении высоких напряжений переменного тока используют измерительный *трансформатор напряжения*, к вторичной обмотке которого подключают вольтметр. Измеряемое напряжение равно показанию

вольтметра, умноженному на константу, зависящую от коэффициента трансформации напряжения измерительного трансформатора.

Измерение сопротивлений

Для прямого измерения сопротивления резистивного элемента (резистора в том числе) будем использовать омметр.

В практике измерения *сопротивлений* резистивных элементов широко используется так называемый *метод вольтметра-амперметра*, в основу которого положен закон Ома для цепей постоянного тока. Заметим, что этот метод позволяет получить лишь приближенное значение измеряемого сопротивления $R \approx U/I$.

Задания и указания к их выполнению

Номинальные значения сопротивления резисторов предварительно рассчитываем:

	R1, кОм	R2, кОм	R3, кОм	R4, кОм
1 подгруппа	№ ПК•2	№ ПК•3	№ ПК•4	№ ПК•5
2 подгруппа	№ ПК•6	№ ПК•7	№ ПК•8	№ ПК•9

Задание 1. Последовательное соединение резисторов

В среде EasyEDA создайте проект с названием «Lab_1». Все схемы заданий выполняйте в одном проекте, но на разных листах (Sheet 1, Sheet 2).

На рабочем поле среды EasyEDA соберите схему, приведенную на рис. 9 Установите мультиметр XMM1 в режим амперметра, а XMM2-XMM5 – вольтметра.

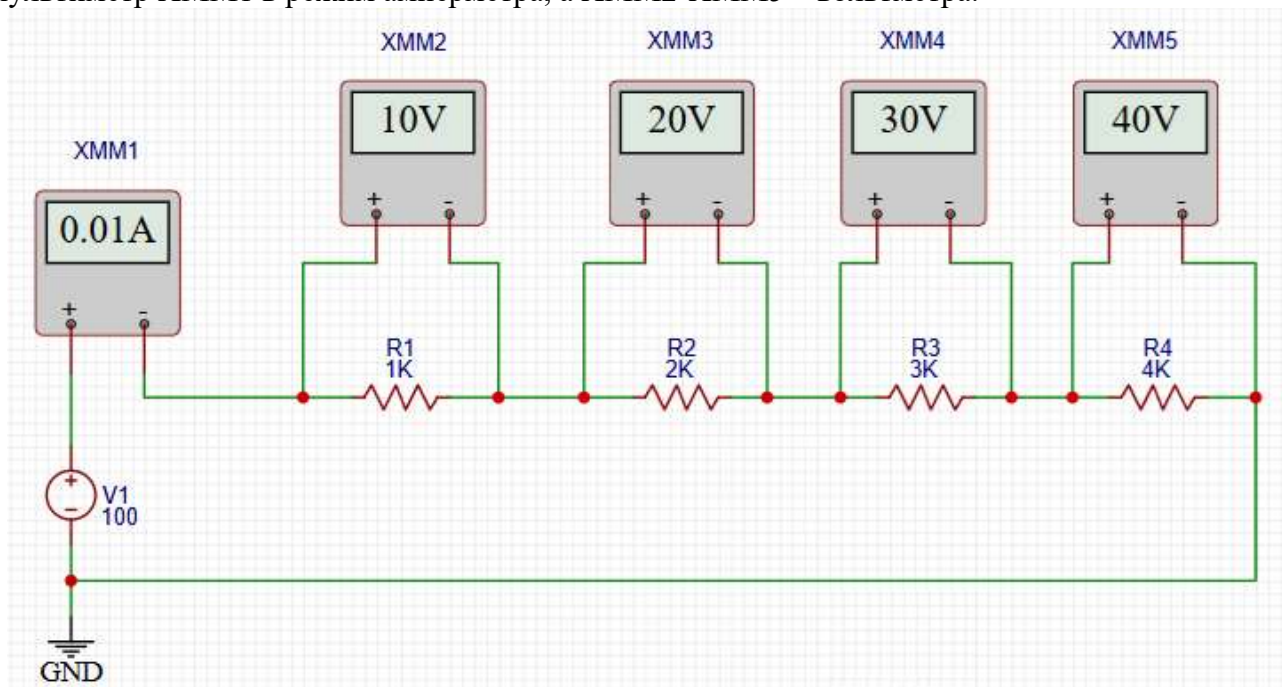


Рис. 9. Схема задания 1

Задайте номиналы резисторов R1, R2, R3, R4 согласно своему варианту (впишите значения в строку Параметр таблицы 1). Запустите симуляцию. Снимите полученные показания и занесите в таблицу 1.

Таблица 1

Параметр	R1 =	R2 =	R3 =	R4 =
Ток, мА				
Напряжение, В				

Сделайте выводы значения токов и напряжений в зависимости от сопротивления резисторов при последовательном их соединении.

Задание 2. Параллельное соединение резисторов

В проекте «Lab_1» создайте второй лист (Sheet 2) – значок «+» внизу слева рабочего поля:



На рабочем поле среды EasyEDA соберите схему, приведенную на рис. 10. Установите мультиметр XMM10 в режим вольтметра, а XMM6-XMM9 – амперметра. Запустите симуляцию.

Задайте номиналы резисторов R1, R2, R3, R4 согласно своему варианту (впишите значения в строку Параметр таблицы 2). Снимите полученные показания и занесите в таблицу 2.

Таблица 2.

Параметр	R1 =	R2 =	R3 =	R4 =
Ток, мА				
Напряжение, В				

Сделайте выводы значения токов и напряжений в зависимости от сопротивления резисторов при параллельном их соединении.

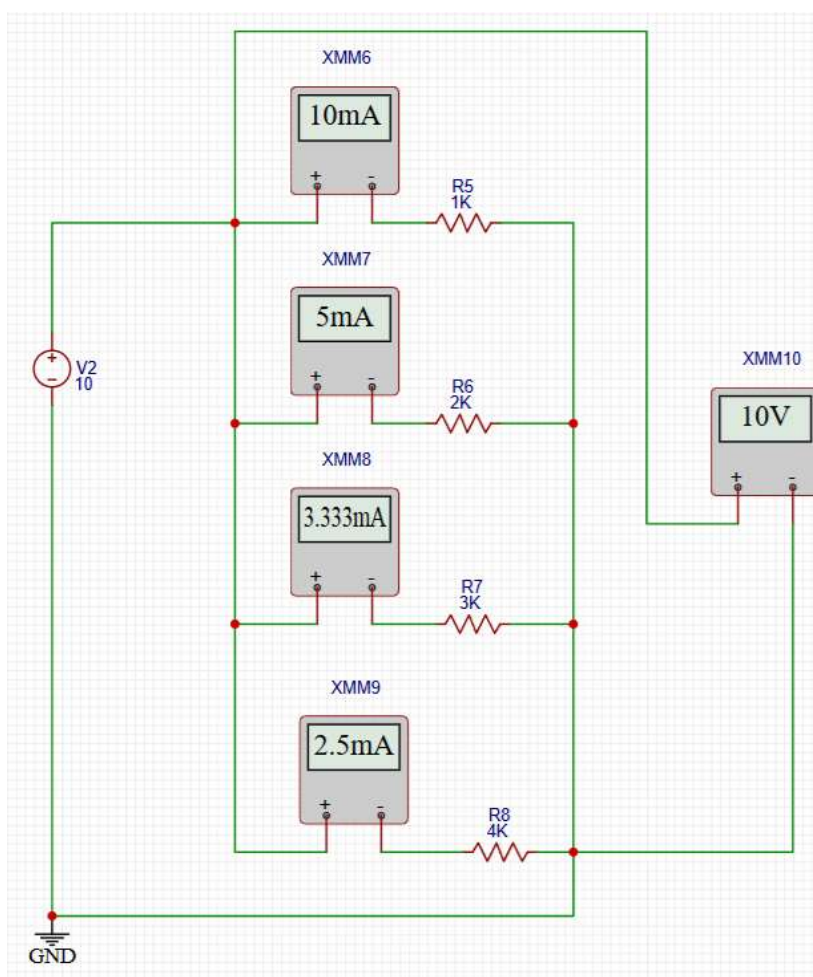


Рис. 10. Схема задания 2

Задание 3. Смешанное соединение резисторов

В проекте «Lab_1» создайте третий лист (Sheet 3) – значок «+» внизу слева рабочего поля.

На рабочем поле среды EasyEDA соберите схему, приведенную на рис. 11. Установите мультиметр XMM11 в режим амперметра, а XMM12 – вольтметра. Запустите симуляцию.

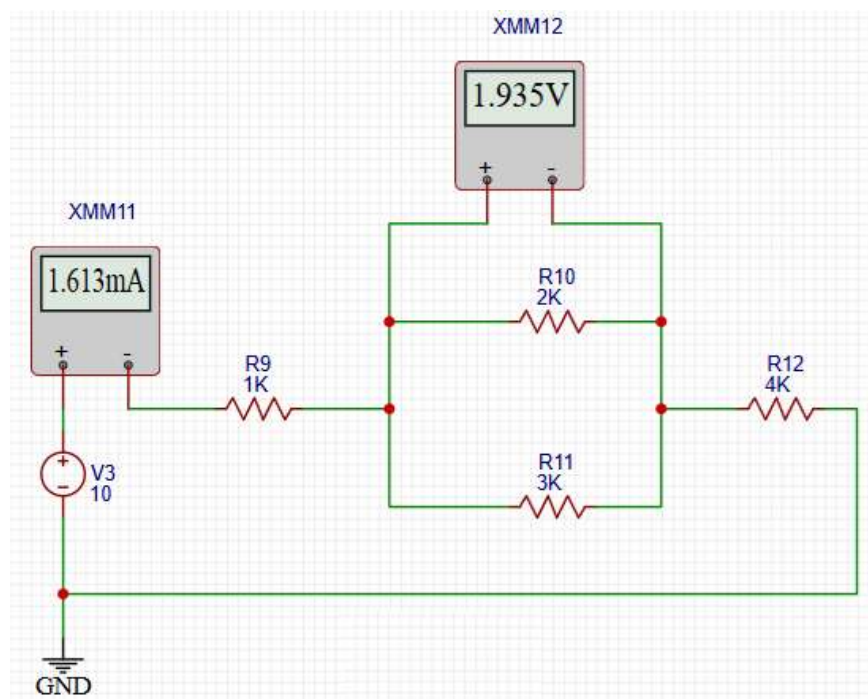


Рис. 11. Схема задания 3.

Задайте номиналы резисторов R1, R2, R3, R4 согласно своему варианту (впишите значения в строку Параметр таблицы 3). Снимите полученные показания и занесите в таблицу 3 (неизвестные параметры не заполняем).

Таблица 3.

Параметр	R1 =	R2 =	R3 =	R4 =
Ток, мА				
Напряжение, В				

Рассчитайте все неизвестные параметры, используя данные таблицы и закон Ома для участка цепи: $I = U / R$.

Сделайте выводы значения токов и напряжений в зависимости от сопротивления резисторов при смешанном их соединении.

Контрольные вопросы

1. Чем различаются прямые и косвенные измерения?
2. Чем различаются совместные и совокупные измерения?
3. Какие методы оценки вы использовали при выполнении заданий 1, 2, 3?
4. Какими приборами можно измерить мгновенные значения сигналов?
5. Что можно измерить мультиметром среды EasyEDA?

Содержание отчета

1. Наименование и цель работы.
2. Перечень приборов, использованных в экспериментах.
3. Электрические схемы измерения (демонстрируются на ПК).
4. Таблицы результатов измерений и расчетов.
5. Расчетные формулы.
6. Ответы на контрольные вопросы.
7. Выводы по работе.

Тема 1.4. Методы расчета электрических цепей постоянного тока

Лабораторное занятие №2

Экспериментальное исследование линейной цепи с двумя источниками постоянного напряжения

Цель работы: экспериментальное исследование двухконтурной схемы цепи с двумя источниками постоянного напряжения.

Выполнив работу, Вы будете:

уметь:

- различать непрерывные и дискретные сигналы и их параметры;
- определять параметры и характеристики основных функциональных узлов электрических и электронных цепей.

Материальное обеспечение: ПК с выходом в Интернет

Краткие теоретические сведения

Описание схемы цепи

В работе исследуется двухконтурная схема цепи (рис. 12) с двумя источниками постоянного напряжения, имитирующая, например, электрическую цепь электропитания автомобиля. В состав такой цепи входят: генератор с ЭДС E_1 и внутренним сопротивлением R_1 , аккумуляторная батарея с ЭДС E_2 и внутренним сопротивлением R_2 и эквивалентная нагрузка R_3 .

В соответствии с вариантом задания нужно установить значения ЭДС E_1 и E_2 источников энергии, их внутренние сопротивления R_1 и R_2 и сопротивление нагрузки R . При проведении опытов сопротивление потенциометра (нагрузки) R необходимо изменять в широких пределах. Условное положительное направление токов в ветвях схемы указано на рис. 12.

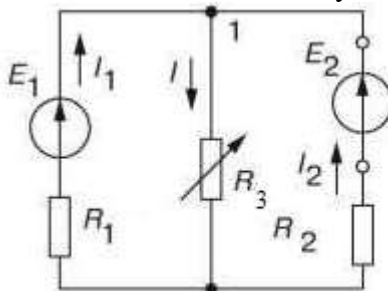


Рис. 12. Двухконтурная цепь

Расчет токов ветвей методом законов Кирхгофа

Для расчета токов ветвей используют следующие методы: метод законов Кирхгофа, метод наложения, метод контурных токов, метод двух узлов.

Проведем расчет токов в ветвях схемы (см. рис. 12) методом законов Кирхгофа. Согласно первому закону Кирхгофа (1ЗК) для узла 1:

$$I_1 + I_2 - I_3 = 0.$$

Согласно второму закону Кирхгофа (2ЗК) для левого и правого контуров схемы имеем:

$$E_1 = R_1 I_1 + R_3 I_3;$$

$$E_2 = R_2 I_2 + R_3 I_3$$

Полученную систему уравнений рассчитываем и получаем значения токов I_1 , I_2 , I_3 .

Мощность, потребляемая нагрузкой, и баланс мощностей

Мощность, потребляемая нагрузкой R_3 , равна (в Вт)

$$P = R_3 I_3^2.$$

Составим баланс мощностей схемы цепи. Алгебраическая сумма мощностей, развиваемых источниками энергии, равна сумме мощностей, потребляемой нагрузкой и теряемой внутри источников, то есть

$$\pm E_1 I_1 \pm E_2 I_2 = R_3 I_3^2 + R_1 I_1^2 + R_2 I_2^2$$

(знак «плюс» ставится при совпадении направлений ЭДС E_k и тока I_k источника, а знак «минус» — при противоположном их направлении).

Потенциальная диаграмма контура

Потенциальная диаграмма — это распределение потенциалов узлов схемы в зависимости от сопротивлений элементов контура, то есть $\varphi = f(R)$.

Для построения потенциальной диаграммы, например, для наружного контура (см. рис. 12), необходимо знать величину и направление токов ветвей и ЭДС источников.

Пусть $E_1 = 14$ В; $R_1 = 0,5$ Ом; $E_2 = 12$ В; $R_2 = 2$ Ом; $R_3 = 10$ Ом. Воспользовавшись онлайн – калькулятором систем уравнений (например, <https://ru.symbolab.com/solver/system-of-equations-calculator>), находим токи ветвей :

$$I_1 \approx 1,85 \text{ A}; I_2 \approx -0,54 \text{ A}; I_3 \approx 1,31 \text{ A}.$$

Заземлим узел a (рис. 13, а), то есть примем его потенциал $\varphi_a = 0$.

Тогда потенциал точки b $\varphi_b = \varphi_a - R_{BT1}I_1 = 0 - 0,5 \times 1,85 = -0,925$ В, так как ток I_1 протекает от точки a к точке b ; $\varphi_c = \varphi_b + E_1 = -0,925 + 14 = 13,075$ В, так как потенциал точки c больше φ_b на 14 В (на диаграмме рис. 13, б скачок потенциала на 14 В за счет сторонних сил).

Потенциал точки d : $\varphi_d = \varphi_c - E_2 = 13,075 - 12 = 1,075$ В, а потенциал точки a : $\varphi_a = \varphi_d - R_{BT2}I_2 = 1,075 - 2 \times 0,54 = 0$ В.

Возвращение в исходную точку a с нулевым потенциалом после расчета потенциалов всех точек вдоль выбранного контура подтверждает правильность расчета цепи.

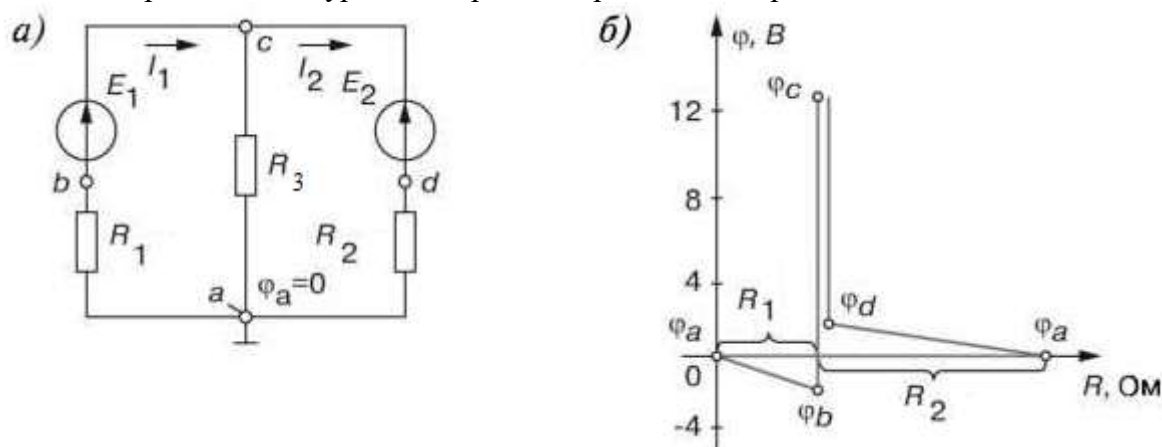


Рис. 13. Схема (а) и ее потенциальная диаграмма (б)

Задания и указания к их выполнению

Задание 1. Предварительный расчет

Рассчитать токи ветвей схемы (см. рис. 12) методом законов Кирхгофа, напряжение $U_1 = E_1 - R_1 I_1$ и мощность, потребляемую нагрузкой R_3 . Проверить результаты расчета методом баланса мощностей и построением потенциальной диаграммы наружного контура.

При расчетах использовать параметры элементов схемы, определяемые согласно выражениям:

для 1 подгруппы $N = N_{\text{ПК}} \cdot 0,1$;

для 2 подгруппы $N = N_{\text{ПК}} \cdot 0,2$.

$$E_1 = 5 + N, \text{ В};$$

$$R_1 = 0,5 + N, \text{ Ом};$$

$$R_3 = 10 + N, \text{ Ом};$$

$$E_2 = 3 + N, \text{ В};$$

$$R_2 = 2 + N, \text{ Ом}.$$

Результаты расчета токов, напряжения U_1 и мощности P при сопротивлении нагрузки $R_3 = 10 + N$, Ом, занести в крайний правый столбец табл. 4.

Таблица 4

Измерено при R_3 (Ом), равно:								Рассчитано при $R_3 =$ (Ом)
Токи, напряжение, мощность	$10R_3 =$ (Ом)	$5R_3 =$ (Ом)	$2R_3 =$ (Ом)	$R_3 =$ (Ом)	$0,75R_3 =$ (Ом)	$0,5R_3 =$ (Ом)	$0,25R_3 =$ (Ом)	
$I_1, \text{ A}$								

I_2, A								
I_3, A								
U_1, B								
$P, Вт$								

Задание 2. Исследование двухконтурной схемы.

В среде EasyEDA создайте проект с названием «Lab_2».

На рабочем поле среды EasyEDA соберите схему, приведенную на рис. 14 Установите мультиметр XMM1 в режим вольтметра, а XMM2-XMM4 – амперметра.

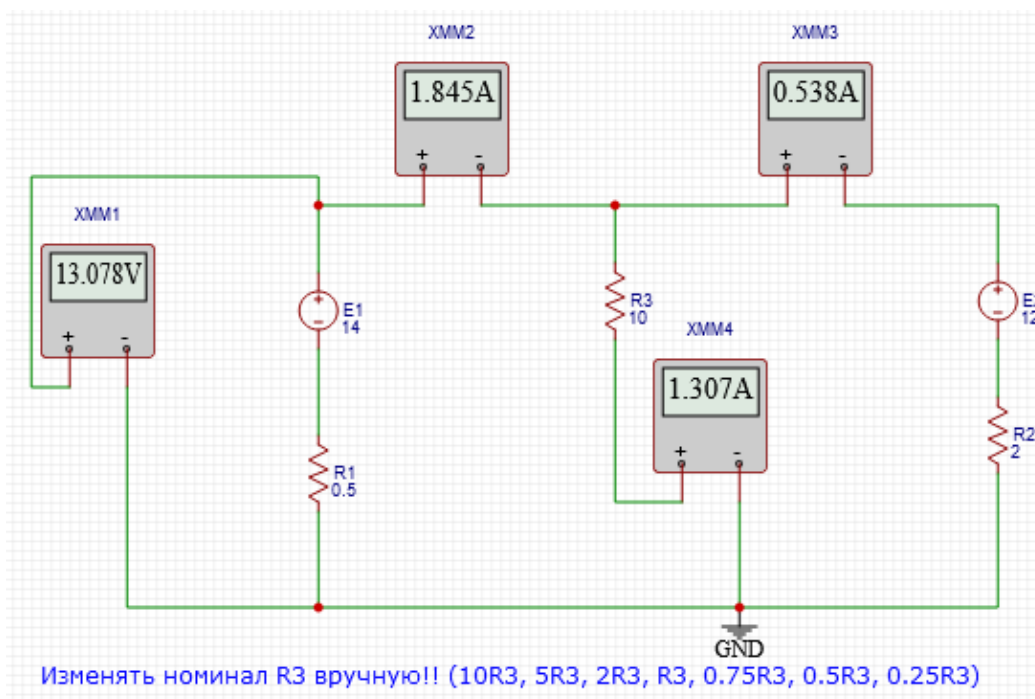


Рис. 14. Исследуемая схема

Задайте номиналы резисторов R1, R2, R3 согласно своему варианту. Запустите симуляцию. Снимите полученные показания при изменении R3 и занесите в таблицу 4.

Задание 3. Внешняя характеристика

По данным таблицы 4 постройте внешнюю характеристику $U_1(I_1)$ источника напряжения E_1 , то есть $U_1 = E_1 - R_1 I_1$.

Задание 4. Зависимость мощности от сопротивления

Рассчитайте и постройте график зависимости мощности P от сопротивления R_3 , то есть $P(R_3)$. Отметьте на графике координаты максимальной мощности и сравните значение отмеченной абсциссы с внутренними сопротивлениями R_1 и R_2 .

Содержание отчета

1. Наименование и цель работы.
2. Расчетные схемы цепи.
3. Формулы определения токов ветвей и потенциалов точек наружного контура схемы цепи.
4. Таблицы с рассчитанными и измеренными электрическими величинами.
5. Потенциальная диаграмма наружного контура схемы, графики $U_1(I_1)$ и $P(R_3)$.
6. Выводы по работе.

Тема 1.9. Неразветвленная и разветвленная цепь переменного тока. Резонанс токов и напряжений

Лабораторное занятие №3

Измерение угла сдвига фаз

Цель работы: ознакомиться с измерительными приборами и источниками питания программной среды EasyEDA, изучить методы и приобрести навыки измерения угла сдвига фаз.

Выполнив работу, Вы будете:

уметь:

- различать непрерывные и дискретные сигналы и их параметры;
- определять параметры и характеристики основных функциональных узлов электрических и электронных цепей.

Материальное обеспечение: ПК с выходом в Интернет.

Краткие теоретические сведения

Измерение угла сдвига фаз

Для измерения угла сдвига фаз φ между синусоидальным напряжением и током в реальной цепи используют: измерители разности фаз, так называемый *метод вольтметра-амперметра-ваттметра*, при котором угол φ определяют из уравнения $\varphi = \arccos(P/UI)$, где P — показание ваттметра, а также методы, основанные на измерении временного интервала Δt при помощи электронно-лучевого осциллографа.

Временной интервал $\Delta t = \varphi / \omega = \varphi / 2\pi f$ пропорционален фазовому сдвигу φ между синусоидальным напряжением и током в неразветвленной цепи и обратно пропорционален угловой частоте ω напряжения (тока).

При этом фазовый угол (в электрических градусах) определяют по формуле

$$\varphi = 360^\circ \Delta t / T,$$

где $T = 1/f$ — период изменения напряжения в секундах (с); f — частота питающей цепи напряжения в герцах (Гц).

Временной интервал $\Delta t = T_2 - T_1$ обычно измеряют между нулевыми значениями осциллограмм напряжения и тока с помощью визирных линий (визиров), расположенных слева и справа от экрана осциллографа (рис. 15). Угол φ берется со знаком «плюс», если ток отстает по фазе от напряжения (см. рис. 15), и со знаком «минус», если ток опережает по фазе напряжение.

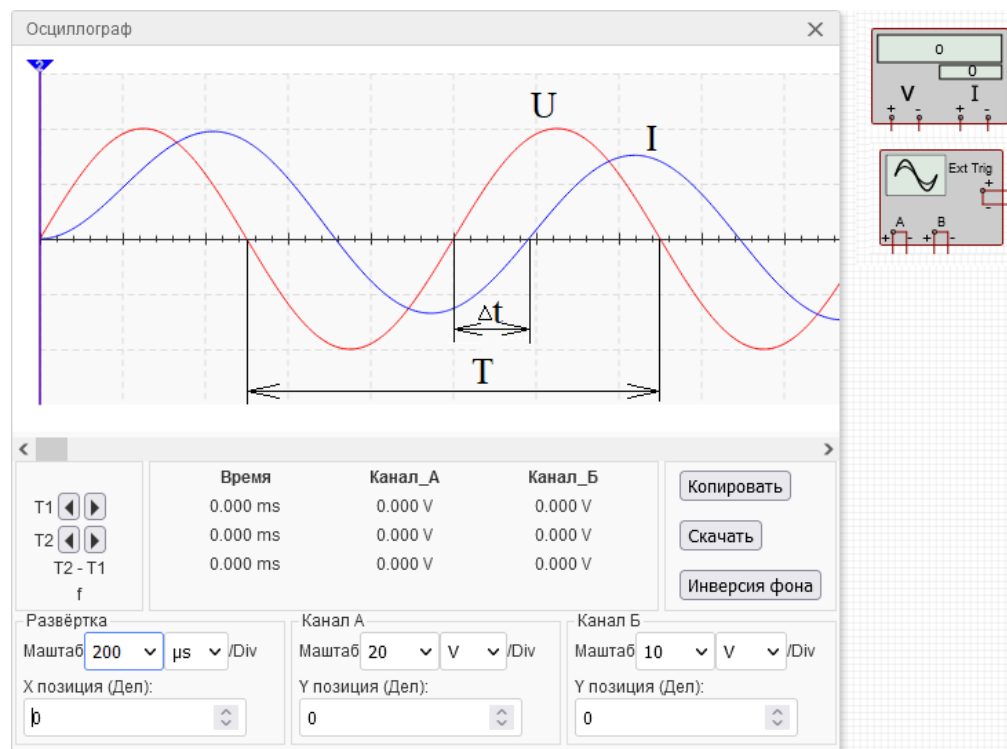


Рис. 15. Временные диаграмма тока и напряжения на экране осциллографа

Установка чувствительности каналов А и Б и развертки осциллограмм во времени производится в окне, выводимом ниже поля осциллограмм (см. рис. 15, снизу).

При моделировании схем цепей на рабочем поле программы EasyEDA и их анализе для измерения угла сдвига фаз в цепях переменного тока наряду с осциллографом будем использовать также виртуальный ваттметр XWM1 (рис.15, справа). Ваттметр непосредственно измеряет активную мощность P цепи (ветви) в ваттах и коэффициент мощности $\cos \varphi$.

Задание 1. Измерение индуктивности катушки косвенным методом по результатам прямых измерений напряжения, тока и мощности RL - ветви и косвенного измерения угла сдвига фаз φ_k .

Вариант при выполнении работы: 1 подгруппа N= № ПК,

2 подгруппа N = № ПК·2.

В среде EasyEDA создайте проект с названием «Lab_3».

На рабочем поле программы схему цепи (см. рис. 3.2) и установить:

- действующее значение ЭДС $E=5+N$, В; частоту $f=1$ кГц при измерении индуктивности L катушки;
- начальную фазу напряжения $\psi_n=0$;
- значение сопротивления $R_1 = 25$ Ом резистора $R1$ (имитирующего активное сопротивление катушки);
- значение индуктивности катушки $L = 5 + N$, мГн.

Подключите измерительные приборы:

- мультиметр XMM1 в режиме амперметра;
- мультиметр XMM2 в режиме вольтметра;
- ваттметр XWM1;
- осциллограф XSC1.

Запустите симуляцию, снимите показания приборов (Таблица 5) и снимите осциллограмму.

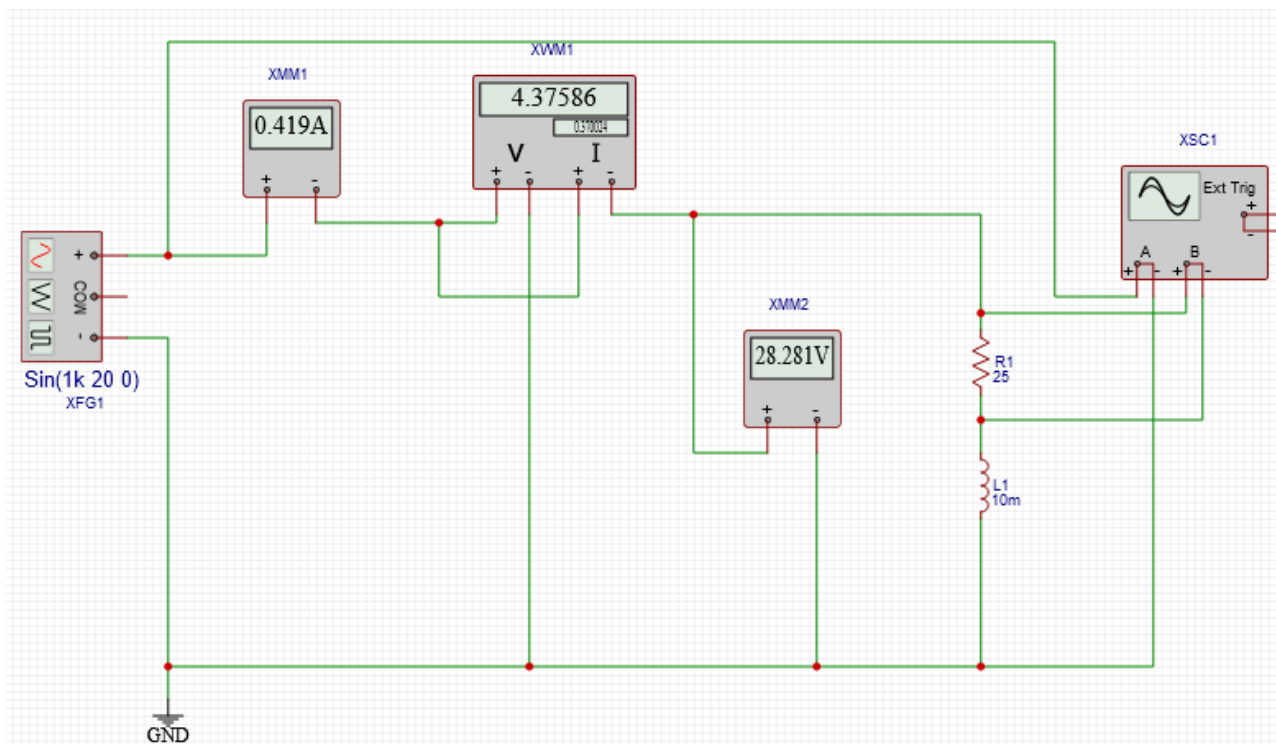


Рис. 16. Исследуемая схема

Методика определения угла сдвига фаз ϕ между напряжением и током описана в «Кратких теоретических сведениях» (см. выше). Убедиться (см. рис. 15), что ток i_L в R_1L -ветви *отстает* по фазе от напряжения u на угол $\phi_1 = \arctg(X_L/R_1) = \arccos(P_1/UI_1)$, где P_1 — показание ваттметра. Скопировать в тетрадь схему (см. рис. 16).

Таблица 5

Ветвь	Установлено		Измерено				Вычислено			
	Е, В	f, кГц	U, В	I, мА	P, Вт	П, град	Z, Ом	R, Ом	X, Ом	L, мГн
R_1L										

Так как индуктивное сопротивление катушки $X_L = \omega L = 2\pi fL$, Ом, то: индуктивность катушки, включенной в R_1L – ветвь: $L = X_L / \omega = X_L / 2\pi f$, Гн, или $L = 10^3 X_L / 2\pi f$, мГн.

Вычисленное значение индуктивности L катушки занести в табл. 5. Сравнить полученные значения R и L с установленными их значениями в схеме цепи.

Содержание отчета

1. Наименование и цель работы.
2. Перечень приборов, использованных в экспериментах.
3. Электрические схемы измерения сопротивлений резисторов и индуктивности катушки, и копии рисунков осциллограмм напряжения и тока.
4. Таблицы результатов измерений и расчетов.
5. Расчетные формулы.
6. Выводы по работе.

Лабораторное занятие №4

Экспериментальное исследование неразветвленной цепи синусоидального тока

Цель работы: экспериментальное исследование схемы цепи синусоидального тока с пассивными элементами RL, RC, RLC.

Выполнив работу, Вы будете:

уметь:

- различать непрерывные и дискретные сигналы и их параметры;
- определять параметры и характеристики основных функциональных узлов электрических и электронных цепей.

Материальное обеспечение: ПК с выходом в Интернет

Краткие теоретические сведения

Цепи переменного тока

Уравнения электрического равновесия напряжений и токов цепи синусоидального тока можно записать в аналитической форме и представить графически в виде векторных диаграмм.

При анализе цепей синусоидального тока необходимо иметь в виду следующее:

- реактивное *индуктивное* сопротивление X_L индуктивной катушки и реактивное *емкостное* X_C сопротивление конденсатора зависят от частоты/источника синусоидального напряжения $u = U_m \sin(2\pi f t + \varphi_u)$, то есть $X_L = \omega L = 2\pi f L$ и $X_C = 1/(\omega C) = 1/(2\pi f C)$,

где $\omega = 2\pi f$ — угловая частота напряжения, рад/с; $f = 1/T$ — циклическая частота, Гц; T — период синусоидального напряжения, с; φ_u — его начальная фаза, рад или град;

- в ветвях с реактивными элементами L и C между напряжением и током возникает *фазовый сдвиг* $\Pi = \varphi_u - \varphi_i$ — где — начальная фаза тока (рис. 17). Угол Π (в рад или град) — алгебраическая величина, изменяющаяся в диапазоне от -90° ($-\pi/2$ рад) до $+90^\circ$ ($+\pi/2$ рад). Знак и величина угла зависят от типа и величины параметров последовательно соединенных элементов R , L и C ветви и частоты f напряжения.

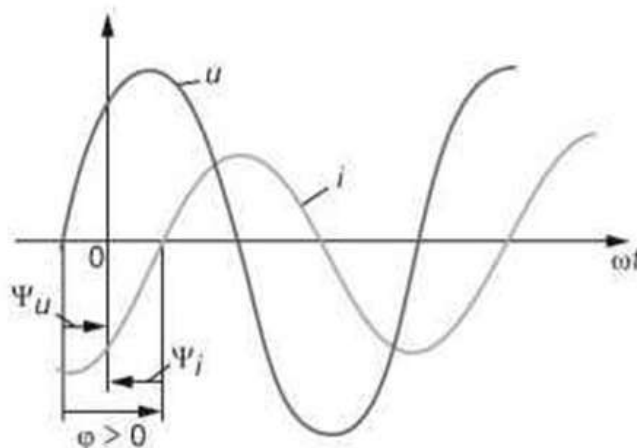
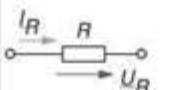
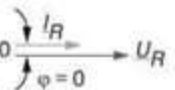
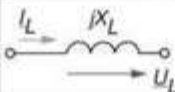
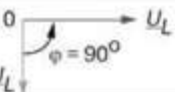
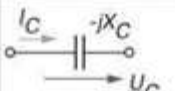
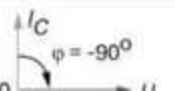
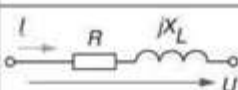
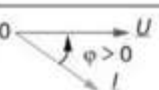
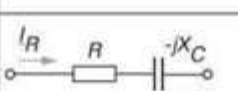
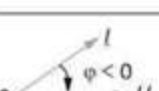
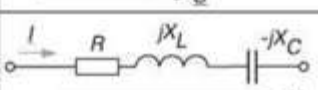


Рис. 17. Временные диаграммы тока и напряжения

В табл. 6 представлены типовые ветви схемы цепи синусоидального тока, векторные диаграммы напряжений и токов ветвей и углы сдвига фаз Π между их векторами. Анализ векторных диаграмм показывает, что *резистивный* элемент R является частотно-независимым элементом: ток и напряжение на его зажимах *совпадают по фазе* (форма тока i_R повторяет форму напряжения u_R), поэтому при определении (по осциллограммам) угла сдвига фаз между напряжением и током в ветвях цепи в качестве датчика тока обычно используют резистор с сопротивлением R_0 , напряжение $u_{R0} = R_0 i$ с зажимов которого подается на один из входов осциллографа.

Таблица 6

Номер ветви (рис. 6.3)	Элементы ветви	Векторная диаграмма	Угол $\varphi = \Psi_u - \Psi_i$
1			$\varphi = 0$
2			$\varphi = 90^\circ (\pi/2)$
3			$\varphi = -90^\circ (-\pi/2)$
4			$\varphi = \arctg(X_L/R)$
5			$\varphi = \arctg(-X_C/R)$
6		а) $X_L > X_C$; см. ветвь 4; б) $X_L < X_C$; см. ветвь 5; в) $X_L = X_C$; см. ветвь 1	$\varphi = \arctg[(X_L - X_C)/R]$

В индуктивном элементе ток *отстает по фазе* от напряжения на 90° , а в емкостном — его *опережает* на 90° . В RL-, RC- и RLC-ветвях углы сдвига фаз зависят от значений параметров элементов ветвей и определяются в общем случае по формуле $\Pi = \arctg(X_L - X_C)/R$.

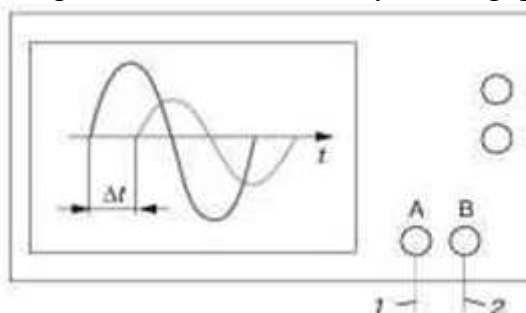


Рис. 18. Определение временного интервала $\otimes t$

Значения углов Π ветвей схемы цепи определяют косвенным методом, измеряя временные интервалы на осциллограммах, то есть $|\Pi| = 360 \otimes t / T$, где $\otimes t$ — временной интервал (рис. 18) между нулевыми значениями синусоид напряжения (синего цвета) и тока (красного цвета); угол Π берется со знаком «плюс», если ток *отстает по фазе* от напряжения (см. рис. 18), и со знаком «минус», если ток *опережает по фазе* напряжение.

Задания и указания к их выполнению

Вариант при выполнении работы: 1 подгруппа вариант = № ПК,

2 подгруппа вариант = № ПК·2.

Задание 1 (предварительное). Рассчитать индуктивное сопротивление X_L катушки и емкостное сопротивление X_C конденсатора при частотах, указанных в табл. 7, и занести полученные значения сопротивлений в табл. 7 (строка «Рассчитано»).

Значения индуктивности катушки и емкости конденсатора определить по формулам: $L = 100 - 2,5N$, мГн, $C = 100 + 10N$, мкФ, где N — номер варианта.

Таблица 7

Сопротивление X	При частоте f, Гц
-----------------	-------------------

		30	40	50	60	80	100	120
Рассчитано	X_L , Ом							
Измерено	U, В							
	I, А							
	X_L , Ом							
Рассчитано	X_C , Ом							
Измерено	U, В							
	I, А							
	X_C , Ом							

Построить (на одном рисунке) графики $X_L(f)$ и $X_C(f)$. Отметить координаты точки пересечения графиков — возможного режима резонанса напряжений при последовательном соединении катушки и конденсатора между собой и с источником синусоидального напряжения.

Задание 2. В среде EasyEDA создайте проект с названием «Lab_4».

На рабочем поле программы схему цепи (см. рис. 19) и установить:

- параметры пассивных элементов:

$R_0 = 1 \text{ мОм}$; $R_1 = R_4 = R_5 = R_6 = \text{int}(120/N)$, Ом;

$L_2 = L_4 = L_6 = 100 - N$, мГн; $C_3 = C_5 = C_6 = 100 + 10N$, мкФ;

- параметры идеального источника синусоидального напряжения XFG1: ЭДС $E = 10 \text{ В}$ (действующее значение), $f = 50 \text{ Гц}$; $P_u = 0$;

- режим работы XMM1 – амперметр, XMM2 - вольтметр.

Скопировать схему (рис. 19) в отчет.

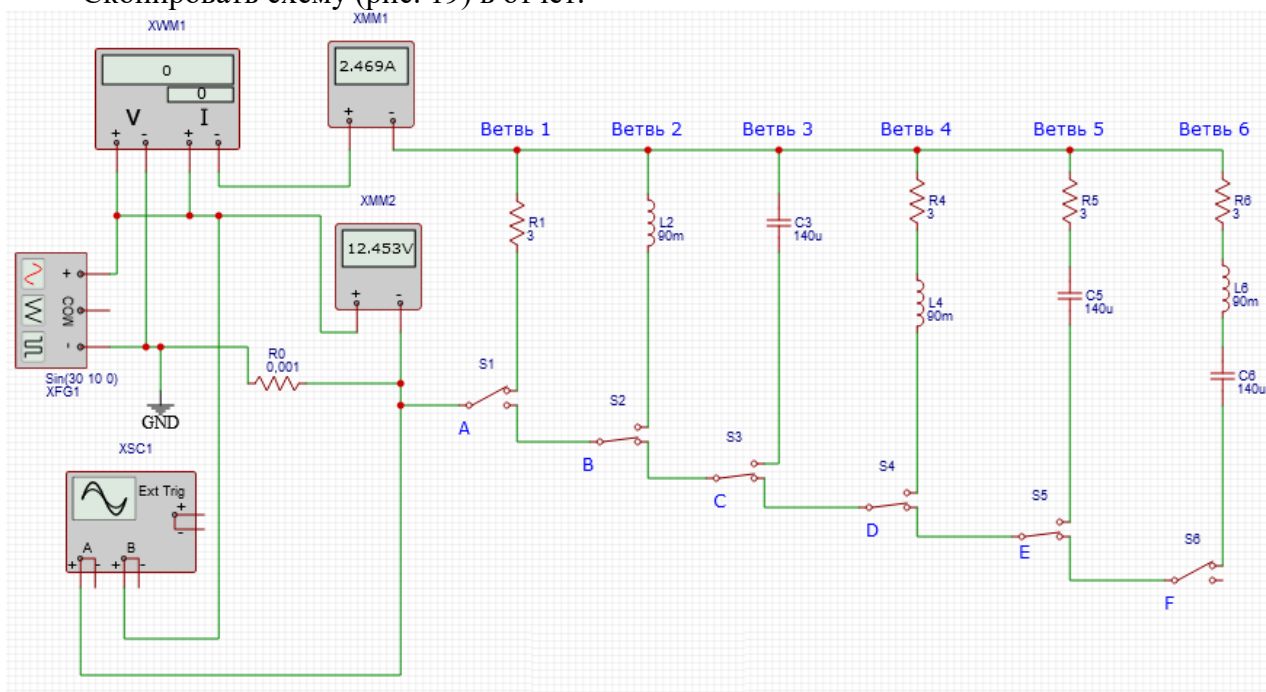


Рис. 19. Исследуемая схема

Задание 3. Провести измерения токов и напряжений в ветвях, содержащих соответственно резистивный R , индуктивный L и емкостный C элементы.

С этой целью:

- подключить ветвь 1 (резистор R_1 и ключ А) к источнику синусоидального напряжения

XFG1, запустить симуляцию схемы и убедиться, что угол сдвига фаз между напряжением и током $\varphi = 0$. Ток $I_x = U/R_x$;

- отключить ветвь 1 (ключ А) и подключить ветвь 2 с катушкой L2 (ключ В) к источнику XFG1. Показания вольтметра ХММ2 и амперметра ХММ1 при $f = 50$ Гц занести в табл. 7. Изменяя ступенчато частоту напряжения (30, 40, 50, 60, 80, 100, 120 Гц), заносить показания вольтметра и амперметра в табл. 7. Рассчитать сопротивление $X_{L2} = U_L/I_L$ и сравнить полученные значения с значениями, найденными при выполнении задания 1.

- повторить предыдущее задание относительно ветви 3 с конденсатором C3, предварительно отключив от источника (ключ В) ветвь с элементом L2 и подключив с помощью ключа С к источнику XFG1 ветвь с конденсатором C3. Показания приборов заносить в табл. 7. Рассчитать сопротивление конденсатора $X_{C3} = U_C/I_C$ (см. табл. 7) и сравнить полученные значения со значениями, найденными при выполнении задания 1.

Задание 4. Провести измерения токов и напряжений в ветвях, содержащих соответственно RL -, RC - и RLC -элементы.

С этой целью:

- установить частоту $f = 50$ Гц источника напряжения XFG1 и подключить к нему ветвь R4L4, предварительно отключив ветвь с конденсатором C3. Показания приборов занести в табл. 8. Определить угол $\Pi_4 = \arctg(X_{L4}/R_4)$.

Рассчитать полное Z_4 , активное R_4 и реактивное X_{L4} сопротивления ветви R4L4 и занести в табл. 8.

Таблица 8.

Ветвь	Измерено			Рассчитано		
	U, В	I, мА	Π , град	$Z=U/I$, Ом	$R=Z\cos\Pi$, Ом	$X=Z\sin\Pi$, Ом
R4L4						
R5C5						
R6L6C6						

- повторить предыдущее задание для цепи R5C5, предварительно отключив от источника XFG1 четвертую ветвь. Определите угол $\Pi_5 = \arctg(-X_C/R_5)$;

- повторить предыдущее задание для R6L6C6-ветви, предварительно отключив от источника XFG1 пятую ветвь. Убедиться, что в R6L6C6-ветви угол сдвига фаз Π_6 между напряжением и током зависит от величины реактивного сопротивления $X_6 = X_{L6} - X_{C6}$. Зарисуйте осциллограммы напряжения и тока для 2х различных частот (ток опережает напряжение и наоборот). Определите угол $\Pi_6 = \arctg(X_{L6} - X_{C6})/R_6$ и по полученным осциллограммам.

Если при частоте $f = 50$ Гц угол $\Pi_6 > 0$, то, уменьшив частоту до 20—30 Гц, угол Π_6 изменит свой знак, и наоборот, если при $f = 50$ Гц угол $\Pi_6 < 0$, то, увеличив частоту f до 100—120 Гц, ток будет отставать по фазе от напряжения, при этом угол $\Pi_6 > 0$.

В качестве примера на рис. 20 представлены осциллограммы напряжения и тока R6L6C6-ветви при различных частотах.

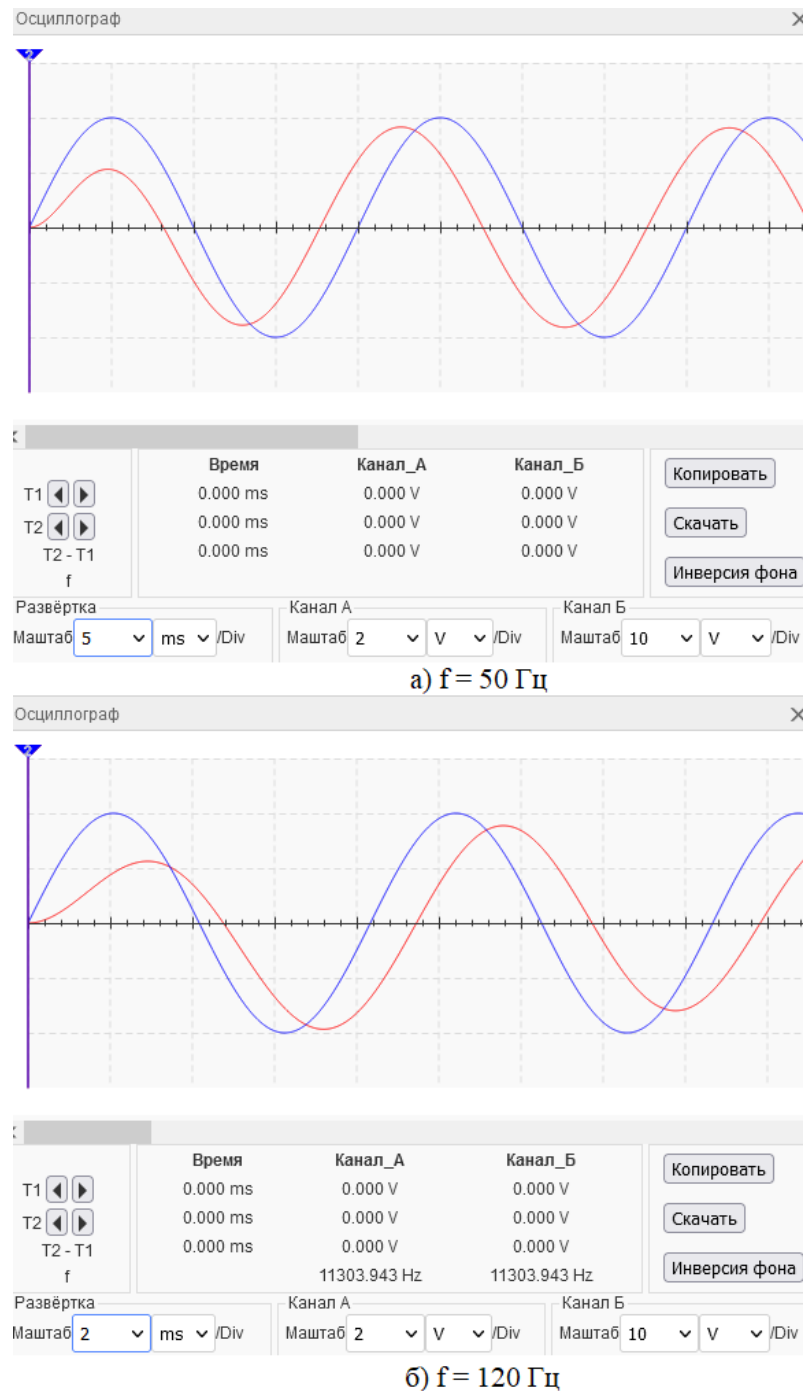


Рис. 20. Осциллограммы напряжения и тока ветви 6 при различных частотах

Содержание отчета

1. Наименование и цель работы.
2. Электрическая схема цепи.
3. Расчетные формулы, осциллограммы напряжений и токов ветвей цепи.
4. Таблицы с расчетными и экспериментальными данными.
5. Графики $X_L(f)$ и $X_C(f)$.
6. Выводы по работе.

Тема 1.10 Трехфазные электрические цепи Лабораторное занятие №5

Экспериментальное исследование трехфазной цепи

Цель работы: опытная проверка соотношений, связывающих напряжения и токи трехфазных цепей при соединении приемников звездой и треугольником.

Выполнив работу, Вы будете:

уметь:

- различать непрерывные и дискретные сигналы и их параметры;
- определять параметры и характеристики основных функциональных узлов электрических и электронных цепей.

Материальное обеспечение: ПК с выходом в Интернет

Краткие теоретические сведения

Схемы соединения фаз источника и приемника

Трехфазная цепь — это совокупность трехфазной системы ЭДС, трехфазной нагрузки и соединительных проводов.

Трехфазную систему ЭДС (напряжений) получают с помощью синхронного трехфазного генератора, в обмотках которого при вращении ротора индуцируются три синусоидальные ЭДС одной и той же частоты, равные по амплитуде и сдвинутые по фазе относительно друг друга на угол 120° :

$$\begin{aligned} e_A &= E_m \sin \omega t, \quad \underline{E}_A = E_m / \sqrt{2} e^{j0^\circ} = E_\phi; \\ e_B &= E_m \sin(\omega t - 120^\circ), \quad \underline{E}_B = E_\phi e^{-j120^\circ}; \\ e_C &= E_m \sin(\omega t - 240^\circ) = E_m \sin(\omega t + 120^\circ), \\ \underline{E}_C &= E_\phi e^{j120^\circ}. \end{aligned}$$

Обмотки статора генератора соединяют по схеме звезда (рис. 21, а слева) или треугольник (рис. 21, б слева). Фазы трехфазного приемника (нагрузки) также соединяют по схеме звезда или треугольник (рис. 21, а и б справа).

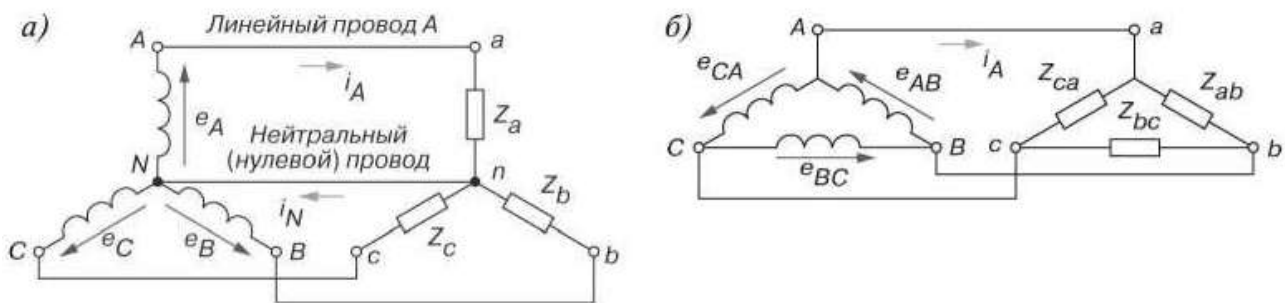


Рис. 21. Примеры трехфазных цепей

Соединение фаз приемника звездой

На рис. 22, а изображена трехфазная цепь, у которой источник и приемник соединены звездой с *нейтральным (нулевым)* проводом (четырёхпроводная система). Фазные напряжения приемника в схеме звезда-звезда с нулем равны фазным напряжениям источника:

$$\underline{U}_a = \underline{U}_A; \quad \underline{U}_b = \underline{U}_B \quad \text{и} \quad \underline{U}_c = \underline{U}_C,$$

а так называемое *напряжение смещения нейтрали* между точками n и N при нулевом сопротивлении нейтрального провода равно нулю ($U_{nN} = 0$).

В четырехпроводной системе обеспечивается независимый режим работы фаз приемника (кроме короткого замыкания в фазе, которое недопустимо): в случае изменения сопротивления одной фазы (в том числе при ее обрыве) напряжения и токи двух других фаз не изменяются.

При этом соблюдается соотношение между линейными и фазными напряжениями: $U_\phi = U_L / \sqrt{3}$, то есть *фазные напряжения в $\sqrt{3}$ раза меньше линейных*. В осветительных системах линейное напряжение $U_L = 380$ В, а фазное $= U_L / \sqrt{3} = 220$ В (реже $U_L = 220$ В, а $U_\phi = U_L / \sqrt{3} = 127$ В).

При **неравномерной** нагрузке ($Z_a \neq Z_b \neq Z_c$, например $Z_a = -jX_a$, $Z_b = R_b - jX_b$ и $Z_c = R_c - jX_c$) фазные и линейные токи (для каждой фазы): $I_\phi = U_\phi / Z_\phi = I_L$, а ток в нейтральном проводе (рис. 22, б).

$$I_N = I_a + I_b + I_c$$

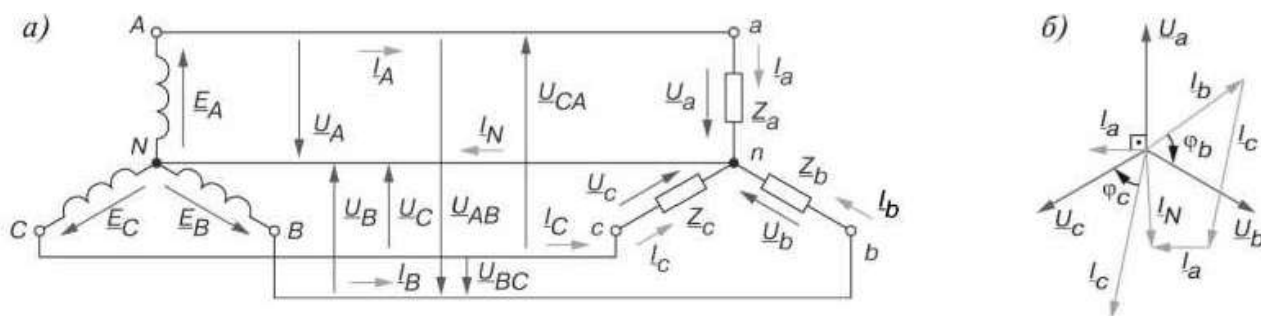


Рис. 22. Соединение «звезда-звезда»

В случае **равномерной** нагрузки ($Z_a = Z_b = Z_c = Z_\phi$) модули фазных токов одинаковы и равны соответствующим линейным токам $I_\phi = I_L = U_\phi / Z_\phi$.

На векторной диаграмме векторы токов составляют симметричную звезду (как и векторы фазных напряжений), поэтому сумма комплексов фазных токов

$$I_N = I_a + I_b + I_c = 0.$$

то есть *ток в нейтральном проводе равен нулю* и нейтральный провод можно убрать. В результате получим *трехпроводную* систему включения приемника с генератором по схеме звезда-звезда (Y—Y).

При *неравномерной* нагрузке и в случае отсутствия нейтрального провода (трехпроводная система Y—Y без нуля) имеет место зависимый режим работы фаз приемника: при изменении сопротивления одной фазы изменяются все фазные напряжения. Между точками n и N (см. рис. 22, а) появится *напряжение смещения нейтрали*:

$$\underline{U}_{nN} = \frac{\underline{E}_A Y_a + \underline{E}_B Y_b + \underline{E}_C Y_c}{Y_a + Y_b + Y_c},$$

где $Y_a = 1/Z_a$; $Y_b = 1/Z_b$; $Y_c = 1/Z_c$ — проводимости фаз нагрузки.

Напряжения фаз приемника находят из соотношений:

$$\underline{U}_a = \underline{U}_A - \underline{U}_{nN}; \quad \underline{U}_b = \underline{U}_B - \underline{U}_{nN} \quad \text{и} \quad \underline{U}_c = \underline{U}_C - \underline{U}_{nN}.$$

В результате получается несимметричная звезда фазных напряжений приемника («перекос» фаз), причем в одной фазе, например, в фазе a , напряжение U_a может возрасти и значительно превысит фазное напряжение U_A генератора (что в большинстве случаев недопустимо), а в других фазах — уменьшиться. Значительная несимметрия фазных напряжений приемника образуется при разных по характеру сопротивлениях нагрузки, например, при:

$$Z_a = R, \quad Z_b = jX_L \quad \text{и} \quad Z_c = -jX_C.$$

По этой причине в *осветительных системах* запрещается устанавливать предохранители и выключатели в нейтральном проводе.

Комплексы токов фаз приемника:

$$I_a = \underline{U}_a / Z_a; \quad I_b = \underline{U}_b / Z_b; \quad I_c = \underline{U}_c / Z_c,$$

а их сумма равна нулю, то есть

$$I_a + I_b + I_c = 0.$$

Соединение фаз приемника треугольником

На рис. 23, а изображена трехфазная цепь, у которой источник и приемник соединены по схеме *треугольник—треугольник*. Режим работы фаз является независимым (кроме короткого замыкания в фазе, которое недопустимо), так как фазные напряжения приемника определяются линейными напряжениями источника и равны им, то есть $U_\phi = U_L$, а фазные токи при *неравномерной* нагрузке:

$$I_{ab} = \underline{U}_{ab} / Z_{ab}; \quad I_{bc} = \underline{U}_{bc} / Z_{bc}; \quad I_{ca} = \underline{U}_{ca} / Z_{ca}.$$

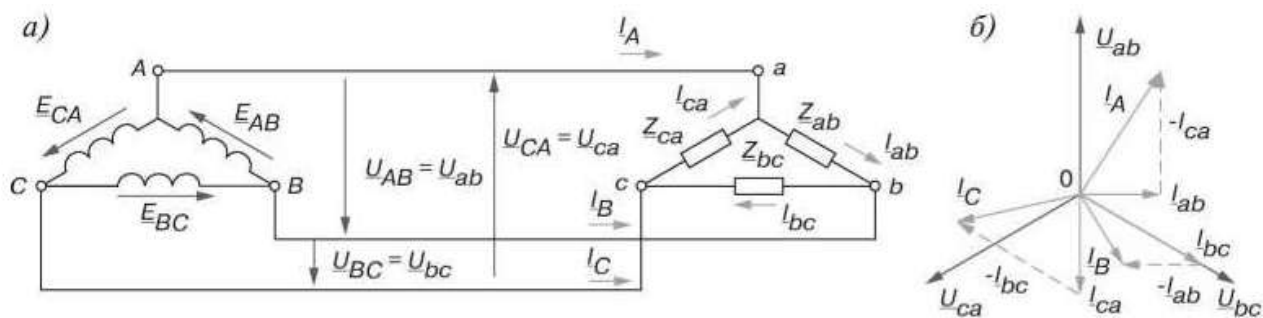


Рис. 23. Соединение «треугольник-треугольник»

Линейные токи определяют по формулам

$$I_A = I_{ab} - I_{ca}; \quad I_B = I_{bc} - I_{ab}; \quad I_C = I_{ca} - I_{bc},$$

причем сумма комплексных линейных токов

$$I_A + I_B + I_C = 0.$$

Векторная диаграмма напряжений и токов для случаев неравномерной нагрузки представлена на рис. 23, б.

При равномерной нагрузке фазные токи приемника определяются как:

$$I_{ab} = I_{bc} = I_{ca} = I_\phi = U_\phi / Z_\phi.$$

На векторной диаграмме как фазные, так и линейные токи составляют симметричные звезды, причем:

$$I_{ab} + I_{bc} + I_{ca} = 0 \text{ и } I_A + I_B + I_C = 0,$$

а соотношение между ними

$$I_\phi = I_\Delta / \sqrt{3}, \text{ или } I_\Delta = \sqrt{3} I_\phi.$$

Задания и указания к их выполнению

Задание 1. Исследование трехфазной цепи при соединении источника и приемника по схеме «звезда - звезда».

Собрать на рабочем поле среды EasyEDA схему (рис. 24) для исследования трехфазной цепи в различных режимах ее работы при соединении источника и приемника по схеме звезда-звезда.

С этой целью установить следующие режимы и параметры устройств и элементов:

- трехфазный источник T1: напряжение = 380 В и частоту $f = 50$ Гц (рис. 24);
- ХММ1-ХММ4 – в режиме амперметра (I_a, I_b, I_c для измерения фазных токов приемника и I_n для измерения тока в нейтральном проводе), ХММ5-ХММ9 – в режиме вольтметра (U_{lin} для измерения линейного напряжения генератора; U_a, U_b и U_c для измерения фазных напряжений приемника; U_{nN} для измерения напряжения смещения нейтрали);

- значения сопротивлений фаз приемника (нагрузки):

$$Z_a = Z_b = Z_c = R + jX_L = [(20 + N) + j30], \text{ Ом, для четных вариантов } N \text{ и}$$

$$Z_a = Z_b = Z_c = R - jX_c = [(20 + N) - j30], \text{ Ом, для нечетных вариантов, где } N \text{ — номер}$$

варианта.

После проверки собранной схемы и установки параметров элементов, запустите симуляцию с учетом состояния ключей на схеме 24 (состояние указано в таблице 9) и заполните таблицу 9.

По данным эксперимента построить векторную диаграмму фазных напряжений и токов (в масштабе) потребителей четырехпроводной цепи при неравномерной нагрузке. Фазные углы $\varphi_a, \varphi_b, \varphi_c$ определить по формуле $\varphi_\phi = \pm \arctg(X_\phi/R_\phi)$.

Сравнить величину построенного вектора тока I_N с его экспериментальным значением, а также определить соотношения между линейными и фазными напряжениями и токами при равномерной нагрузке.

Таблица 9.

Вид цепи	Нагрузка	Измерено								
		U _л , В	U _а , В	U _б ,В	U _с , В	U _{Nн} , В	I _а , А	I _б , А	I _с , А	I _N , А
4х-проводна я	Равномерная (ключ S – замкнут, ключ W - разомкнут)									
	Неравномерна я – Z _а = R, Z _б = ±X, Z _с = R±X (ключ S – замкнут, ключ W - разомкнут)									
3х-проводна я	Равномерная (ключи S и W - разомкнуты)									
	Неравномерна я – Z _а = R, Z _б = ±X, Z _с = R±X (ключи S и W - разомкнуты)									

Задание 2. Исследование трехфазной цепи при соединении источника и приемника по схеме «звезда - треугольник».

Собрать на рабочем поле среды EasyEDA схему (рис.25) для исследования трехфазной цепи в различных режимах ее работы при соединении источника и приемника по схеме звезда-треугольник.

С этой целью установить следующие режимы и параметры устройств и элементов:

- трехфазный источник T2: напряжение = 380 В и частоту $f = 50$ Гц (рис. 25);
- XMM10-XMM12, XMM16-XMM18 – в режиме амперметра, XMM14, XMM19, XMM20 – в режиме вольтметра;
- значения сопротивлений фаз приемника (нагрузки):
 $Z_a = Z_b = Z_c = R + X_L = [(20 + N) + j30], \text{ Ом, для четных вариантов } N$ и
 $Z_a = Z_b = Z_c = R - jX_c = [(20 + N) - j30], \text{ Ом, для нечетных вариантов, где } N \text{ — номер варианта.}$

После проверки собранной схемы и установки параметров элементов, запустите симуляцию с учетом состояния ключей на схеме 25 (состояние указано в таблице 10) и заполните таблицу 10. Убедиться в равенстве фазных, а также линейных токов при равномерной нагрузке фаз приемника. По данным экспериментов построить векторные диаграммы фазных напряжений, фазных и линейных токов схемы цепи при неравномерной нагрузке. Фазные углы определить по формуле $\Pi_\phi = \pm \arctg(X_\phi/R_R)$. Сравнить значения модулей построенных векторов линейных токов I_A, I_B и I_c с их экспериментальными значениями.

Таблица 10

Вид цепи	Нагрузка	Измерено								
		U _{ab} , В	U _{bc} , В	U _{ca} ,В	I _A , А	I _B , А	I _C , А	I _{ab} , А	I _{bc} , А	I _{ca} , А
3х-проводная (звезда – треугольник)	Равномерная (ключи Q и W замкнуты)									
	Неравномерна									

)	$\mathbf{я - Z_{ca} = R, Z_{bc} = \pm X, Z_{ab} = R \pm X}$ (ключи Q и W замкнуты)								
	Неравномерна я (ключ Q – разомкнут, ключ W – замкнут)								
	Неравномерна я (ключ Q – замкнут, ключ W – разомкнут)								

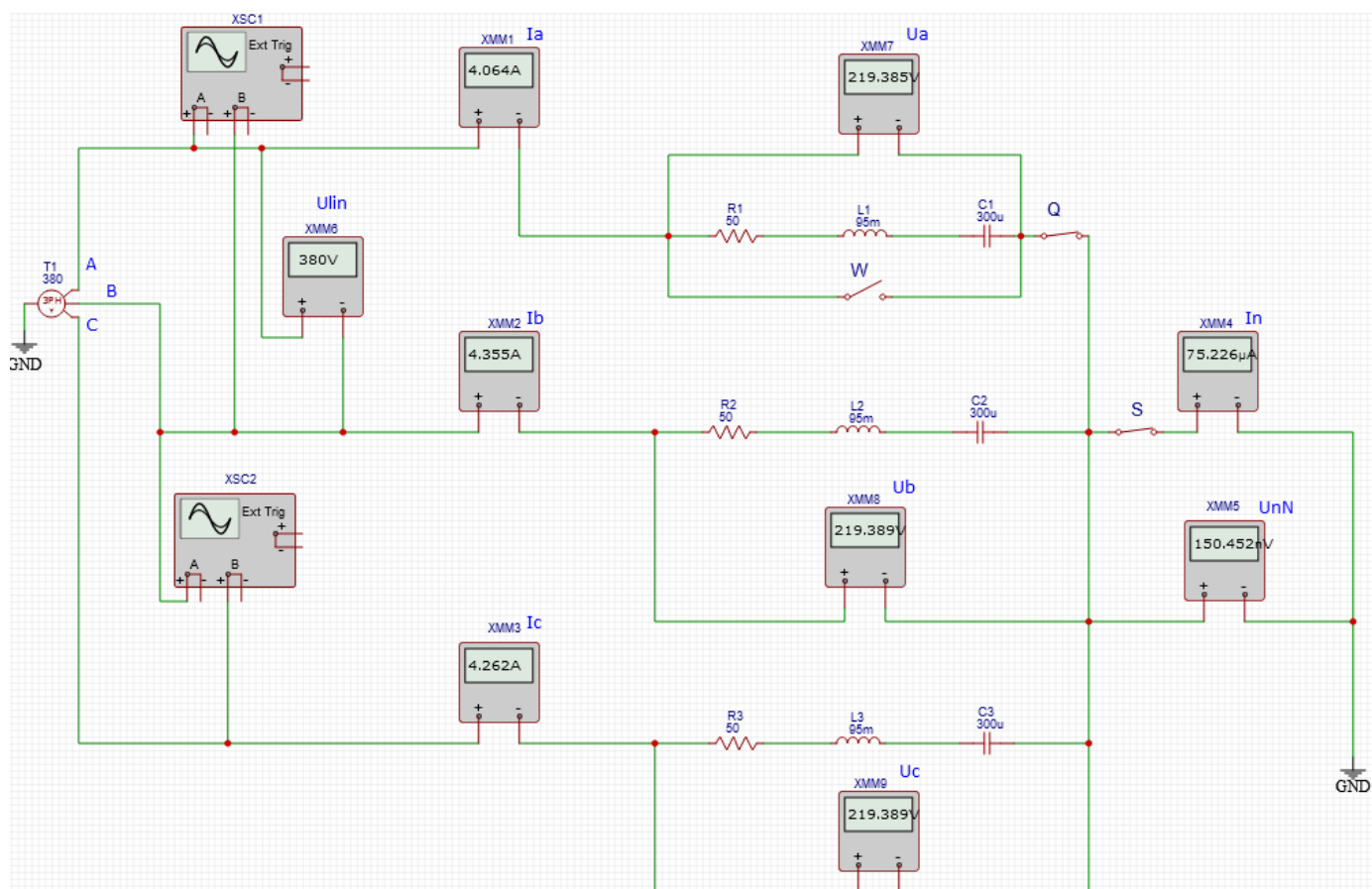


Рис. 24. Схема задания 1.

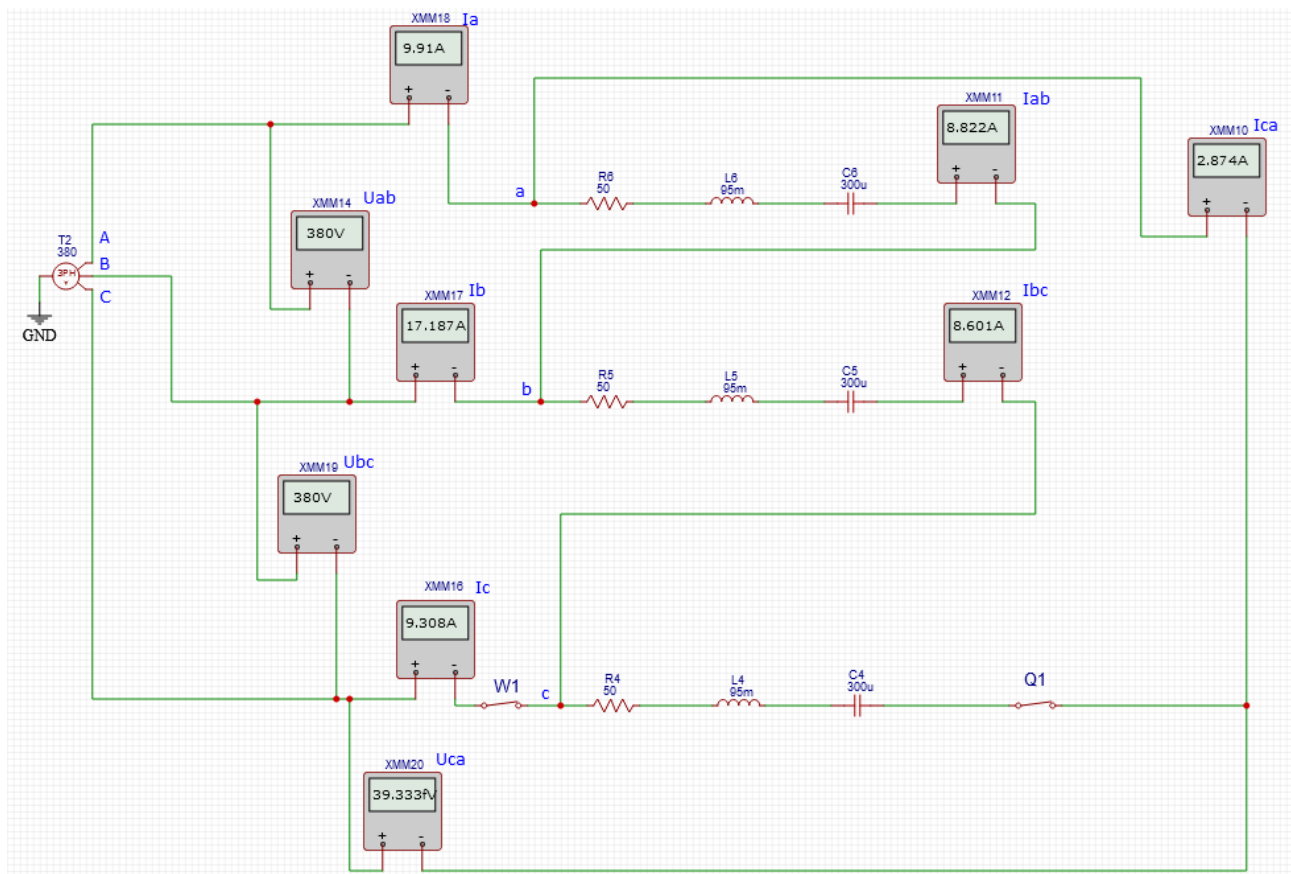


Рис. 25. Схема задания 2.

Содержание отчета

1. Наименование и цель работы.
2. Схемы трехфазных цепей с приемниками, соединенными звездой и треугольником.
3. Расчетные формулы и вычисления параметров трехфазных цепей.
4. Таблицы с вычисленными и измеренными величинами.
5. Векторные диаграммы напряжений и токов трехфазных цепей.
6. Выводы по работе.

Тема 2.2 Полупроводниковые диоды. Выпрямительные устройства

Лабораторное занятие №6

Исследование выпрямительного диода

Цель работы: исследование характеристик выпрямительного диода

Выполнив работу, Вы будете:

уметь:

- различать электрические и полупроводниковые приборы на схеме;
- различать непрерывные и дискретные сигналы и их параметры;
- определять параметры и характеристики основных функциональных узлов электрических и электронных цепей.

Материальное обеспечение: стенды «Основы электроники».

Теоретические сведения

Диод – двухэлектродный полупроводниковый прибор с одним p–n-переходом, обладающий односторонней проводимостью тока. Существует много различных типов диодов

– выпрямительные, импульсные, туннельные, обращенные, сверхвысокочастотные диоды, а также специальные диоды, такие как стабилитроны, варикапы, фотодиоды, светодиоды и др.

На рис. 1 показаны условное графическое обозначение (рис.1а) и характеристики выпрямительных диодов (их идеальная (рис.1б) и реальная вольт-амперная характеристики (рис.1в). Видимый излом вольт-амперной характеристики диода (ВАХ) в начале координат связан с различными масштабами токов и напряжений в первом и третьем квадранте графика. На вольт-амперной характеристике реального диода обозначена область электрического пробоя, когда при небольшом увеличении обратного напряжения ток резко возрастает.

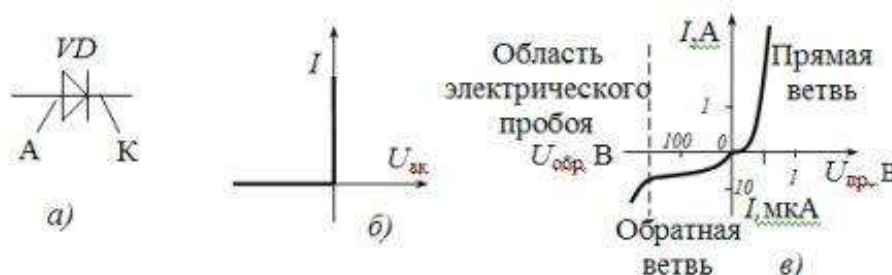


Рис.1. УГО диода (а), идеальная ВАХ диода (б), реальная ВАХ диода(в)

Экспериментальное исследование выпрямительного диода

1) Собрать схему для исследования выпрямительного диода на постоянном токе в соответствии с принципиальной схемой (см. рис. 2). Для измерения анодного тока включить миллиамперметр постоянного тока с пределом 100 мА. Для измерения анодного напряжения использовать мультиметр. Последовательно с диодом включить токоограничивающий резистор R_H .

2) Снять вольт-амперную характеристику выпрямительного диода на постоянном токе для прямой ветви (рис. 2); для снятия характеристик регулировать напряжение на выходе потенциометра; результаты измерений занести в таблицу 1, по которой построить график прямой ветви ВАХ;

3) Собрать схему для снятия обратной ветви ВАХ VD1, подключив к RP2 источник -12 В и заменив миллиамперметр, поменяв также его полярность подключения (рис. 3); снять обратную ветвь ВАХ диода; результаты измерений занести в таблицу 2, по которой построить график обратной ветви ВАХ.

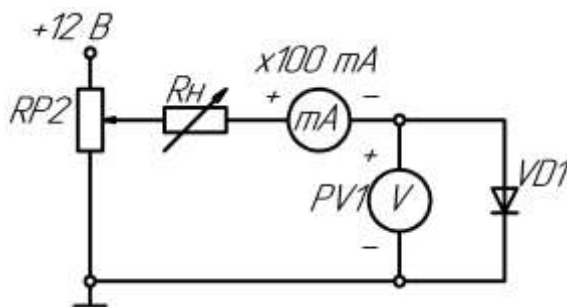


Рис.2

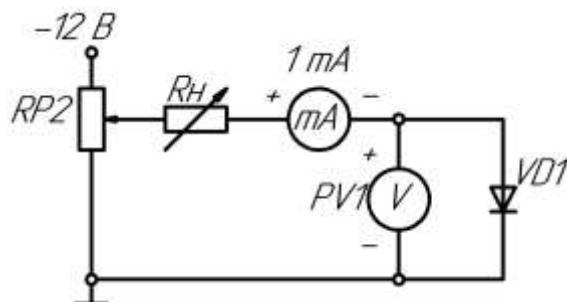


Рис.3

Таблица1.

Результаты измерений прямой ветви ВАХ

$I_{пр}, \text{мА}$	0								
$U_{пр}, \text{В}$	0								

Таблица 2.

Результаты измерений обратной ветви ВАХ

$I_{обр}, \text{мА}$	0				
$U_{обр}, \text{В}$	0				

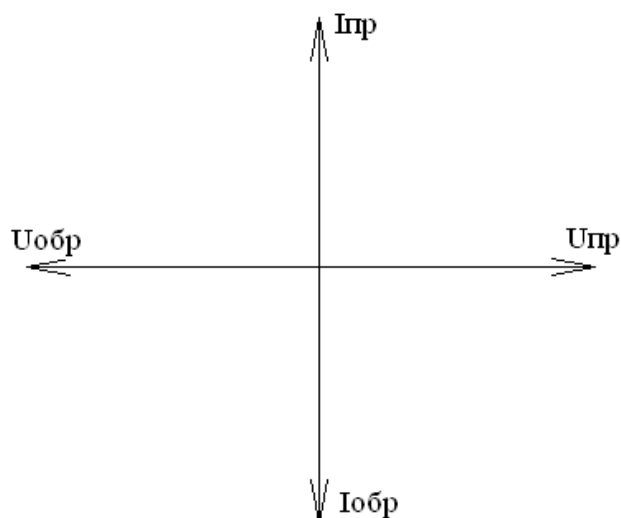


Рис. 4 Полученная ВАХ диода

4) Сделать выводы по работе

5) Контрольные вопросы

1. Какое устройство называют полупроводниковый диод?
2. Как называют выводы полупроводникового диода?
3. Каков физический смысл ВАХ диода (какое свойство диода она отражает)?
4. Нарисуйте УГО диода
5. Соответствует ли полученный график ВАХ диода заданному?

Лабораторное занятие №7 Исследование оптрона

Цель работы: исследование характеристик и параметров оптрона.

Выполнив работу, Вы будете:

уметь:

- различать электрические и полупроводниковые приборы на схеме;
- различать непрерывные и дискретные сигналы и их параметры;
- определять параметры и характеристики основных функциональных узлов электрических и электронных цепей.

Материальное обеспечение: стенды «Основы электроники».

Теоретические сведения

Оптопара или оптрон — электронный прибор, состоящий из излучателя света (обычно — светодиод) и фотоприёмника (биполярных и полевых фототранзисторов, фотодиодов, фототириستоров, фоторезисторов), связанных оптическим каналом и, как правило, объединённых в общем корпусе.

Принцип работы оптрона заключается в преобразовании электрического сигнала в свет, его передаче по оптическому каналу и последующем преобразовании обратно в электрический сигнал.

Транзисторные или интегральные оптопары, как правило, применяются для гальванической развязки сигнальных цепей или цепей с малым током коммутации.

Входной характеристикой является ВАХ светодиода, выходной — соответствующая характеристика фотоприёмника при заданном входном токе оптрона.

Одной из характеристик оптрона является передаточная характеристика. **Передаточная характеристика** — это зависимость выходного тока от входного $I_{\text{ВЫХ}} = f(I_{\text{ВХ}})$. График передаточной характеристики представлен на рис.5

Передаточные параметры в зависимости от типа оптрона определяются коэффициентом передачи по току:

$$K_i = \frac{I_{\text{ВЫХ}}}{I_{\text{ВХ}}}, \quad (1)$$

Значения коэффициента для диодных оптронов $0,2 \div 0,005$, для транзисторных оптронов — до 1,5.

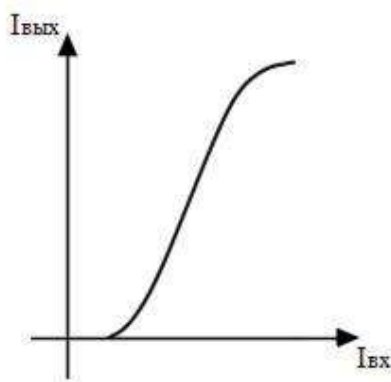


Рис. 5. Передаточная характеристика оптрона.

Экспериментальное исследование оптрона

1) Собрать схему для снятия передаточной характеристики транзисторного оптрона на постоянном токе (рис.6), установить $RP3=150$, $RP2=3$, регулировку производить $RP1$.

2) Снять по точкам передаточную характеристику транзисторного оптрона на постоянном токе. Для этого потенциометром $RP1$ изменять напряжение на входе, фиксируя входной и выходной токи. Определить максимальный входной ток, при котором сохраняется линейность характеристики, определить коэффициент передачи по току.

4) Показания занести в таблицу 3 и построить график передаточной характеристики оптрона.

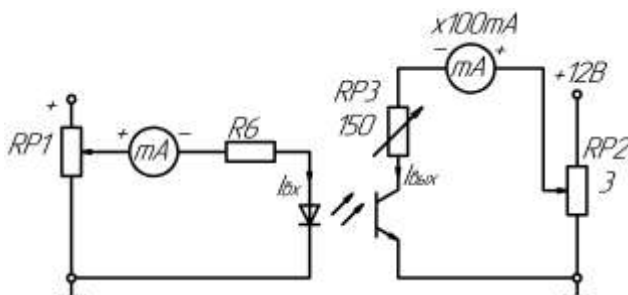


Таблица 3

Результаты измерений

$I_{вх}, \text{мА}$									
$I_{вых}, \text{мА}$									

5) По графику передаточной характеристики и формуле 1 определить коэффициент передачи по току для оптрона и сравнить его со справочными значениями.

6) Сделать выводы по работе.

7) Контрольные вопросы

1. Какое устройство называют оптрон?

2. Передаточная характеристика оптрона – это...

3. Передаточный коэффициент оптрона – это...

4. Соответствует ли полученный график передаточной характеристики заданному?

5. Соответствует ли рассчитанный коэффициент передачи по току заданному?

Форма представления результата:

Отчет по работе должен содержать:

- 1) наименование работы и цель работы;
- 2) необходимые теоретические сведения, в т.ч. расчетные формулы и основные определения;
- 3) схемы с электронными компонентами для проведения исследования;
- 4) таблицы результатов экспериментов (измеренные и рассчитанные величины);
- 5) полученные графики (осциллограммы);
- 6) необходимые расчеты
- 7) выводы по работе.

Лабораторное занятие №8

Исследование однополупериодного неуправляемого выпрямителя.

Цель работы: исследование работы однополупериодного неуправляемого выпрямителя с различными видами нагрузки.

Выполнив работу, Вы будете:

уметь:

- различать электрические и полупроводниковые приборы на схеме;
- различать непрерывные и дискретные сигналы и их параметры;
- определять параметры и характеристики основных функциональных узлов электрических и электронных цепей.

Материальное обеспечение: стенды «Основы электроники».

Теоретические сведения

Выпрямитель электрического тока - это устройство, предназначенное для преобразования входного электрического тока переменного направления в ток постоянного направления (то есть однонаправленный ток), в частном случае – в постоянный выходной электрический ток.

Большинство выпрямителей создаёт не постоянный, а пульсирующий ток, для сглаживания пульсаций применяют фильтры.

Форма входного и выходного напряжений однополупериодного неуправляемого выпрямителя представлена на рисунке 28:

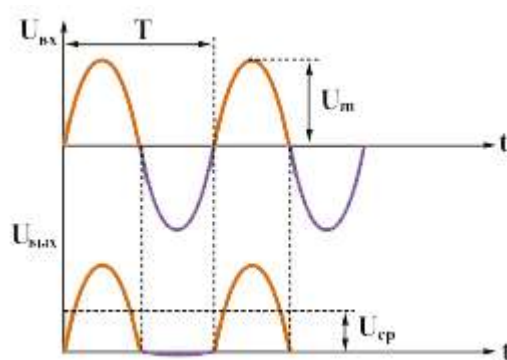


Рис. 28

Экспериментальное исследование однополупериодного выпрямителя на диоде

1) Собрать схему выпрямителя по рис. 29. В качестве вольтметров использовать мультиметры: PV1 в режиме измерения **переменного напряжения**, PV2 в режиме измерения **постоянного напряжения**. Подключить входы осциллографа. Переключатель развертки осциллографа перевести на временную развертку. Установить синхронизацию от сети. На экране осциллографа Вы увидите осциллограммы анодного тока и напряжения на диоде;

2) Снять осциллограммы напряжения на диоде U_a и анодного тока I_a . Снять осциллограмму напряжения на нагрузке U_n , переключив корпус осциллографа на общий провод, не забудьте определить масштабы по току и напряжению;

3) Измерить с помощью вольтметров и определить связь между переменным напряжением питания и постоянным напряжением на нагрузке;

4) Включить конденсатор $C2$ параллельно сопротивлению нагрузки (рис. 30); снять осциллограммы напряжения на диоде U_a и анодного тока I_a . Снять осциллограмму напряжения на нагрузке U_n , переключив корпус осциллографа на общий провод, не забудьте определить масштабы по току и напряжению;

5) Определить связь между переменным напряжением и постоянным напряжением на нагрузке;

6) Включить дроссель последовательно с нагрузкой (рис. 31); снять осциллограммы напряжения на диоде U_a и анодного тока I_a . Снять осциллограмму напряжения на нагрузке U_n , переключив корпус осциллографа на общий провод, не забудьте определить масштабы по току и напряжению;

7) Определить связь между переменным напряжением и постоянным напряжением;

8) Сравнить результаты опытов, сделать выводы по работе.

9) Контрольные вопросы

1. Выпрямитель – это...

2. Какие существуют виды выпрямителей?

3. Соответствуют ли полученные осциллограммы заданным?

4. Как зависит форма выходного сигнала от типа нагрузки (резистивная, емкостно-резистивная, индуктивно-резистивная)?

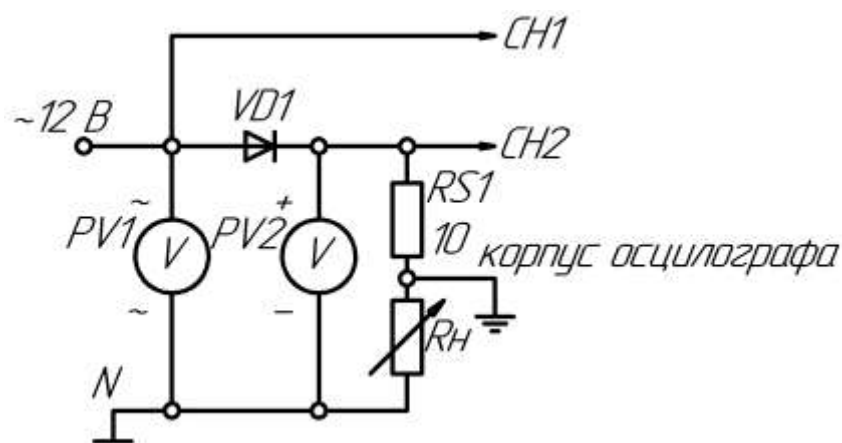


Рис. 29

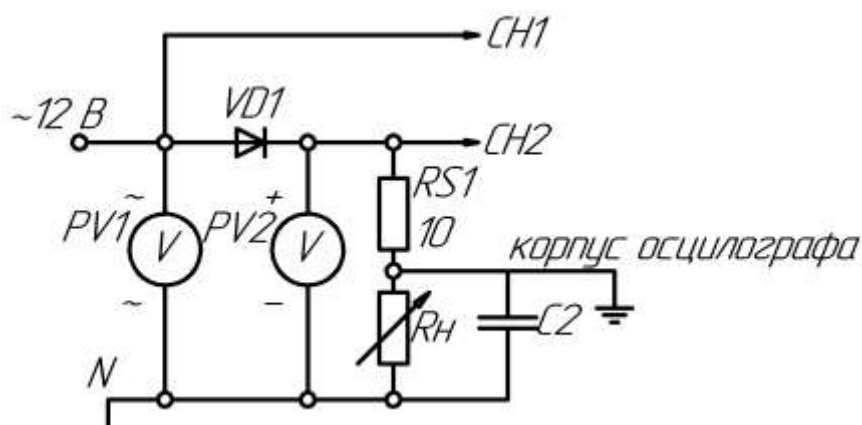


Рис. 30

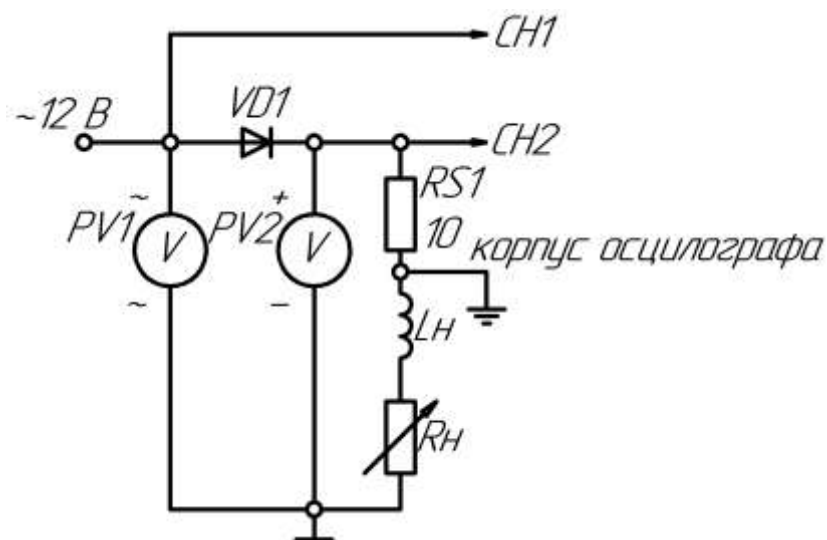


Рис.31

Форма представления результата:

Отчет по работе должен содержать:

- 1) наименование работы и цель работы;
- 2) необходимые теоретические сведения, в т.ч. расчетные формулы и основные определения;
- 3) схемы с электронными компонентами для проведения исследования;
- 4) таблицы результатов экспериментов (измеренные и рассчитанные величины);
- 5) полученные графики (осциллограммы);

6) выводы по работе.

Тема 2.3 Полупроводниковые транзисторы

Лабораторное занятие №9

Исследование биполярного транзистора

Цель работы: исследование характеристик и параметров биполярного транзистора, включенного по схеме с общим эмиттером.

Выполнив работу, Вы будете:

уметь:

- различать электрические и полупроводниковые приборы на схеме;
- различать непрерывные и дискретные сигналы и их параметры;
- определять параметры и характеристики основных функциональных узлов электрических и электронных цепей.

Материальное обеспечение: стенды «Основы электроники».

Теоретические сведения

Биполярный транзистор представляет собой трехслойную полупроводниковую структуру с чередующимися типом электропроводности слоев и содержит два р-п перехода. В зависимости от чередования слоев существуют транзисторы типов р-п-р и п-р-п. В качестве исходного материала для получения трехслойной структуры используют германий и кремний.

Существуют три способа включения транзистора: с общей базой (ОБ), с общим эмиттером (ОЭ), и общим коллектором (ОК). Различие в способах включения зависит от того, какой из выводов транзистора является общим для входной и выходной цепей. В схеме ОБ общей точкой входной и выходной цепей является база, в схеме ОЭ – эмиттер, в схеме ОК – коллектор.

Зависимость тока коллектора от тока базы (см. рис. 7) называется **передаточной характеристикой** транзистора. На рисунке 6 показана передаточная характеристика транзистора, при включении его по схеме с ОЭ. Характеристики снимаются при фиксированном напряжении коллектор – эмиттер.

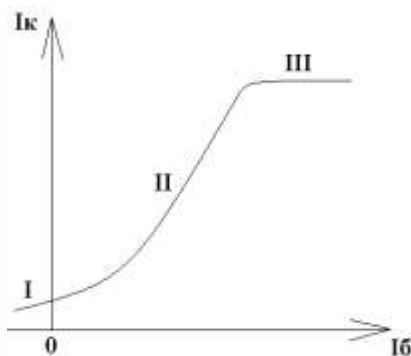


Рисунок 7. Передаточная характеристика транзистора, при включении его по схеме с ОЭ

На передаточной характеристике можно выделить три участка: отсечки (I), активный (II) и насыщения (III).

Передаточная характеристика нелинейна, представляет собой кривую (хотя в середине кривой имеется линейный участок – активный режим). Именно эта кривая и приводит к нелинейным искажениям, если транзистор используется для усиления сигнала, например, звукового. Поэтому приходится рабочую точку транзистора «смещать» на линейный участок характеристики.

Коэффициент передачи по току определяется на линейном участке передаточной характеристики по формуле:

$$K_i = \frac{\Delta I_K}{\Delta I_B}, \quad (2)$$

где ΔI_K - изменение тока коллектора,
 ΔI_B – изменение тока базы.

Экспериментальное исследование характеристик биполярного транзистора

1) Собрать схему для снятия характеристик прямой передачи по току биполярного транзистора (рис.8). Для измерения тока базы подключить миллиамперметр РА1 (до 1 мА), а для измерения тока коллектора подключить РА2 (до 100 мА). Для измерения напряжения на коллекторе использовать вольтметр PV1; в качестве резистора в цепи коллектора использовать резистор RP3 (переключить на 200); резистор RP2 (переключить на 5); регулировка производится с помощью RP1.

2) Снять статическую характеристику прямой передачи по току $I_K = f(I_B)$. Экспериментальные точки записывать в таблицу 4, по результатам измерений построить график передаточной характеристики. На графике обозначить участки: линейный и насыщения. При снятии характеристики следить за постоянством напряжения U_K по вольтметру;

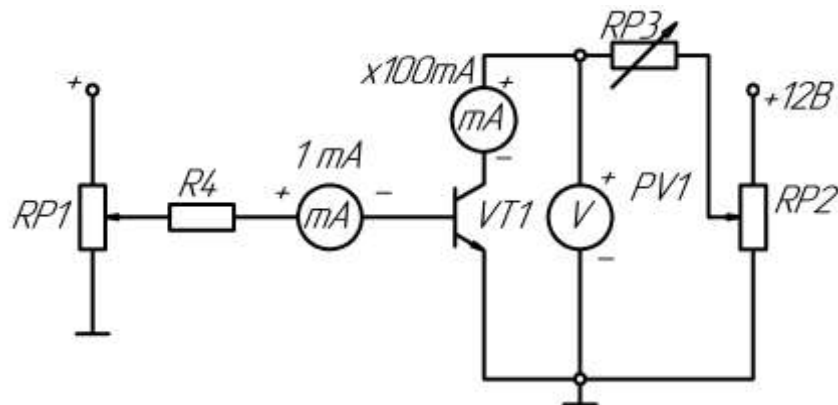


Рис. 8

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

Таблица 4

Результаты измерений

$I_B, \text{мА}$	0	0,05	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
$I_K, \text{мА}$												

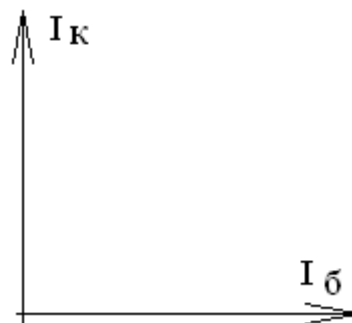


Рис.9 Полученная передаточная характеристики транзистора

- 4) Определить коэффициент передачи по току биполярного транзистора, используя график и формулу (2).
- 5) Сделать выводы по работе.
- 6) Контрольные вопросы
 1. Биполярный транзистор – это...
 2. Какие существуют схемы включения биполярного транзистора?
 3. Передаточная характеристика биполярного транзистора – это...
 4. Коэффициент передачи по току биполярного транзистора – это...
 5. Какие участки можно выделить на графике передаточной характеристики биполярного транзистора?

Форма представления результата:

Отчет по работе должен содержать:

- 1) наименование работы и цель работы;
- 2) необходимые теоретические сведения, в т.ч. расчетные формулы и основные определения;
- 3) схемы с электронными компонентами для проведения исследования;
- 4) таблицы результатов экспериментов (измеренные и рассчитанные величины);
- 5) полученные графики (осциллограммы);
- 6) выводы по работе.

Тема 2.5 Силовые полупроводниковые приборы

Лабораторное занятие №10

Исследование тиристора

Цель работы: исследование характеристик тиристора и способов его выключения.

Выполнив работу, Вы будете:

уметь:

- различать электрические и полупроводниковые приборы на схеме;
- различать непрерывные и дискретные сигналы и их параметры;
- определять параметры и характеристики основных функциональных узлов электрических и электронных цепей.

Материальное обеспечение: стенды «Основы электроники».

Теоретические сведения

Тиристор является силовым электронным не полностью управляемым ключом, который может сигналом управления переводиться только в проводящее состояние, т. е. включаться. Для его выключения (при работе на постоянном токе) необходимо принимать специальные меры, обеспечивающие спадание прямого тока до нуля.

Тиристорный ключ может проводить ток только в одном направлении, а в закрытом состоянии способен выдержать как прямое, так и обратное напряжение.

Тиристор имеет четырехслойную p-n-p-n-структуру с тремя выводами: анод (А), катод (К) и управляющий электрод (УЭ).

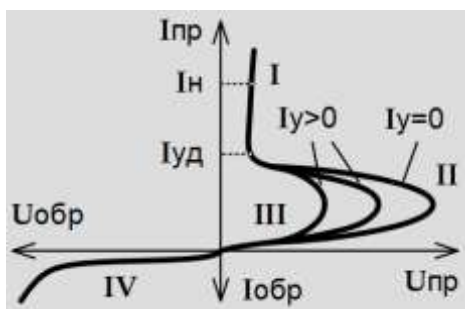
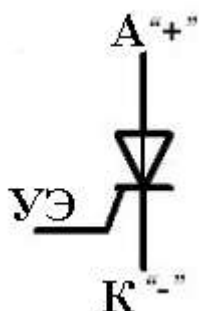


Рис. 13

На рис. 13 представлено УГО тиристора с катодным управлением и семейство выходных статических ВАХ при различных значениях тока управления. Предельное прямое напряжение, которое выдерживается тиристором без его включения, имеет максимальные значения при $I_{упр} = 0$. При увеличении тока $I_{упр}$ прямое напряжение, выдерживаемое тиристором, снижается. Включенному состоянию тиристора соответствует ветвь II, выключенному – ветвь I, процессу включения – ветвь III. Удерживающий ток или ток удержания равен минимально допустимому значению прямого тока, при котором тиристор остается в проводящем состоянии. Этому значению также соответствует минимально возможное значение прямого падения напряжения на включенном тиристоре.

Ветвь IV представляет собой зависимость тока утечки от обратного напряжения. При превышении обратным напряжением значения U_{BO} начинается резкое возрастание обратного тока, связанное с пробоем тиристора.

Экспериментальное исследование тиристора

1) Собрать схему для исследования тиристора на постоянном токе в соответствии с рис. 14. Регулятор R_H перевести в положение «0», соответствующее минимальному значению сопротивления.

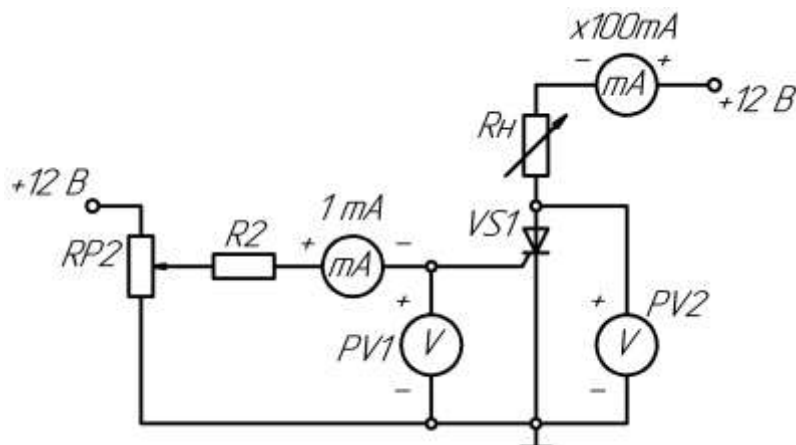


Рис.14

2) Определить отпирающий постоянный ток управления I_{yo} и отпирающее постоянное напряжение управления U_{yo} , при которых происходит включение тиристора. Для этого плавно вращать ручку потенциометра $RP2$, увеличивая ток управления I_y , зафиксировать, при каком значении тока управления I_{yo} , и напряжения управления U_{yo} , включится тиристор. О включении тиристора судить по резкому уменьшению напряжения на аноде U_a и увеличению анодного тока I_a ;

3) Исследовать возможность выключения тиристора по цепи управления и по анодной цепи. Для этого, включив тиристор, уменьшать до нуля ток управления I_y . Выключить тиристор, разорвав цепь анода. Наблюдая за изменением анодного тока I_a и напряжения U_a , сделать вывод об управляемости тиристора, сформулировав условия включения и выключения тиристора. Выключить питание модуля.

4) Снять показания тока управления I_{yo} и отпирающего постоянного напряжения управления U_{yo} до момента открывания тиристора; занести показания в таблицу 6 и построить график характеристики управления тиристора.

Таблица 6

Результаты измерений

I_{yo}, mA									
U_{yo}, B									

5) Сделать выводы по работе.

6) Контрольные вопросы

1. Тиристор – это...
2. Как называют выводы тиристора?
3. Перечислите способы выключения тиристора.
4. Каким из способов вы пользовались при выполнении работы?
5. Соответствует ли полученная ВАХ тиристора заданной?

Форма представления результата:

Отчет по работе должен содержать:

- 1) наименование работы и цель работы;
- 2) необходимые теоретические сведения, в т.ч. расчетные формулы и основные определения;
- 3) схемы с электронными компонентами для проведения исследования;
- 4) таблицы результатов экспериментов (измеренные и рассчитанные величины);
- 5) полученные графики (осциллограммы);
- 6) выводы по работе.

Лабораторное занятие №11

Исследование управляемого выпрямителя

Цель работы: исследование однополупериодного управляемого выпрямителя при работе с различными углами управления.

Выполнив работу, Вы будете:

уметь:

- различать электрические и полупроводниковые приборы на схеме;
- различать непрерывные и дискретные сигналы и их параметры;
- определять параметры и характеристики основных функциональных узлов электрических и электронных цепей.

Материальное обеспечение: стенды «Основы электроники».

Теоретические сведения

В качестве вентиля в однополупериодном управляемом выпрямителе используется **тиристор**. Импульсы тока на управляющий электрод подаются с выхода схемы управления (СУ).

Углом управления α называют угол между началом положительной полуволны входного напряжения и моментом включения тиристора. В момент $\theta = \alpha$ с выхода СУ поступает импульс на управляющий электрод тиристора. Он включается и остается в проводящем состоянии до момента $\theta = \pi$. В течение второго полупериода тиристор смещен в обратном направлении и не проводит ток. Графики входного и выходного напряжений показаны на рисунке 34. При увеличении угла включения α интервал времени, в течение которого тиристор открыт, уменьшается. Уменьшается и среднее напряжение на выходе. Поскольку тиристор может находиться в проводящем состоянии только положительного полупериода входного напряжения, схема является однополупериодным выпрямителем.

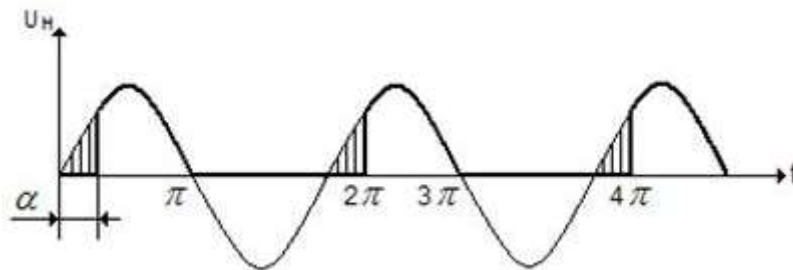


Рис.34 Форма входного и выходного напряжений однополупериодного управляемого выпрямителя

Экспериментальное исследование однополупериодного управляемого выпрямителя на тиристоре

1) Собрать схему управляемого выпрямителя по рис. 35. Подключить входы осциллографа. Переключатель развертки осциллографа перевести на временную развертку. Установить синхронизацию от сети;

2) Установить заданный угол управления, регулируя сопротивление $RP2$; снять осциллограммы напряжения на тиристоре U_a и анодного тока I_a . Снять осциллограмму выпрямленного напряжения на нагрузке U_d , подключив осциллограф к RH ;

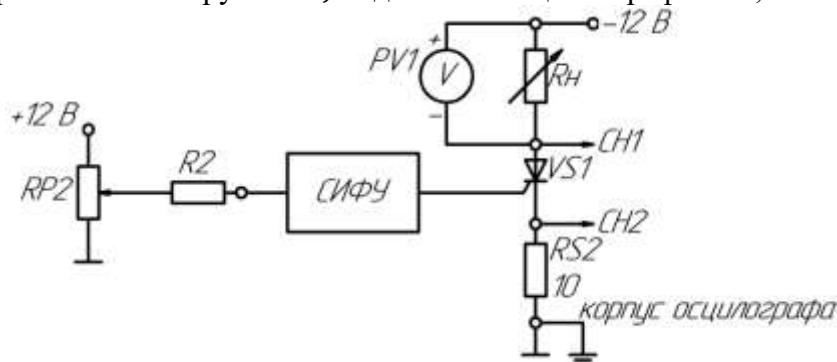


Рис.35

3) Снять регулировочную характеристику выпрямителя $U_d=f(\alpha)$. Регулируя сопротивление реостата $RP2$, изменять угол управления α и построить регулировочную характеристику;

4) Включить в цепь нагрузки индуктивность L_n , снять те же осциллограммы при заданном угле управления и активно-индуктивной нагрузке;

5) Снять регулировочную характеристику тиристора $U_d=f(\alpha)$ при активно-индуктивной нагрузке и нанести ее на тот же график, что и регулировочную характеристику при активной нагрузке;

6) Включить конденсатор $C2$ параллельно активному сопротивлению нагрузки, снять те же осциллограммы при заданном угле управления и активно-индуктивно-емкостной нагрузке (при малых пульсациях напряжения на конденсаторе это эквивалентно работе на противо-ЭДС);

7) Снять регулировочную характеристику тиристора $U_d=f(\alpha)$ при активно-индуктивно-емкостной нагрузке и нанести ее на тот же график, что и регулировочную характеристику при активной нагрузке;

8) Сделать выводы по работе

9) Контрольные вопросы

1. Какой элемент используется в качестве вентиля в однополупериодном управляемом выпрямителе?

2. Какой угол называют углом управления α ?

3. Соответствуют ли полученные осциллограммы сигналам заданным?

4. Как изменяется форма выходного сигнала в зависимости от угла управления?

5. Как изменяется форма выходного сигнала в зависимости от характера нагрузки?

Форма представления результата:

Отчет по работе должен содержать:

1) наименование работы и цель работы;

2) необходимые теоретические сведения, в т.ч. расчетные формулы и основные определения;

3) схемы с электронными компонентами для проведения исследования;

4) полученные графики (осциллограммы);

5) выводы по работе.

Тема 2.6 Электронные усилители
Лабораторное занятие №12
Исследование усилительного каскада на биполярном транзисторе

Цель работы: исследование работы усилительного каскада на биполярном транзисторе, включенном по схеме с общим эмиттером в режимах класса А, В, D.

Выполнив работу, Вы будете:

уметь:

- различать электрические и полупроводниковые приборы на схеме;
- различать непрерывные и дискретные сигналы и их параметры;
- определять параметры и характеристики основных функциональных узлов электрических и электронных цепей.

Материальное обеспечение: стенды «Основы электроники».

Теоретические сведения

Электронный усилитель – это устройство, в котором входной сигнал управляет более мощным потоком энергии, поступающей от источника питания к нагрузке.

Можно выделить несколько основных режимов работы (классов) усилителя (см. рис.18):

Режим А (рис. 18, а) переменный ток протекает в выходной цепи в течение всего периода. От источника питания непрерывно, независимо от уровня входного сигнала, потребляется одна и та же мощность, пропорциональная току в рабочей точке. Достоинством режима класса А являются малые нелинейные искажения, недостатками – низкий КПД (отношение отдаваемой мощности к потребляемой, в УНЧ не более 25%) и относительно малая мощность в нагрузке. Поэтому режим класса А применяется в маломощных (до 3...5 Вт) одноктактных выходных каскадах.

Режим В (рис. 18, б) характеризуется тем, что ток покоя равен нулю. При подаче на вход синусоидального сигнала ток в выходной цепи протекает лишь в течение половины периода (в течение другой половины периода активный элемент находится в состоянии отсечки т.е. угол отсечки равен 180°) и имеет форму импульсов. Достоинства усилителя мощности, работающего в режиме класса В, – высокий КПД (до 70%) и большая мощность сигнала в нагрузке, однако форма выходного сигнала искажена из-за нелинейного участка передаточной характеристики.

В **режиме АВ** (рис. 18, в) угол отсечки от 180 до 360° . КПД по сравнению с режимом В выше, а нелинейные искажения меньше.

В **режиме С** (рис. 18, г) угол отсечки меньше 180° , появляются большие нелинейные искажения. Усилитель применяется в умножителях частоты.

В режиме D (рис. 18, д) усилитель преобразует гармонический сигнал в импульсный. Т.к. рабочая точка выбирается в самом начале динамической вольт-амперной характеристики (рис. 18, д), при отсутствии входного сигнала выходной ток практически равен нулю и выделяемая в каскаде мощность мала. Достоинство режима D заключается в очень высоком (близком к 100%) КПД. Его недостаток – значительное усложнение схемы усилителя. Такой режим широко используется в цифровой технике, во всевозможных управляющих, регулирующих, следящих устройствах, где вследствие высокого КПД и малого потребления энергии он находит широкое применение для усиления прямоугольных импульсов произвольной длительности и скважност

ти.

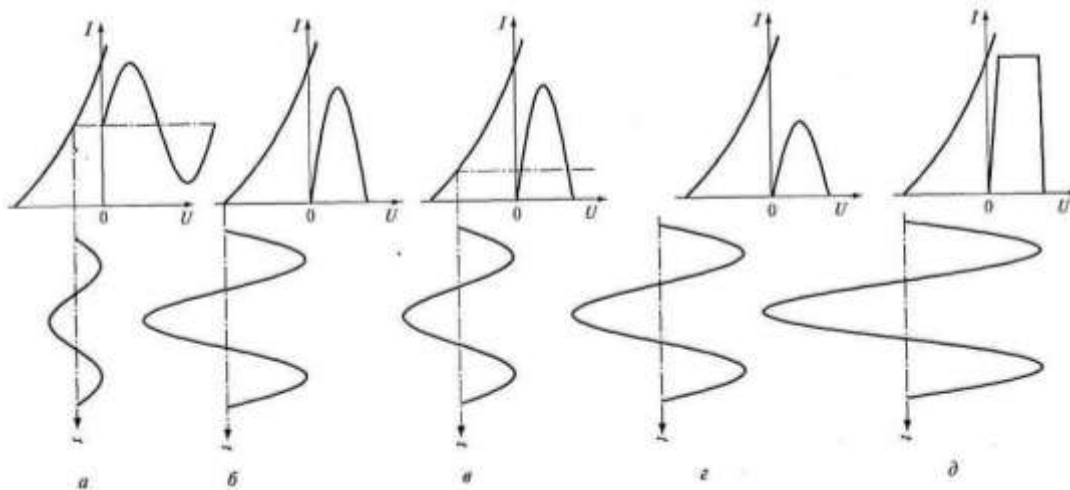


Рис. 18 Входные и выходные сигналы усилителя (а – режим А, б – режим В, в – режим АВ, г – режим С, д – режим D)

Экспериментальное исследование усилительного каскада на биполярном транзисторе в классах А, В и D.

1) Собрать схему для исследования усилительного каскада в соответствии с рис. 19. Резистор $RP3$ установить в 200. Подключить канал CH1 осциллографа ко входу усилителя, а канал CH2 к выходу усилителя. Включить временную развертку осциллографа. Включить функциональный генератор и установить синусоидальный сигнал частотой 50 Гц, уменьшить сигнал до нуля регулятором амплитуды функционального генератора. Переключить входы CH1 осциллографа на положение «вход замкнут». Включить питание стенда. При токе $I_b = 0$ установить на потенциометре $RP2 = 2$ и далее не изменять его при всех экспериментах (не трогать ручку потенциометра $RP2$);

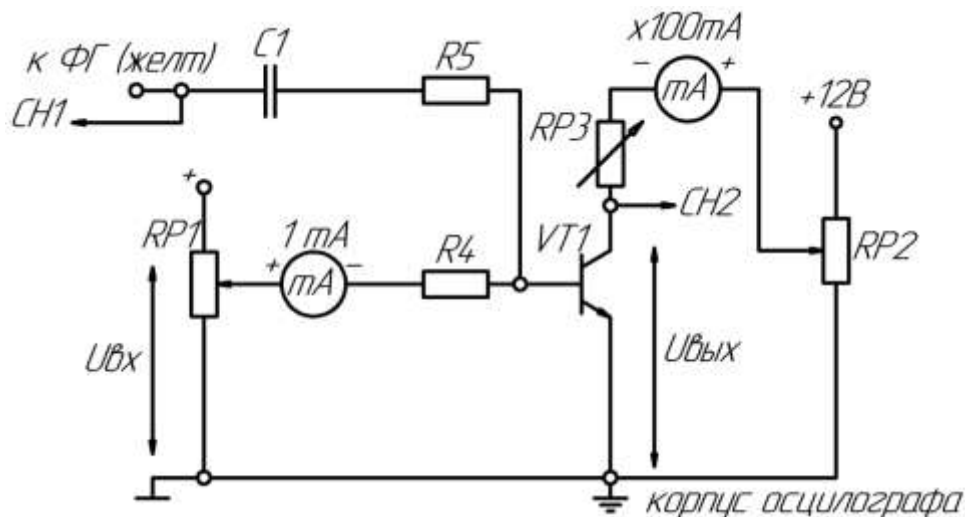


Рис.19

2) Определить экспериментально максимальную амплитуду неискаженного выходного синусоидального напряжения $U_{вых}$ м. Плавно увеличивайте амплитуду входного сигнала (RP1) и постоянную составляющую тока базы до появления видимого уплощения вершин синусоиды выходного напряжения. Обратите внимание, одновременно ли начинают уплощаться положительная и отрицательная полуволны. При необходимости уточните положение рабочей точки покоя. Зарисуйте на кальке выходное напряжение с искажениями и предельное без искажения. При зарисовке осциллограмм не забудьте нанести положение нулевой линии. Определите масштабы по напряжению и по времени. Дальнейшие измерения выходного сигнала необходимо производить в том же масштабе;

3) Определить амплитуду выходного напряжения (полуволны) в классе В. Для этого с помощью потенциометра RP1 установить $I_{б} = 0$, и регулируя амплитуду входного сигнала добиться максимальной неуплощенной полуволны синусоиды выходного напряжения; зарисовать и обработать осциллограмму;

4) Если длительность полуволны меньше полупериода, повысьте потенциометром RP1 постоянный ток $I_{б}$ и изменяя переменный входной сигнал добейтесь воспроизведения усилителем ровно половины периода неискаженного синусоидального напряжения с максимальной амплитудой. Уменьшите $U_{вх}$ до нуля и запишите ток $I_{б}$, который пришлось установить в рабочей точке покоя, чтобы не было искажений. Эта рабочая точка покоя соответствует классу АВ.

5) Исследовать работу транзистора в ключевом режиме (класс D). Установите $I_{б} = 0$ и увеличить сигнал от функционального генератора ФГ до перехода транзистора в ключевой режим; зарисуйте и обработайте осциллограмму выходного напряжения;

6) Повторите опыт при подаче на вход прямоугольного сигнала.

7) Сделайте выводы по работе

8) Контрольные вопросы

1. Электронный усилитель – это...

2. Опишите режим класса А усилителя

3. Опишите режим класса В усилителя

4. Опишите режим класса D усилителя

5. Соответствуют ли полученные осциллограммы входных и выходных сигналов усилителя заданным?

Форма представления результата:

Отчет по работе должен содержать:

1) наименование работы и цель работы;

2) необходимые теоретические сведения, в т.ч. расчетные формулы и основные определения;

3) схемы с электронными компонентами для проведения исследования;

4) таблицы результатов экспериментов (измеренные и рассчитанные величины);

5) полученные графики (осциллограммы);

6) выводы по работе.

Лабораторное занятие №13 Исследование компаратора на основе ОУ

Цель работы: исследование характеристик, параметров и режимов работы компаратора на основе операционного усилителя

Выполнив работу, Вы будете:

уметь:

- различать электрические и полупроводниковые приборы на схеме;
- различать непрерывные и дискретные сигналы и их параметры;

- определять параметры и характеристики основных функциональных узлов электрических и электронных цепей.

Материальное обеспечение: стенды «Основы электроники».

Теоретические сведения

Компаратор (аналоговых сигналов) — электронная схема, принимающая на свои входы два аналоговых сигнала и выдающая логическую «1», если сигнал на прямом входе («+») больше, чем на инверсном входе («-»), и логический «0», если сигнал на прямом входе меньше, чем на инверсном входе.

Простейший компаратор представляет собой дифференциальный усилитель. Компаратор отличается от линейного операционного усилителя (ОУ) устройством и входного, и выходного каскадов.

При подаче эталонного напряжения сравнения на инвертирующий вход входной сигнал подаётся на неинвертирующий вход, и компаратор является неинвертирующим (повторителем, буфером).

При подаче эталонного напряжения сравнения на неинвертирующий вход входной сигнал подаётся на инвертирующий вход, и компаратор является инвертирующим (инвертором).

Регенеративный компаратор обеспечивает сравнение входного сигнала с долей выходного.

Форма входных напряжений (U_{BX1} — гармонический сигнал, U_{BX2} — постоянное напряжение) и выходного напряжения компаратора представлена на рисунке 24:

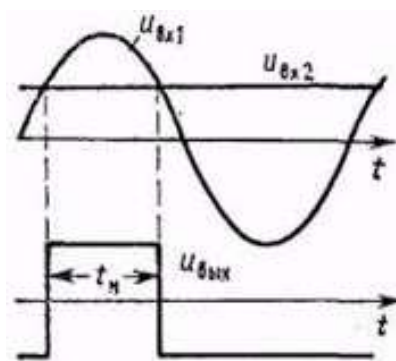


Рис.24 Форма входных и выходных сигналов компаратора

Экспериментальное исследование двухвходового компаратора и регенеративного компаратора с положительной обратной связью

1) Собрать схему двухвходового компаратора с положительной обратной связью согласно рис. 25. В качестве резистора обратной связи применить переключаемый резистор RP3 (10...200 кОм). В качестве опорного напряжения $U_{оп}$ использовать регулируемое постоянное напряжение. На инвертирующий вход подключить функциональный генератор, используя его в режиме синусоидального сигнала "∼";

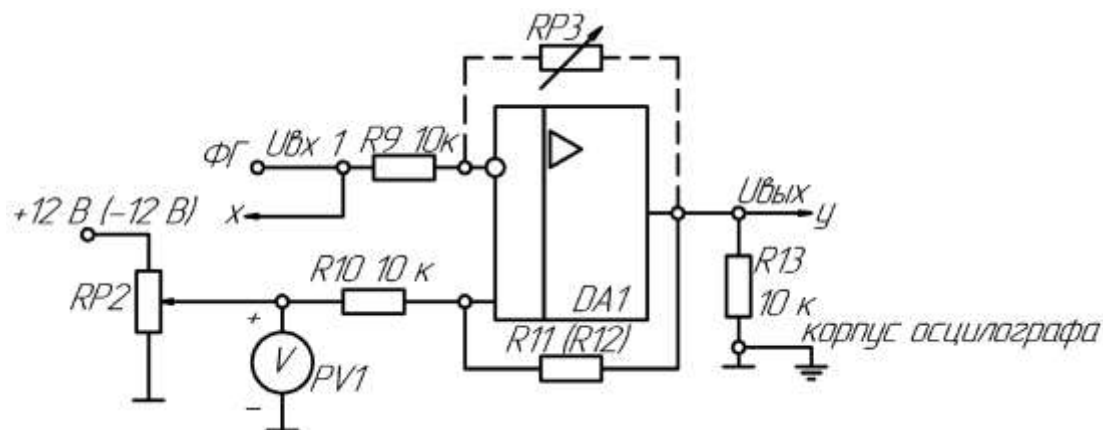


Рис.25

2) Снять характеристики передачи компаратора без обратной связи и для двух значений сопротивлений обратной связи при заданном опорном напряжении. Измерение опорного напряжения можно производить вольтметром PV1. Выходное напряжение необходимо подключить на вход Y осциллографа, входное напряжение на вход X. Изменяя величину переменного сигнала на инвертирующем входе, добиться появления на выходе прямоугольных импульсов. После переключения развертки осциллографа в положение X/Y зарисовать характеристики. Определить масштабы по осям Y и X;

3) Снять осциллограммы работы компаратора при сравнении постоянного (опорного) и переменного напряжений. Установить амплитуду переменного напряжения 3,0 В с частотой 1 кГц. Установить заданное опорное напряжение. Зарисовать с экрана осциллографа входные напряжения $U_{вх1}$, $U_{оп}$ и выходное напряжение $U_{вых}$. Сравнить с приведенными в теоретических сведениях графиками.

4) Сделать выводы по работе.

5) Контрольные вопросы

1. Компаратор – это...

2. Регенеративный компаратор – это...

3. Какой формы сигналы подаются на вход компаратора?

4. Какой формы сигналы снимаются с выхода компаратора?

5. Соответствуют ли полученные осциллограммы сигналов компаратора заданным?

Форма представления результата:

Отчет по работе должен содержать:

1) наименование работы и цель работы;

2) необходимые теоретические сведения, в т.ч. расчетные формулы и основные определения;

3) схемы с электронными компонентами для проведения исследования;

4) таблицы результатов экспериментов (измеренные и рассчитанные величины);

5) полученные графики (осциллограммы);

6) выводы по работе.

Лабораторное занятие №14

Исследование инвертирующего и неинвертирующего усилителя на основе ОУ.

Цель работы: исследование характеристик и параметров работы инвертирующего и неинвертирующего усилителя на основе операционного усилителя

Выполнив работу, Вы будете:

уметь:

- различать электрические и полупроводниковые приборы на схеме;

- различать непрерывные и дискретные сигналы и их параметры;

- определять параметры и характеристики основных функциональных узлов электрических и электронных цепей.

Материальное обеспечение: стенды «Основы электроники».

Теоретические сведения

Операционный усилитель - это электронный усилитель напряжения с высоким коэффициентом усиления, имеющий дифференциальный вход и обычно один выход. Напряжение на выходе может превышать разность напряжений на входах в сотни или даже тысячи раз.

Операционные усилители являются наиболее востребованными приборами среди современных электронных компонент, они находят своё применение в потребительской электронике, применяются в промышленности и в научных приборах. Операционные усилители обычно выпускаются как отдельные компоненты, а так же они могут являться элементами более сложных электронных схем.

Амплитудная характеристика усилителя на постоянном токе – это зависимость выходного напряжения от входного $U_{\text{вых}} = F(U_{\text{вх}})$.



Рис.20 Амплитудная характеристика усилителя

Коэффициент усиления инвертирующего и неинвертирующего усилителей по напряжению определяется по формулам (4) и (5) соответственно:

$$K_u = -\frac{R_{P3}}{R_9}, \quad (4)$$

$$K_u = 1 + \frac{R_{P3}}{R_9}, \quad (5)$$

где R_{P3} и R_9 - соответствующие сопротивления.

Экспериментальное исследование инвертирующего и неинвертирующего усилителя

- 1) Собрать схему согласно рис.21; установить заданное значение $R_{P3}=20\text{K}$;
- 2) Включить питание. Снять амплитудную характеристику усилителя на постоянном токе $U_{\text{вых}}=F(U_{\text{вх}})$ (Табл.8). В качестве источника сигнала использовать напряжение, регулируемое потенциометром R_{P2} . Сначала снять половину характеристики, используя источник +12В, затем, подключив источник -12В, снять вторую часть характеристики, т.е. $U_{\text{вх}}$ должно изменяться от +12 до -12В. По амплитудной характеристике определить коэффициент усиления по напряжению $K_{\text{иос}}$; выключить питание;
- 3) Собрать схему согласно рис. 22. Установить заданное значение $R_{P3}=20\text{K}$
- 4) Снять амплитудную характеристику усилителя на постоянном токе $U_{\text{вых}} = F(U_{\text{вх}})$ (Табл.9). В качестве источника сигнала использовать напряжение, регулируемое потенциометром R_{P2} . По амплитудной характеристике определить коэффициент усиления по напряжению $K_{\text{и}}$; выключить питание;
- 5) По таблицам 8 и 9 построить графики амплитудных характеристик для инвертирующего и неинвертирующего усилителей, рассчитать для них коэффициенты усиления по формулам 4 и 5. По графикам определить коэффициенты усиления и сравнить с расчетными.

- 6) Сделать выводы по работе
- 7) Контрольные вопросы
1. Операционный усилитель – это...
2. Амплитудная характеристика усилителя – это...
3. Чем различаются инвертирующие и неинвертирующие усилители?
4. Соответствует ли полученный график амплитудной характеристики заданному?
5. Совпадают ли значения коэффициентов усиления, полученные расчетным и графическим способами?

Таблица 8.

Результаты измерений (инвертирующий усилитель)

Упит, В	+12В							-12В						
$U_{вх}, В$	0	0,5	1	1,5	2	2,5	3	0	-0,5	-1	-1,5	-2	-2,5	-3
$U_{вых}, В$														

Таблица 9.

Результаты измерений (неинвертирующий усилитель)

Упит, В	+12В							-12В						
$U_{вх}, В$	0	0,5	1	1,5	2	2,5	3	0	-0,5	-1	-1,5	-2	-2,5	-3
$U_{вых}, В$														

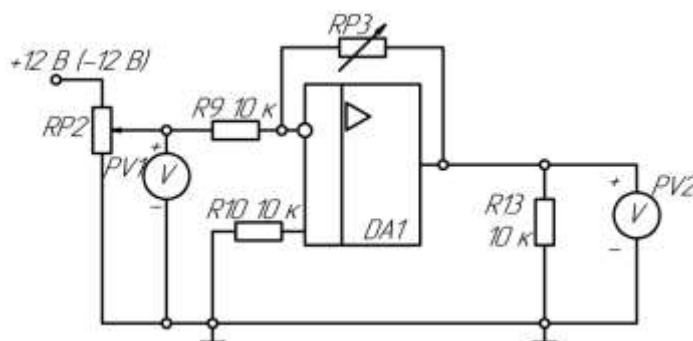


Рис. 21

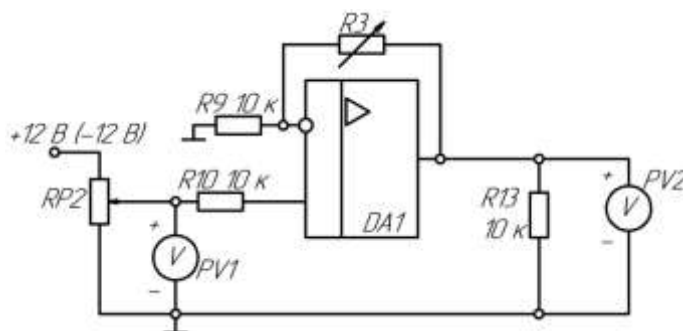


Рис.22

Форма представления результата:

Отчет по работе должен содержать:

- 1) наименование работы и цель работы;
- 2) необходимые теоретические сведения, в т.ч. расчетные формулы и основные определения;
- 3) схемы с электронными компонентами для проведения исследования;
- 4) таблицы результатов экспериментов (измеренные и рассчитанные величины);
- 5) полученные графики (осциллограммы);

6) выводы по работе.

Тема 2.7 Электронные генераторы
Лабораторное занятие №15
Исследование мультивибратора на основе ОУ

Цель работы: исследование работы мультивибратора на основе операционного усилителя

Выполнив работу, Вы будете:

уметь:

- различать электрические и полупроводниковые приборы на схеме;
- различать непрерывные и дискретные сигналы и их параметры;
- определять параметры и характеристики основных функциональных узлов электрических и электронных цепей.

Материальное обеспечение: стенды «Основы электроники».

Теоретические сведения

Мультивибратор – это релаксационный генератор электрических прямоугольных колебаний с короткими фронтами. Мультивибратор представляет собой двухкаскадный усилитель, охваченный глубокой положительной обратной связью.

В электронной технике используются самые различные варианты схем мультивибраторов, которые различаются между собой по типу используемых активных компонентов (ламповые, транзисторные, тиристорные, микроэлектронные и другие), различающиеся режимом работы (автоколебательный, ждущие, с внешней синхронизацией синхронизации), видам связи между усилительными элементами, способам регулировки длительности и частоты генерируемых импульсов и другими параметрами.

Форма выходного напряжения и входного напряжения на инвертирующем входе мультивибратора представлена на рисунке 1:

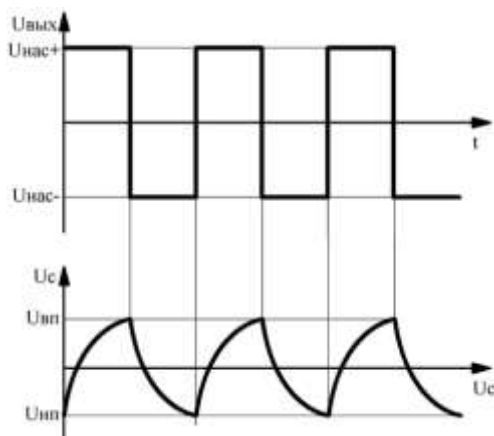


Рис.1 Форма выходного напряжения и входного напряжения на инвертирующем входе мультивибратора

Порядок выполнения работы

- 1) Собрать схему мультивибратора (рис. 27), установить заданные преподавателем значения емкости конденсатора ($C5$ или $C6$) и сопротивления резистора $RP3$ (от 10кОм);

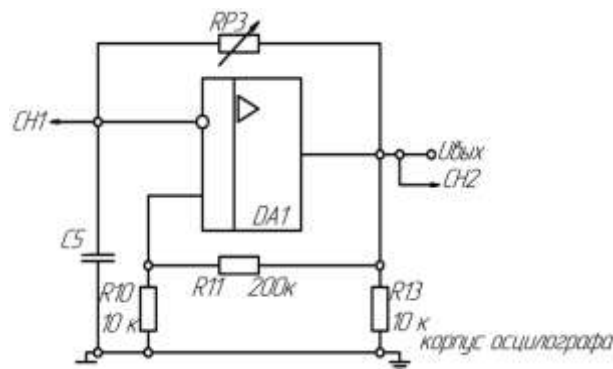


Рисунок 27 – Схема мультивибратора

2) Снять осциллограммы напряжений в схеме мультивибратора. Зарисовать с экрана осциллографа выходное напряжение $U_{\text{вых}}$ и напряжение на инвертирующем входе $U_{\text{с}}$. Обработать осциллограммы. Определить частоту на выходе мультивибратора. Определить масштабы. Сравнить значение частоты, полученное экспериментально, с расчетным значением.

3) Исследовать влияние сопротивлений $RP3$ и $R11(R12)$ и конденсатора $C5(C6)$ на изменение частоты на выходе мультивибратора. Для этого определить выходную частоту мультивибратора при другом значении резистора $RP3$. Установить первоначальное значение сопротивления $RP3$. Аналогичные действия повторить для конденсатора $C5$. Изменяя $RP3$, исследовать влияние обратной связи.

- 4) Определить выходную частоту мультивибратора по формуле: $f = \frac{1}{T}$,
где T – период, определяется как

$$T = 2 \cdot RP3 \cdot C5 \cdot \ln \left(1 + 2 \cdot \left(\frac{R10}{R11} \right) \right),$$

Значения номиналов резисторов на схеме, а $C_5=10000\text{пФ}$ ($C_6=6800\text{пФ}$).

Форма представления результата:

Отчет по работе должен содержать:

- а) наименование работы и цель работы;
- б) схему эксперимента;
- в) полученные осциллограммы;
- г) результаты расчётов;
- д) выводы по работе.