

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

к выполнению лабораторных и практических работ
по учебной дисциплине

ОП.04 «Основы электротехники и электронной техники» для обучающихся специальности
09.02.01 Компьютерные системы и комплексы

Магнитогорск
2025

СОДЕРЖАНИЕ

1 ВВЕДЕНИЕ.....	57
2 МЕТОДИЧЕСКИЙ УКАЗАНИЯ.....	59
Практическое занятие №1.....	59
Практическое занятие №2.....	60
Практическое занятие №3.....	61
Практическое занятие №4.....	63
Практическое занятие №5.....	64
Лабораторная работа №1.....	65
Лабораторная работа №2.....	68
Лабораторная работа №3.....	71
Лабораторная работа №4.....	74
Лабораторная работа №5.....	78
Лабораторная работа №6.....	83
Лабораторная работа №7.....	84
Лабораторная работа №8.....	86
Лабораторная работа №9.....	87
Лабораторная работа №10.....	89
Лабораторная работа №11.....	92
Лабораторная работа №12.....	93
Лабораторная работа №13.....	95
Лабораторная работа №14.....	97
Лабораторная работа №15.....	99

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 полупроводниковые диоды, биполярные и полевые транзисторы, тиристоры на схемах и в изделиях;
- определять назначение и свойства основных функциональных узлов аналоговой электроники: усилителей, генераторов в схемах;

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.

Выполнение студентами практических и лабораторных работ по учебной дисциплине «Основы электротехники и электронной техники» направлено на:

- обобщение, систематизацию, углубление, закрепление, развитие и детализацию полученных теоретических знаний по конкретным темам учебной дисциплины;
- формирование умений применять полученные знания на практике,
- реализацию единства интеллектуальной и практической деятельности;
- формирование и развитие умений: наблюдать, сравнивать, сопоставлять, анализировать, делать выводы и обобщения, самостоятельно вести исследования, пользоваться различными приемами измерений, оформлять результаты в виде таблиц, схем, графиков;
- приобретение навыков работы с различными приборами, аппаратурой, установками и другими техническими средствами для проведения опытов;
- выработку при решении поставленных задач профессионально значимых качеств, таких как самостоятельность, ответственность, точность, творческая инициатива.

Практические и лабораторные занятия проводятся после соответствующей темы, которая обеспечивает 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

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.

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 ТИМ2 2	16	ВС-0,25 КД-1 ТИ29	23	Р1-16 КМ-6 ТИМ43
3	МЛТ-0,5	10	СП5-	1	ВС-	24	МЛТ-

	КМ-6 ТИ2		30 К50-20 ТИМ2	7	0,125 К75-41 ТИ5		0,125 К75-15 ТИ52
4	МЛТ-1 К10У-5 ТИ27	11	СПЗ-38 КД-1 ТИМС 23	1 8	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	1 9	МЛТ-0,25 КМ-6 ТИМ64	26	СП5-30 КД-1 ТИ53
6	ВС-0,25 К50-6 ТИ28	13	Р1-16 К10У-5 ТИМ2 4	2 0	МЛТ-1 К75-37 ТИМ25	27	СПЗ-16 К50-6 ТИМ45
7	ВС-0,5 К75-37 ТИ4	14	С2-11 К50-6 ТИМ4	2 1	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.

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.

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;

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.

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;

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.

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.

Таблица 6 – Исходные данные

Вариант	№ схем ы	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

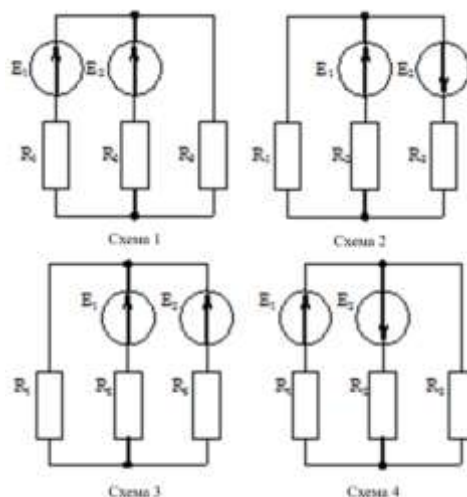


Рисунок 1 - Схемы электрических цепей

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;

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. Определите напряжения U_1 , U_2 и U .

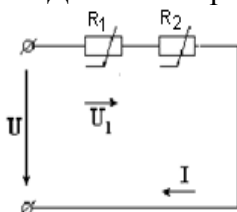


Рисунок 2 – Последовательное соединение нелинейных элементов

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 . Определите напряжение U и токи I_1 , I_2 .

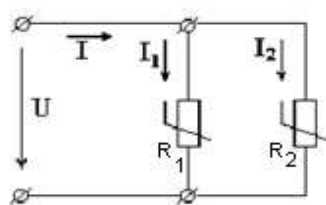


Рисунок 3 – Параллельное соединение нелинейных элементов

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.

Практическое занятие №5

Расчёт магнитных цепей

Цель: научиться рассчитывать магнитные цепи постоянного тока.

Выполнив работу, Вы будете:

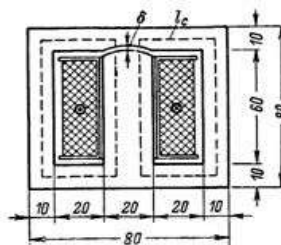
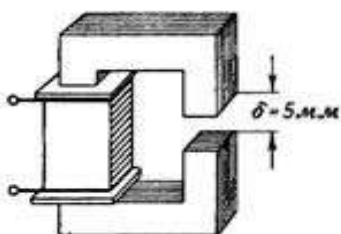
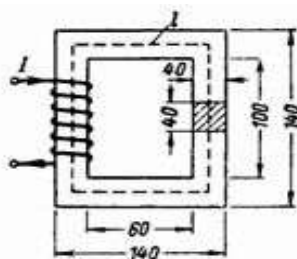
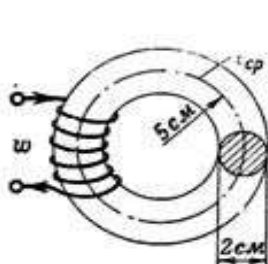
уметь:

- применять основные определения и законы теории электрических цепей;

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

Задание: Решите задачи:

1. Каким должен быть намагничивающий ток катушки индуктивности, имеющей 200 витков, чтобы ее намагничивающая сила создала в чугунном кольце магнитный поток $0,000157 \text{ Вб}$? 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 $0,0016 \text{ Вб}$?
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 $0,0016 \text{ Вб}$?
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 .



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.

Лабораторная работа №1

Измерение электрических величин и параметров элементов электрических цепей

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

Выполнив работу, Вы будете:

уметь:

- применять основные определения и законы теории электрических цепей;
- различать непрерывные и дискретные сигналы и их параметры;

Материальное обеспечение: ПК с NI Multisim

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 MultiSim.

Измерение действующих значений напряжения и тока в ветвях электрической цепи проводится вольтметрами и амперметрами. Амперметр включается *последовательно* с элементами ветви, а вольтметр — *параллельно* участку цепи (рис. 1.1 а и б), напряжение на котором необходимо измерить. Модели амперметров и вольтметров среды MultiSim не требуют установки диапазона измерений.

Для установки режима работы и величин внутренних сопротивлений (**Resistance**) амперметров A1, A2 и вольтметров V1, V2 нужно дважды нажать на левую клавишу мыши (в дальнейшем дважды *щелкнуть мышью*) на изображении соответствующего прибора, в открывшемся диалоговом окне свойств прибора установить в команде Mode режим работы (постоянный ток DC или переменный AC), изменить или оставить установленное по умолчанию внутреннее сопротивление прибора (1 нОм для амперметров и 10 МОм для вольтметров) и нажать на кнопку ОК (Принять). Внутренние сопротивления 1 нОм для амперметров и 10 МОм для вольтметров, установленные по умолчанию, в большинстве случаев оказывают пренебрежительно малое влияние на работу схем.

В библиотеке Instruments среды MultiSim имеется мультиметр XMM1 (рис. 1.1 а), используемый для измерения тока, напряжения и сопротивления. В схеме (рис. 1.1 а) мультиметр, работающий в режиме измерения напряжения, подключается к зажимам резистора R1 с помощью ключа S, управляемого клавишей S клавиатуры. В модели мультиметра XMM1 устанавливают род тока (постоянный «—» или переменный «~»), измеряемую величину по единице измерения: A — ток, V — напряжение, Ω — сопротивление, dB — уровень напряжения в децибелах и другие параметры (Settings) (см. рис. 1.2 справа).

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.

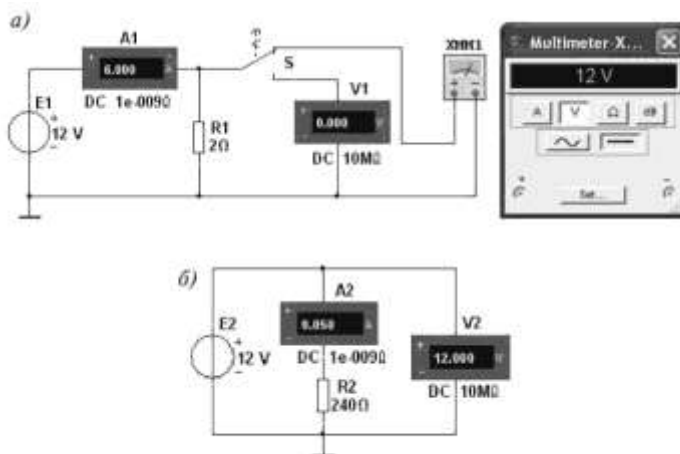


Рис. 1.1

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 мультиметр ХММ2, в диалоговом окне которого нужно установить режим работы «—» (постоянный ток), измеряемую величину $\wedge$, значение тока, например 10 нА (10 нА) при измерении сопротивления (Settings), и подключить прибор к зажимам отдельного резистора (рис. 1.2) или параллельно участку резистивной цепи (без источников энергии). При измерении сопротивления между двумя любыми точками схемы цепи нужно, чтобы хотя бы один из узлов схемы имел соединение с «заземленной» точкой, при этом ветви с идеальными источниками тока должны быть разомкнуты, а идеальные источники напряжения заменены короткозамкнутыми участками (проводниками).

В практике измерения *сопротивлений* резистивных элементов, кроме прямых и сравнительных методов, широко используется так называемый *метод вольтметра-амперметра*, в основу которого положен закон Ома для цепей постоянного тока (см. рис. 1.1 а и б). Заметим, что этот метод позволяет получить лишь приближенное значение измеряемого сопротивления $R * U/I$. Так, для схемы, изображенной на рис. 1.1 а:

$$R_1 = U / (I - U/R_V);$$

а для схемы, изображенной на рис. 1.1.б:

$$R_2 = (U - R_A I) / I,$$

где R_V и R_A – внутренние сопротивления амперметра и вольтметра.

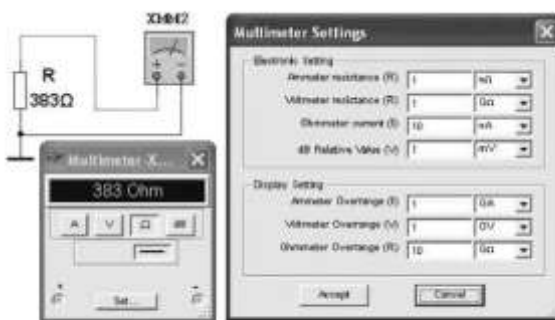


Рис. 1.2

Анализ приведенных выражений позволяет сделать выводы: первой схемой (рис. 1,1а) следует пользоваться при измерении сравнительно малых сопротивлений, когда $R_V \gg R_1$, а второй схемой (рис. 1.1 б) — при измерении больших сопротивлений, когда $R_A \ll R_2$.

Задания и указания к их выполнению

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

2 подгруппа вариант = № ПК·2.

Задание 1.

Открыть библиотеку источников энергии **Source** и «перетащить» на рабочее поле среды MULTISIM идеальный источник **E1** постоянного напряжения, затем из библиотеки базовых компонентов **Basic** «перетащить» четыре резистора **R1,..., R4**, из библиотеки индикаторов **Indicator** — амперметр **A** и четыре вольтметра (**V1,..., V4**), из панели приборов **Instruments** — мультиметр **XMM1**.

После двойного щелчка мышью на изображении элемента или прибора в открывающихся диалоговых окнах:

–**задать** ЭДС источника напряжения $E_1 = N$ (в вольтах), где N — номер варианта;

–**обозначить** (щелкая на кнопках **Label** и **Value**) резисторы и установить значения их сопротивлений: $R_1 = N$; $R_2 = 2N$; $R_3 = 3N$; $R_4 = 4N$;

–**задать** или **оставить** установленный по умолчанию режим **DC** функционирования измерительных приборов и их внутренние сопротивления: 1 нОм для амперметра и 10 МОм для вольтметров;

–**задать** измеряемую величину $\wedge$ мультиметра и режим его работы (постоянный ток).

Собрать схему рис. 1.4 а: соединить параллельно между собой сопротивления R_1 и R_3 ; R_2 и R_4 и **измерить** с помощью мультиметра ХММ1 сопротивления разветвлений резисторов. Полученные значения сопротивлений занести в табл. 1.1 и **сравнить** со значениями, вычисленными по формулам:

$$R_{13} = R_1 R_3 / (R_1 + R_3) \quad \text{и} \quad R_{24} = R_2 R_4 / (R_2 + R_4)$$

Таблица 1.1

	R_{13} , Ом	R_{24} , Ом	U_{13} , мВ	U_{24} , мВ	U_{37} , мВ	U_{47} , мВ
Измерено			$I_1 = I$, мА	$I_2 = I$, мА	$I_3 = I$, мА	$I_4 = I$, мА
Вычислено	R_{13} , Ом	R_{24} , Ом	R_{13} , Ом	R_{24} , Ом	R_{37} , Ом	R_{47} , Ом

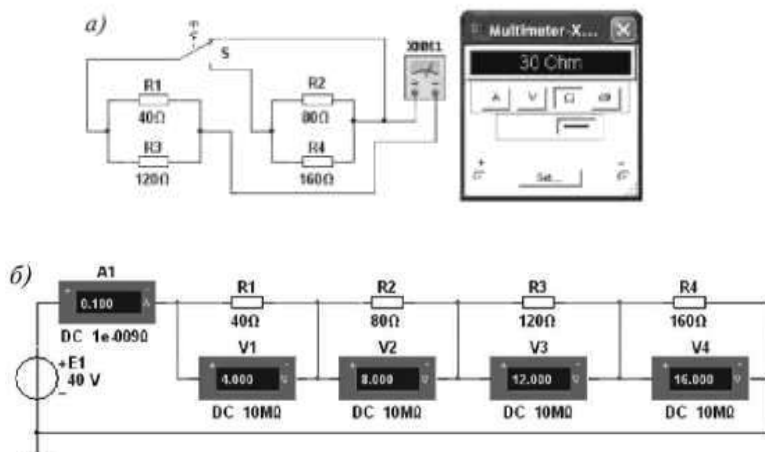


Рис. 1.4

Задание 2.

Собрать схему (см. рис. 1.4б) и, согласно варианту, установить значения параметров элементов и приборов. Запустить программу MultiSim (щелкнуть мышью на кнопке I/O меню среды MultiSim) и занести показания приборов (значение тока и значения напряжений на зажимах резисторов) в табл. 1.1. **Рассчитать** сопротивления резисторов и занести их значения в табл. 1.1. **Скопировать** и занести также на страницу отчета рисунки — чертежи схем рис. 1.4 а и б.

Контрольные вопросы

1. Чем различаются прямые и косвенные измерения?
2. Чем различаются совместные и совокупные измерения?
3. Какой метод оценки вы использовали при выполнении работы?
4. Какими приборами можно измерить мгновенные значения сигналов?
5. Что можно измерить мультиметром среды MultiSim?

Содержание отчета

1. Наименование и цель работы.
2. Перечень приборов, использованных в экспериментах, с их краткими характеристиками (тип прибора, назначение, род тока, измеряемые величины, пределы измерения или выходные параметры).
3. Электрические схемы измерения.
4. Таблицы результатов измерений и расчетов.
5. Расчетные формулы.
6. Ответы на контрольные вопросы.
7. Выводы по работе.

Лабораторная работа № 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:

- применять основные определения и законы теории электрических цепей;
- различать непрерывные и дискретные сигналы и их параметры;

Материальное обеспечение: ПК с NI Multisim

Краткие теоретические сведения

Описание схемы цепи

В работе исследуется двухконтурная схема цепи (рис. 3.1) с двумя источниками постоянного напряжения, имитирующая, например, электрическую цепь электропитания автомобиля. В состав такой цепи входят: генератор с ЭДС E_1 и внутренним сопротивлением $R_{вт1}$, аккумуляторная батарея с ЭДС E_2 и внутренним сопротивлением $R_{вт2}$ и эквивалентная нагрузка R .

В соответствии с вариантом задания нужно установить значения ЭДС E_1 и E_2 источников энергии, их внутренние сопротивления $R_{вт1}$ и $R_{вт2}$ и сопротивление нагрузки R . При проведении опытов сопротивление потенциометра (нагрузки) R необходимо изменять в широких пределах.

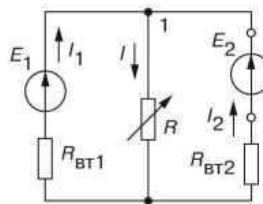


Рис. 3.1

Условное положительное направление токов в ветвях схемы указано на рис. 3.1.

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. 3.1) методом законов Кирхгофа. Согласно первому закону Кирхгофа (1ЗК) для узла 1:

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

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

$$E_1 = R_{вт1} I_1 + RI;$$

$$E_2 = R_{вт2} I_2 + RI$$

Используя формулы Крамера для системы уравнений

$$I_1 + I_2 - I = 0; R_{вт1} I_1 + 0 I_2 + RI = E_1; 0 I_1 + R_{вт2} I_2 + RI = E_2,$$

находим токи

$$I_1 = \frac{\Delta_1}{\Delta} = \frac{\begin{vmatrix} 0 & 1 & -1 \\ E_1 & 0 & R \\ E_2 & R_{вт2} & R \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} 1 & 1 & -1 \\ R_{вт1} & 0 & R \\ 0 & R_{вт2} & R \end{vmatrix}}, \quad I_2 = \frac{\Delta_2}{\Delta} = \frac{\begin{vmatrix} 1 & 0 & -1 \\ R_{вт1} & E_1 & R \\ 0 & E_2 & R \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} 1 & 1 & -1 \\ R_{вт1} & 0 & R \\ 0 & R_{вт2} & R \end{vmatrix}}, \quad I = I_1 + I_2. \quad (3.1)$$

Мощность, потребляемая нагрузкой, и баланс мощностей

Мощность, потребляемая нагрузкой R , равна (в Вт)

$$P = RI^2.$$

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

$$\pm E_1 I_1 \pm E_2 I_2 = RI^2 + R_{вт1} I_1^2 + R_{вт2} I_2^2$$

(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. 3.1), необходимо знать величину и направление токов ветвей и ЭДС источников.

Пусть $E_1 = 14$ В; $R_{BT1} = 0,5$ Ом; $E_2 = 12$ В; $R_{BT2} = 2$ Ом; $R = 10$ Ом. Воспользовавшись калькулятором ElCalc, находим согласно (3.1) токи ветвей (рис. 3.2):

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



Рис. 3.2

Заземлим узел a (рис. 3.3 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. 3.3б 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.

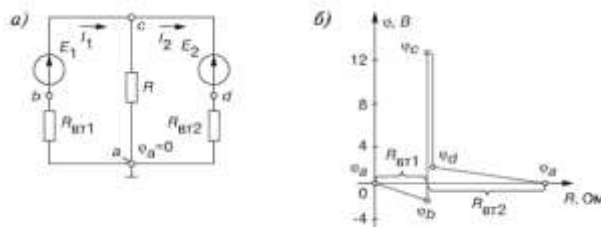


Рис. 3.3

Задания и указания к их выполнению

Задание 1. Рассчитать токи ветвей схемы (см. рис. 3.1) методом законов Кирхгофа, напряжение $U_1 = E_1 - R_{BT1}I_1$ и мощность, потребляемую нагрузкой R . Проверить результаты расчета методом баланса мощностей и построением потенциальной диаграммы наружного контура.

При расчетах **использовать** параметры элементов схемы, определяемые согласно выражениям:

$$E_1 = 5 + N, \text{ В}; R_{BT1} = 0,5 + \text{int}(N/8), \text{ Ом}; R = 10 + N, \text{ Ом};$$

$$E_2 = 3 + N, \text{ В}; R_{BT2} = 2 + \text{int}(N/5), \text{ Ом},$$

где N — номер варианта $= N_{ПК} \cdot 10$.

Результаты расчета токов, напряжения U_1 и мощности P при сопротивлении нагрузки $R = 10 + N$, Ом, **занести** в правый столбец табл. 3.1.

Таблица 3.1

Измерено при сопротивлении нагрузки R [Ом], равном:									Рассчитано при R
Токи ветвей, напряжение U_1 и мощность P	∞ (XX)	$10R$	$5R$	$2R$	R	$\frac{1}{2}R$	$\frac{1}{4}R$	0 (K3)	
I_1 , А									
I_2 , А									
I_3 , А									
U_1 , В									
P , Вт									

Задание 2. Собрать на рабочем поле среды Multisim схему для испытания двухконтурной схемы цепи постоянного тока (рис. 3.4) и **установить** в диалоговых окнах компонентов их параметры или режимы работы:

- значения параметров элементов схемы цепи;
- режим **DC** работы приборов; внутренние сопротивления амперметров $R_A = 1$ нОм, а вольтметра $R_V = 10$ МОм.

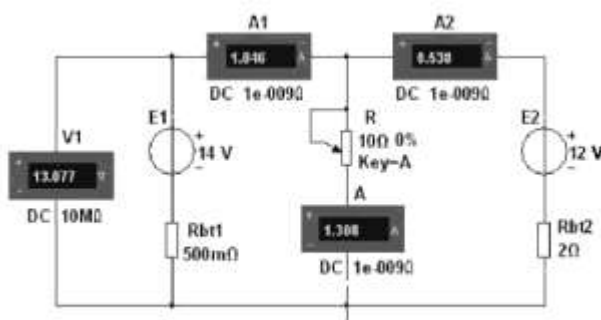


Рис. 3.4

Запустить программу (щелкнув мышью на цифре 1 кнопки (I/O) и **записать** показания приборов в правый столбец табл. 3.1.

Задание 3. **Снять и построить** внешнюю характеристику $U_1(I_1)$ источника напряжения E_1 , то есть $U_1 = E_1 - R_{BT1}I_1$

С этой целью необходимо ступенчато изменять (посредством нажатия на клавишу А клавиатуры) сопротивление потенциометра (нагрузки) R от режима холостого хода (XX) до режима короткого замыкания (КЗ), а показания приборов заносить в табл. 3.1. По результатам измерений построить (в масштабе) внешнюю характеристику $U_1(I_1)$ источника E_1 .

Задание 4. **Рассчитать и построить** график зависимости мощности P от сопротивления R , то есть $P(R)$. Отметить на графике координаты максимальной мощности и сравнить значение отмеченной абсциссы с внутренними сопротивлениями R_{BT1} и R_{BT2} .

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 $P(R)$.
6. Выводы по работе.

Лабораторная работа №3

Измерение угла сдвига фаз

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

Выполнив работу, Вы будете:

уметь:

- применять основные определения и законы теории электрических цепей;
- различать непрерывные и дискретные сигналы и их параметры;

Материальное обеспечение: ПК с NI Multisim

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 (рис. 1.3а) 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. 1.3а). Угол φ берется со знаком «плюс», если ток отстает по фазе от напряжения (см. рис. 1.3я), и со знаком «минус», если ток опережает по фазе напряжение.

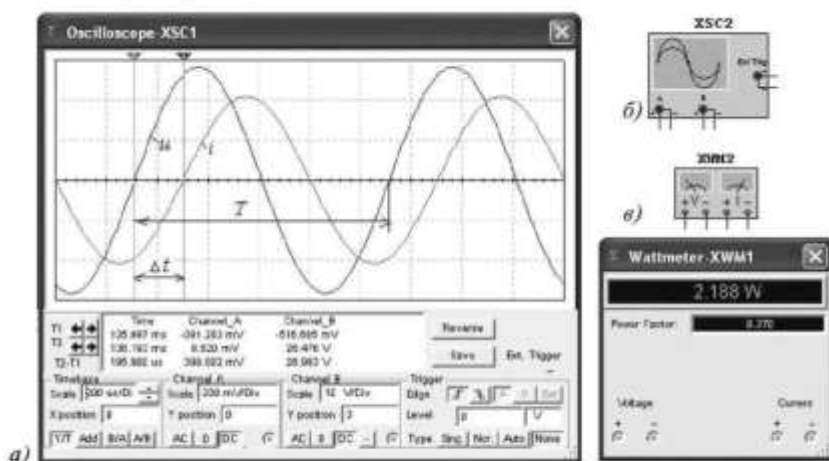


Рис. 1.3

Установка чувствительности каналов **A (Channel A)** и **B (Channel B)** и развертки осциллограмм во времени (**Time base**) производится в окне, выводимом ниже поля осциллограмм (см. рис. 1.3 а).

При моделировании схем цепей на рабочем поле программы Multisim и их анализе для измерения угла сдвига фаз в цепях переменного тока наряду с осциллографом будем использовать также виртуальный ваттметр XWM1 (рис. 1.3в), размещенный в библиотеке **Instruments**. Ваттметр непосредственно измеряет активную мощность P цепи (ветви) в ваттах и коэффициент мощности $\cos\varphi$ (**Power Factor**).

Задания и указания к их выполнению

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

2 подгруппа вариант = № ПК·2.

Задание 1. Измерить индуктивность катушки и емкость конденсатора косвенным методом по результатам прямых измерений напряжения, тока и мощности RL - или RC -ветви и косвенного измерения угла сдвига фаз φ_k .

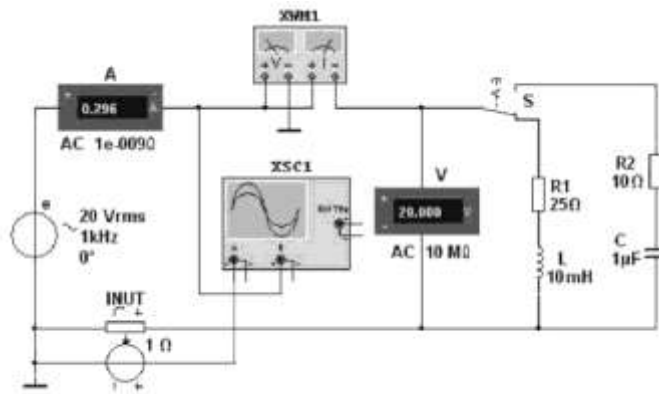


Рис. 1.5

С этой целью **собрать** на рабочем поле программы схему цепи (см. рис. 1.5) и **установить**:

– параметры идеального источника синусоидального напряжения $e = E_m \sin(\omega t + \psi_n) = \sqrt{2} E \sin(2\pi f t + \psi_n)$: действующее значение ЭДС $E = 5 + N$, В; частоту $f = 1$ кГц при измерении индуктивности L катушки и частоту $f = 10$ кГц при измерении емкости C конденсатора; начальную фазу напряжения $\psi_n = 0$;

– режим работы АС (переменный ток) амперметра A ($R_A = 1$ нОм) и вольтметра V ($R_V = 10$ МОм);

– значение сопротивления $R_1 = 25$ Ом резистора R_1 (имитирующего активное сопротивление катушки) и сопротивления $R_2 = 10$ Ом резистора R_2 ;

– значение индуктивности катушки $L = 5 + \text{int}(N/5)$, мГн, и емкости конденсатора $C = 1 + \text{int}(N/10)$, мкФ, где $\text{int}(a/b)$ — целая часть операции a/b

– красный цвет провода, соединенного с каналом **A**, и синий цвет провода, соединенного с каналом **B**, двухканального осциллографа XSC1;

– **задать** параметры осциллографа XSC1. При этом на вход канала **A** подано напряжение с источника **IN** УТ, пропорциональное входному току i , а на вход канала **B** подано напряжение u с зажимов источника напряжения **e**. Цветовая окраска осциллограмм (см. рис. 1.3a) соответствует установленным цветам проводов, соединенных с соответствующими входами каналов прибора XSC1;

– чувствительность 200 мВ/дел (mV/div) канала **A** осциллографа и 5 или 10 В/дел (V/div) канала **B**; длительность развертки (**TIME BASE**) в режиме **Y/T** — 0,2 мс/дел (2 ms/div). При измерениях указанные цены делений рекомендуется изменять таким образом, чтобы амплитуды напряжений были бы равны не менее 0,5— 0,75 высоты экрана осциллографа (в режиме **Espan**), а по оси времени укладывалось два-три периода колебания напряжений;

– управляющую переключателем клавишу **S** клавиатуры;

– значение коэффициента передачи **INUT** $k = 1$ Ом;

– управляемый контакт переключателя **S** в нижнее положение, то есть подключить R_1L -ветвь к источнику **e**.

Запустить программу Multisim (щелкнуть мышью на кнопке **I/O** меню среды), снять показания приборов и занести их в табл. 1.2. Методика определения угла сдвига фаз ϕ между напряжением и током описана в «Кратких теоретических сведениях» (см. выше). Убедиться (см. рис. 1.3a), что ток i_1 в R_1L -ветви *отстаёт* 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. 1.5), записать показания ваттметра, зарисовать осциллограммы с экрана осциллографа (см. рис. 1.3).

Установить частоту ЭДС $f = 10$ кГц источника $e(t)$ и с помощью переключателя **S** подключить R_2C -ветвь к источнику **e**. Показания приборов занести в табл. 1.2. Убедиться (анализируя расположение осциллограмм на экране осциллографа), что ток i_2 в R_2C -ветви *опережает* по фазе напряжение u на угол $\phi_2 = \arctg(-X_C/R_2) = -\arccos(P_2/UI_2)$, где P_2 —

показание ваттметра. В тетрадь записать показания ваттметра, зарисовать осциллограммы на экране осциллографа.

Рассчитать полное $Z = U/I$, активное $R = Z \cos \varphi$ и реактивное $X = Z \sin \varphi$ сопротивления R_1L - и R_2C -ветвей и занести их в табл. 1.2.

Таблица 1.2

Ветвь	Установлено		Измерено				Вычислено				
	$E, В$	$f, кГц$	$U, В$	$I, мА$	$P, Вт$	$\varphi, град$	$Z, Ом$	$R, Ом$	$X, Ом$	$L, мГн$	$C, мкФ$
R_1L		1									—
R_2C		10								—	

Так как индуктивное сопротивление катушки $X_L = \omega L = 2\pi fL$, сопротивление конденсатора $X_C = 1/\omega C = 1/(2\pi fC)$, 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;
- емкость конденсатора, включенного в R_2C – ветвь: $C = 1/\omega X_C = 1/(2\pi f X_C)$, Ф, или $C = 10^6 / 2\pi f X_C$, мкФ.

Вычисленные значения индуктивности L катушки и емкости C конденсатора **занести** в табл. 1.2. **Сравнить** полученные значения R , L и C с установленными их значениями в схеме цепи.

Содержание отчета

1. Наименование и цель работы.
2. Перечень приборов, использованных в экспериментах, с их краткими характеристиками (тип прибора, назначение, род тока, измеряемые величины, пределы измерения или выходные параметры).
3. Электрические схемы измерения сопротивлений резисторов, индуктивности катушки и емкости конденсатора, и копии рисунков осциллограмм напряжения и тока.
4. Таблицы результатов измерений и расчетов.
5. Расчетные формулы.
6. Выводы по работе.

Лабораторная работа №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:

- применять основные определения и законы теории электрических цепей;
- различать непрерывные и дискретные сигналы и их параметры;

Материальное обеспечение: ПК с NI Multisim

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. 6.1). Угол Π (в рад или град) — алгебраическая величина, изменяющаяся в диапазоне от -90° (—

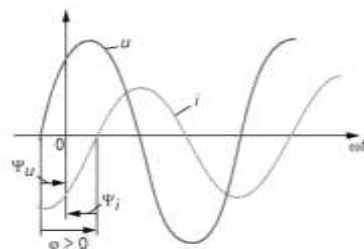


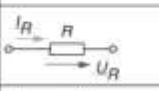
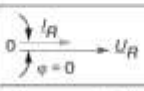
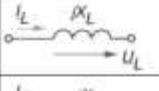
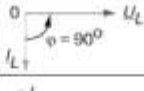
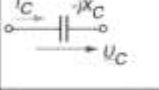
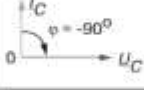
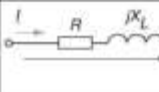
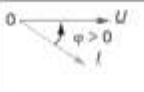
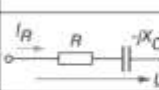
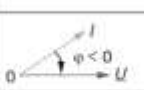
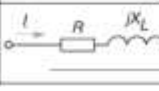
Рис. 6.1

$\pi/2$ 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.

В табл. 6.1 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.

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 $\Pi = \arctg(X_L - X_C)/R$.

Таблица 6.1

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	$\varphi = \arctg[(X_L - X_C)/R]$

Значения углов Π ветвей схемы цепи определяют косвенным методом, измеряя временные интервалы на осциллограммах, то есть $|\Pi| = 360^\circ \otimes t/T$,

где $\otimes t$ — временной интервал (рис. 6.2) 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. 6.2), и со знаком «минус», если ток *опережает по фазе* напряжение.

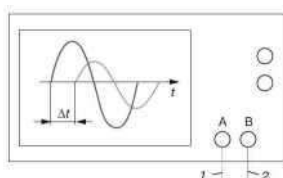


Рис. 6.2

При измерении интервала времени $\otimes t$ целесообразно использовать визирные линии (*визирь*), расположенные слева и справа экрана осциллографа (см. рис. 6.4), на вход канала А которого будем подавать напряжение u_{R0} , пропорциональное току ветви (цвет провода 1 — красный), а на вход канала В — напряжение u ветви (цвет провода 2 — синий).

В библиотеке инструментов среды Multisim имеется виртуальный ваттметр XWM (см. рис. 6.3 и 6.4), который измеряет как активную мощность $P = UI \cos \Pi$, потребляемую приемником, так и коэффициент мощности (**Power Factor**) $\cos \Pi = P/UI$, где U и I — напряжение и ток потребителя энергии. Тогда модуль угла сдвига фаз между напряжением и током $\Pi = \arccos(P/UI)$. Знак угла Π определяют косвенным методом, например подключая параллельно нагрузке конденсатор: если при этом коэффициент мощности $\cos \Pi$ увеличился (угол Π уменьшился), то угол Π имеет знак «+», и наоборот.

Задания и указания к их выполнению

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

2 подгруппа вариант = № ПК·2.

Задание 1. Рассчитать индуктивное сопротивление X_L катушки и емкостное сопротивление X_C конденсатора при частотах, указанных в табл. 6.2, и **занести** полученные значения сопротивлений в табл. 6.2.

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

Таблица 6.2

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 Собрать схему цепи на рабочем поле среды (рис. 6.3), установить:

—красный цвет провода, подходящего к каналу А осциллографа, и синий для провода, подходящего к каналу В осциллографа;

—параметры пассивных элементов:

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

$L_2 = L_4 = L_6 = 100 - 2,5N$, мГн; $C_3 = C_5 = C_6 = 100 + 10N$, мкФ;

—параметры идеального источника синусоидального напряжения e_1 : ЭДС $E = 10$ В (действующее значение), $f = 50$ Гц; $\varphi_u = 0$;

—режим работы АС амперметра V1 и вольтметра A1; сопротивление амперметра 1 нОм; сопротивление вольтметра 10 МОм;

—чувствительность 2 мВ/дел (mV/div) канала А осциллографа, в котором регистрируется напряжение, снимаемое с резистора R_0 ; чувствительность 5 В/дел (5 V/div) канала В, в котором регистрируется напряжение ветви; длительность развертки (TIME BASE) в режиме Y/T - 2 мс/дел (2 ms/div);

—управляющие клавиши А, В, С, D, Е и F клавиши А, В, С, D, Е и F клавиатуры.

Скопировать схему (рис. 6.3) в отчет.

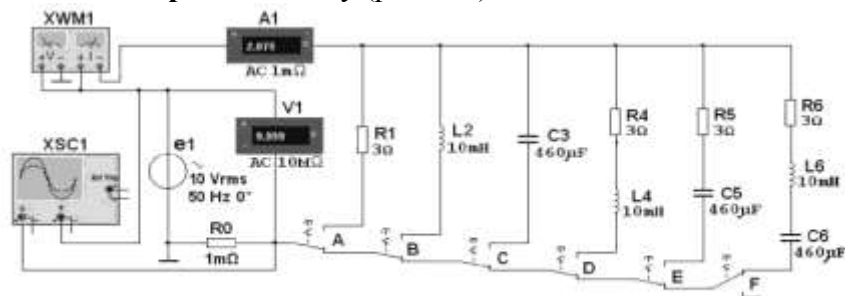


Рис. 6.3

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

С этой целью:

—**подключить** резистор R_x (нажать клавишу **A** клавиатуры) к источнику синусоидального напряжения **e1**, **запустить** программу моделирования схемы (щелкнуть мышью на цифре 1 кнопки I/O) и убедиться (анализируя осциллограммы на экране осциллографа), что угол сдвига

фаз между напряжением и током $\Pi = 0$. Ток $I_x = U/R_x$;

–**отключить** резистор R_1 (нажать клавишу А клавиатуры) и **подключить** катушку **L2** (нажать клавишу В) к источнику **e1**. Показания вольтметра **V1** и амперметра **A1** при $f = 50$ Гц **занести** в табл. 6.2. Изменяя ступенчато частоту напряжения (30, 40, 50, 60, 80, 100, 120 Гц), **вносить** показания вольтметра и амперметра в табл. 6.2. Рассчитать сопротивление $X_{L2} = U_L/I_L$ и сравнить полученные значения с значениями, найденными при выполнении задания 1. Убедиться (анализируя осциллограммы), что ток i_L отстает по фазе от напряжения u_L на угол $\pi = 90^\circ$. Зарисовать в отчет осциллограммы $u_L(t)$ и $i_L(t)$ при $f = 50$ Гц;

–**повторить** предыдущее задание относительно конденсатора C_3 , предварительно отключив от источника (посредством клавиши В) ветвь с элементом L_2 и подключив с помощью клавиши С к источнику **e1** ветвь с конденсатором C_3 . Показания приборов **вносить** в табл. 6.2. **Рассчитать** сопротивление конденсатора $X_{C3} = U_C/I_C$ (см. табл. 6.2) и **сравнить** полученные значения со значениями, найденными при выполнении задания 1. Убедиться (анализируя осциллограммы), что ток i_C опережает по фазе напряжение u_C на угол $\Pi = 90^\circ$.

Зарисовать на страницу отчета осциллограммы $u_C(t)$ и $i_C(t)$ при $f = 50$ Гц.

Задание 4. Провести измерения токов, напряжений и углов сдвига фаз между ними в ветвях, содержащих соответственно RL -, RC - и RLC -элементы.

С этой целью:

–**установить** частоту $f = 50$ Гц источника напряжения **e1** и **подключить** к нему ветвь **R4L4**, предварительно отключив ветвь с конденсатором C_3 . Показания приборов **занести** в табл. 6.3. Угол Π **определить** косвенным методом, воспользовавшись осциллограммами напряжения и тока ветви, или из показания ваттметра **XWM1**.

Для удобства измерений изменяйте чувствительность каналов и длительность развертки осциллографа.

Рассчитать полное Z_4 , активное R_4 и реактивное X_{L4} сопротивления ветви R_4L_4 и занести в табл. 6.3. Убедиться, что ток i в R_4L_4 -ветви отстает по фазе от напряжения u на угол $\Pi_4 = \arctg(X_{L4}/R_4)$; зарисовать на страницу отчета осциллограммы напряжения и тока **RL**-ветви;

Таблица 6.3

Ветвь	Измерено				Рассчитано		
	$U, В$	$I, А$	$\varphi, \text{град}$		$Z = U/I, \text{Ом}$	$R = Z \cos \varphi, \text{Ом}$	$X = Z \sin \varphi, \text{Ом}$
R_1L_1							
R_2C_2							
$R_3L_3C_3$							

–**повторить** предыдущее задание для цепи R_5C_5 , предварительно отключив от источника **e1** четвертую ветвь. Убедиться, что ток i в R_5C_5 -ветви опережает по фазе напряжение u на угол $\Pi_5 = \arctg(-X_C/R_5)$;

–зарисовать осциллограммы напряжения и тока RC -ветви;

–**повторить** предыдущее задание для $R_6L_6C_6$ -ветви, предварительно отключив от источника **e1** пятую ветвь. Убедиться, что в $R_6L_6C_6$ -ветви угол сдвига фаз Π_6 между напряжением и током зависит от величины реактивного сопротивления $X_6 = X_{L6} - X_{C6}$.

Если при частоте $f = 50$ Гц угол $\Pi_6 = \arctg(X_{L6} - X_{C6})/R_6 > 0$, 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. 6.4 представлены осциллограммы напряжения и тока $R_6L_6C_6$ -ветви показание ваттметра **XWM1** при указанных на рис. 6.3 параметрах элементов схемы. Анализ осциллограмм показывает, что ток i_6 опережает по фазе напряжение u_6 на угол $\Pi = -360^\circ \cdot \omega L_6 / 2\pi \cdot 360 \cdot 2,847/4 \cdot 5H - 51,3^\circ$.

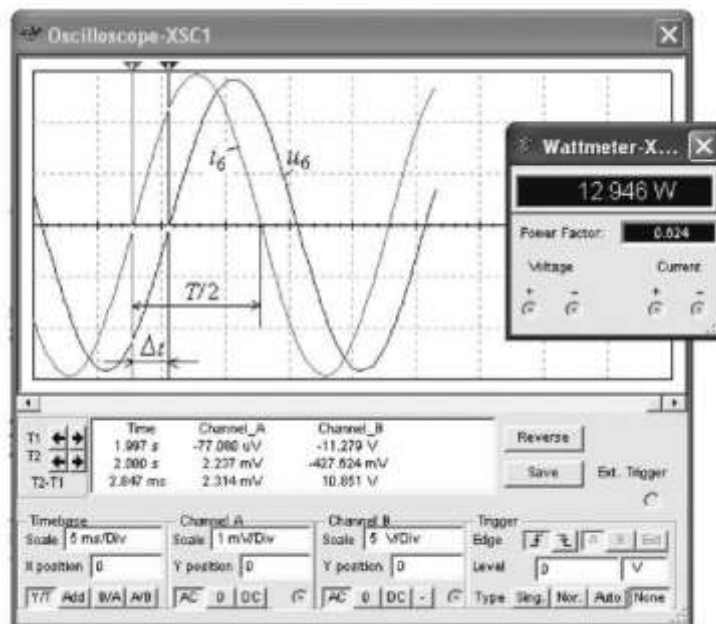


Рис. 6.4

Воспользовавшись показанием ваттметра, находим модуль угла $|\Pi_6| = \arccos(0,624) = 51,4^\circ$.

Содержание отчета

1. Наименование и цель работы.
2. Электрические расчетные схемы и копия схемы цепи, собранной на рабочем поле программной среды MS 10.
3. Расчетные формулы, векторные и временные диаграммы 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.

Лабораторная работа №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:

- применять основные определения и законы теории электрических цепей;
- различать непрерывные и дискретные сигналы и их параметры;

Материальное обеспечение: ПК с NI Multisim

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 индуктируются 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. 11.1а слева) или треугольник (рис. 11. б слева). Фазы трехфазного приемника (нагрузки) также соединяют по схеме звезда или треугольник (рис. 11.1 а и б справа).

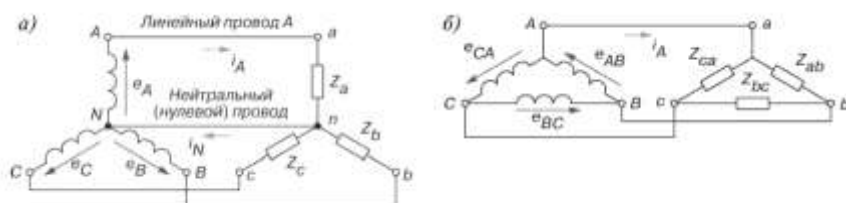


Рис. 11.1

Соединение фаз приемника звездой

На рис. 11.2а 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:

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

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: $U_\phi = U_\Delta / \sqrt{3}$, то есть *фазные напряжения в $\sqrt{3}$ раза меньше линейных*. В осветительных системах линейное напряжение $U_\Delta = 380$ В, а фазное $= U_\Delta / \sqrt{3} = 220$ В (реже $U_\Delta = 220$ В, а $U_\phi = U_\Delta / \sqrt{3} = 127$ 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): $I_\phi = U_\phi / Z_\phi = I_\Delta$, а ток в нейтральном проводе (рис. 11.2б)

$$I_N = I_a + I_b + I_c$$

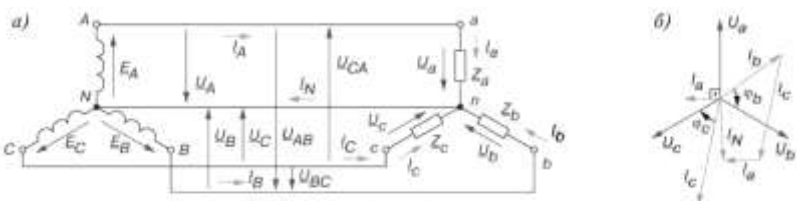


Рис. 11.2

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

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. 11.2а) 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:

$$\underline{Z}_a = R, \quad \underline{Z}_b = jX_L \quad \text{и} \quad \underline{Z}_c = -jX_C.$$

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

Комплексы токов фаз приемника:

$$\underline{I}_a = \underline{U}_a / \underline{Z}_a; \quad \underline{I}_b = \underline{U}_b / \underline{Z}_b; \quad \underline{I}_c = \underline{U}_c / \underline{Z}_c,$$

а их сумма равна нулю, то есть

$$\underline{I}_a + \underline{I}_b + \underline{I}_c = 0.$$

Соединение фаз приемника треугольником

На рис. 11.3а 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:

$$\underline{I}_{ab} = \underline{U}_{ab} / \underline{Z}_{ab}; \quad \underline{I}_{bc} = \underline{U}_{bc} / \underline{Z}_{bc}; \quad \underline{I}_{ca} = \underline{U}_{ca} / \underline{Z}_{ca}.$$

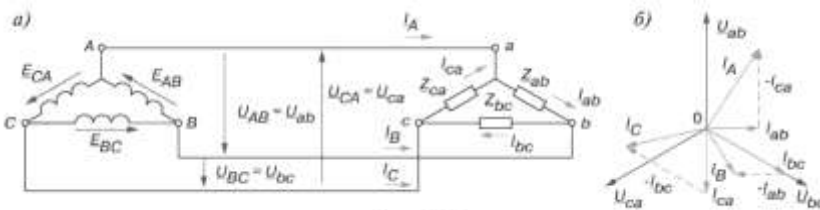


Рис. 11.3

Линейные токи определяют по формулам

$$\underline{I}_A = \underline{I}_{ab} - \underline{I}_{ca}; \quad \underline{I}_B = \underline{I}_{bc} - \underline{I}_{ab}; \quad \underline{I}_C = \underline{I}_{ca} - \underline{I}_{bc},$$

причем сумма комплексов линейных токов

$$\underline{I}_A + \underline{I}_B + \underline{I}_C = 0.$$

Векторная диаграмма напряжений и токов для случая *неравномерной* нагрузки ($\underline{Z}_{ab} = jX_{ab}$, $\underline{Z}_{bc} = R_{bc}$, $\underline{Z}_{ca} = R_{ca} - jX_{ca}$) представлена на рис. 11.3б.

При *равномерной* нагрузке ($\underline{Z}_{ab} = \underline{Z}_{bc} = \underline{Z}_{ca} = \underline{Z}_{\phi}$) фазные токи приемника

$$\underline{I}_{ab} = \underline{I}_{bc} = \underline{I}_{ca} = \underline{I}_{\phi} = \underline{U}_{\phi} / \underline{Z}_{\phi}.$$

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

$$\underline{I}_{ab} + \underline{I}_{bc} + \underline{I}_{ca} = 0 \quad \text{и} \quad \underline{I}_A + \underline{I}_B + \underline{I}_C = 0,$$

а соотношение между ними

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

Задания и указания к их выполнению

Задание 1. Собрать на рабочем поле среды Multisim схему (рис. 11.4) для исследования трехфазной цепи в различных режимах ее работы при соединении источника и приемника по схеме звезда-звезда.

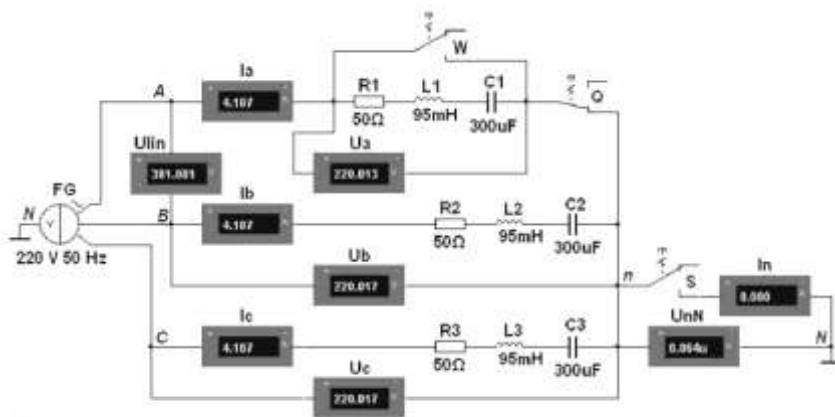


Рис. 11.4

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

– ЭДС фазы $E_{\phi} = 220 \text{ В}$ и частоту $f = 50 \text{ Гц}$ трехфазного источника напряжения **FG** (рис. 11.4);

– режим АС и сопротивление $R_V = 10 \text{ МОм}$ вольтметров:

– **Ulin** (для измерения линейного напряжения генератора);

– **Ua, Ub** и **Uc** (для измерения фазных напряжений приемника);

– **UnN** (для измерения напряжения смещения нейтрали);

– режим АС и сопротивление $R_A = 1 \text{ МОм}$ амперметров:

– **Ia, Ib, Ic** (для измерения фазных токов приемника) и **In** (для измерения тока в нейтральном проводе);

– назначить клавиши **Q, W** и **S** клавиатуры для управления ключами;

– значения сопротивлений фаз приемника (нагрузки):

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

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

После проверки собранной схемы и установки параметров элементов **запустить** программу моделирования MULTISIM трехфазной цепи в различных режимах (положения ключей **Q, W** и **S** и сопротивления фаз указаны в табл. 11.1). Показания измерительных приборов для четырехпроводной и трехпроводной схем при равномерной и неравномерной нагрузках, а также при обрыве и коротком замыкании фазы α занести в табл. 11.1.

По данным эксперимента **построить** векторную диаграмму фазных напряжений и токов (в масштабе) потребителей четырехпроводной цепи при неравномерной нагрузке. Фазные углы Π_a, Π_b, Π_c определить по формуле

$$\Pi_{\phi} = \pm \arctg(X_{\phi}/R_{\phi}).$$

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 11.1

Вид цепи	Нагрузка	Измерено							
		U_{ab} В	U_{bc} В	U_{ca} В	$U_{a\phi}$ В	$I_{a\phi}$ А	$I_{b\phi}$ А	$I_{c\phi}$ А	I_{Σ} А
Четырех-проводная	Равномерная (ключи S и Q замкнуты, W – разомкнут): $Z_{\phi} = R \pm jX$								
	Неравномерная (ключи S и Q замкнуты, W – разомкнут): $Z_{\phi} = R$; $Z_{\phi} = \pm jX$; $Z_{\phi} = R \pm jX$								
Трех-проводная	Равномерная (ключи Q замкнут, S и W – разомкнуты): $Z_{\phi} = R \pm jX$								—
	Неравномерная (ключи Q замкнут, S и W – разомкнуты): $Z_{\phi} = R$; $Z_{\phi} = \pm jX$; $Z_{\phi} = R \pm jX$								—
	Неравномерная (ключи S, Q и W разомкнуты): обрыв фазы a ($Z_{\phi} = \infty (XX)$); $Z_{\phi} = \pm jX$; $Z_{\phi} = R \pm jX$								—
	Неравномерная (ключи W и Q замкнуты, S – разомкнут): $Z_{\phi} = 0$ (КЗ фазы a); $Z_{\phi} = \pm jX$; $Z_{\phi} = R \pm jX$								—

Задание 2. Собрать на рабочем поле среды MS10 схему (рис. 11.5) для исследования трехфазной цепи в различных режимах ее работы при соединении источника и приемника по схеме звезда-треугольник.

Режимы и параметры устройств и элементов указаны в задании 1.

После проверки собранной схемы цепи **запустить** программу MultiSim. Показания измерительных приборов при равномерной и неравномерной нагрузках, в том числе при обрыве фазы *ca* и линейного провода C, **занести** в табл. 11.2. Позиции ключей и сопротивления фаз указаны в табл. 11.2. **Убедиться** в равенстве фазных, а также линейных токов при равномерной нагрузке фаз приемника.

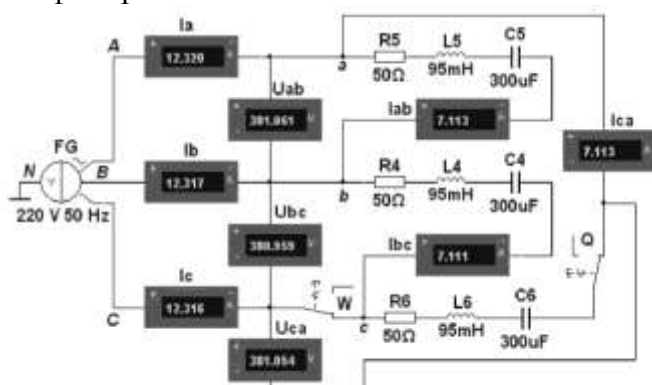


Рис. 11.5

По данным экспериментов **построить** векторные диаграммы фазных напряжений, фазных и линейных токов схемы цепи при неравномерной нагрузке, в том числе при обрывах фазы *ca* и линейного провода C. Фазные углы **определить** по формуле $\text{П}_\phi = \pm \arctg(X_\phi/R_\phi)$. Обратить внимание на изменение линейных токов при обрыве фазы *ca* и фазных токов при обрыве линейного провода C.

Таблица 11.2

Вид цепи	Нагрузка	Измерено									
		U_{ab} В	U_{bc} В	U_{ca} В	$I_{A\phi}$ В	$I_{B\phi}$ В	$I_{C\phi}$ А	$I_{A\phi}$ А	$I_{B\phi}$ А	$I_{C\phi}$ А	
Трехпроводная: звезда-треугольник	Равномерная (ключи Q и W замкнуты): $Z_{\phi} = R \pm jX$										
	Неравномерная (ключи Q и W замкнуты): $Z_{\phi a} = R \pm jX$; $Z_{\phi b} = \pm jX$; $Z_{\phi c} = R$										
	Неравномерная (ключ Q разомкнут, W – замкнут): $Z_{\phi a} = R \pm jX$; $Z_{\phi b} = \pm jX$; $Z_{\phi c} = \infty$ (XX)										
	Неравномерная (ключ Q замкнут, W – разомкнут): $Z_{\phi a} = R \pm jX$; $Z_{\phi b} = \pm jX$; $Z_{\phi c} = R$; обрыв провода C										

Сравнить значения модулей построенных векторов линейных токов I_A , I_B и I_C с их экспериментальными значениями.

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 выпрямительного диода

Выполнив работу, Вы будете:

уметь:

- различать полупроводниковые диоды, биполярные и полевые транзисторы, тиристоры на схемах и в изделиях.

Материальное обеспечение: стенды «Основы электроники».

Теоретические сведения

Диод – двухэлектродный полупроводниковый прибор с одним р–п-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.

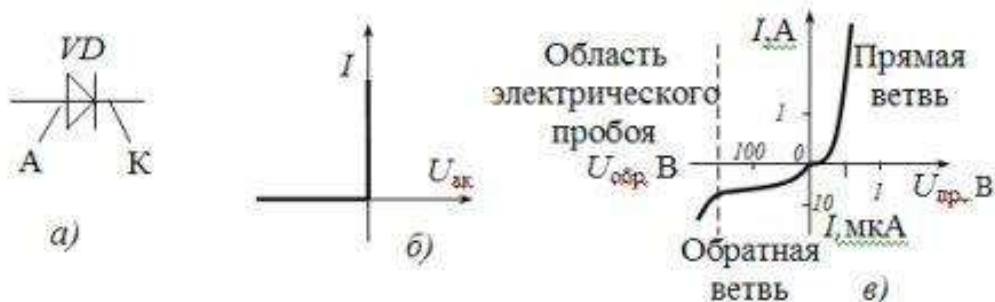


Рис.1. УГО диода (а), идеальная ВАХ диода (б), реальная ВАХ диода(в)

Порядок выполнения работы

- 1) Собрать схему для исследования выпрямительного диода на постоянном токе в соответствии с принципиальной схемой (рис. 17а). 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 .

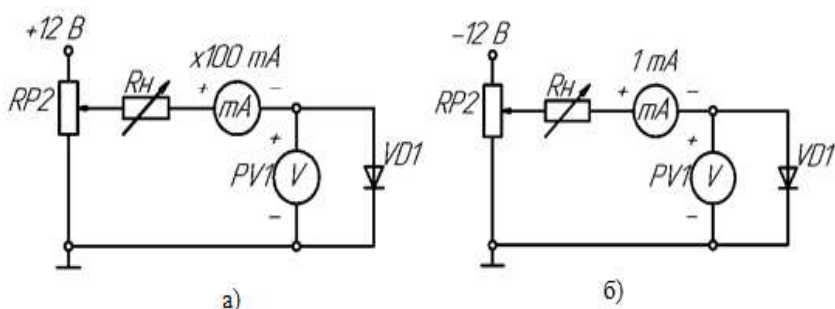


Рисунок 17 – Схема исследования диода

2) Снять вольт-амперную характеристику (ВАХ) выпрямительного диода на постоянном токе для прямой ветви; для снятия характеристик регулировать напряжение на выходе потенциометра; результаты измерений занести в таблицу 26, 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. 17б); снять обратную ветвь ВАХ диода; результаты измерений занести в таблицу 27, по которой построить график обратной ветви ВАХ.

Таблица 26 - Результаты измерений прямой ветви ВАХ

$I_{пр},$ мА	0	1	2	3	4	5	6	7	8
	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$U_{пр},$ В									

Таблица 27 - Результаты измерений обратной ветви ВАХ

$I_{обр},$ мА	0	0,1	0,2	0,3
$U_{обр},$ В				

Форма представления результата:

Отчет по работе должен содержать:

- наименование работы и цель работы;
- схему эксперимента с включенными измерительными приборами;
- таблицы с результатами эксперимента;
- ВАХ;
- выводы по работе.

Лабораторное занятие № 7 Исследование оптрона

Цель работы: исследование характеристик оптрона.

Выполнив работу, Вы будете:

уметь:

- различать полупроводниковые диоды, биполярные и полевые транзисторы, тиристоры на схемах и в изделиях

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, фототиристоров, 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 фотоприемника 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.1.

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.

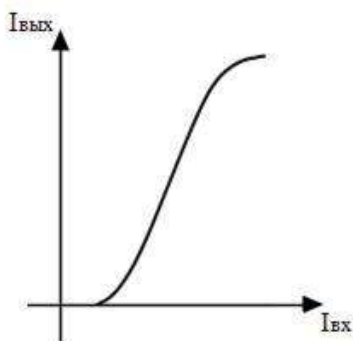


Рис. 1. Передаточная характеристика оптрона.

Порядок выполнения работы

Собрать схему для снятия передаточной характеристики транзисторного оптрона на постоянном токе (рис.18), установить $RP3=150$, $RP2=3$, регулировку производить $RP1$.

Снять по точкам передаточную характеристику транзисторного оптрона на постоянном токе. Для этого потенциометром RP_1 изменять напряжение на входе, фиксируя входной и выходной токи. Определить максимальный входной ток, при котором сохраняется линейность характеристики, определить коэффициент передачи по току.

Показания занести в таблицу 28 и построить график передаточной характеристики оптрона.

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

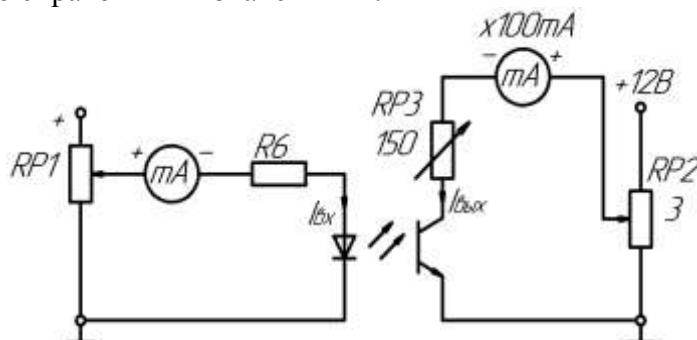


Рисунок 18 – Схема для исследования оптрона

Таблица 28 - Результаты измерений

$I_{ВХ}, \text{мА}$	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7
$I_{ВЫХ}, \text{мА}$								

Форма представления результата:

Отчет по работе должен содержать:

- наименование работы и цель работы;
- схему эксперимента с включенными измерительными приборами;
- таблицы с результатами эксперимента;
- график передаточной функции;
- выводы по работе.

Лабораторное занятие № 8

Исследование однофазной мостовой схемы выпрямления

Цель работы: исследование характеристик, параметров и режимов работы мостового выпрямителя

Выполнив работу, Вы будете:

уметь:

- различать полупроводниковые диоды, биполярные и полевые транзисторы, тиристоры на схемах и в изделиях;
- определять назначение и свойства основных функциональных узлов аналоговой электроники: усилителей, генераторов в схемах;

Материальное обеспечение: стенды «Основы электроники».

Теоретические сведения

Мостовой выпрямитель позволяет получить двухполупериодное выпрямление. На рисунке 1 представлены графики зависимостей для токов и напряжений цепей:

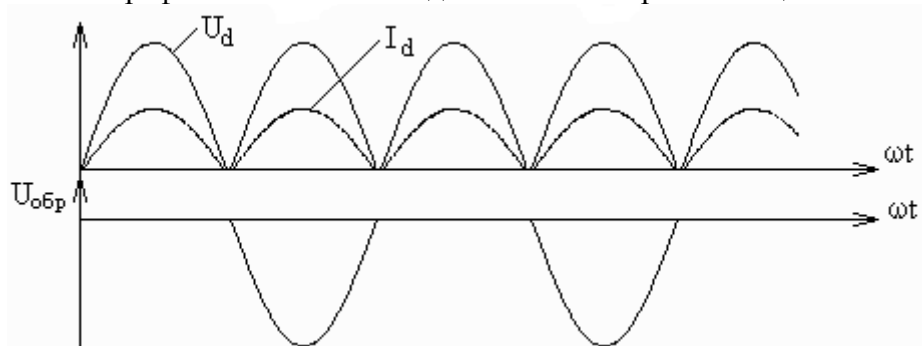


Рис. 1

Достоинства однофазного мостового выпрямителя:

- высокое значение коэффициента выпрямления K_0 , малый уровень пульсации напряжения (низкое значение K_n) по сравнению с однополупериодной схемой выпрямителя.
- по сравнению со схемой «со средней точкой трансформатора» (двухполупериодной, однофазной) в схеме обеспечивается лучшее использование трансформатора и уровень обратного напряжения имеет меньшее значение.

Недостатки: коммутация двух вентилях в каждый момент времени приводит к увеличению потерь в звене выпрямителя, что нежелательно при больших токах. Наличие двух групп в схеме не позволяет размещать их на одном радиаторе без изоляции.

Порядок выполнения работы

- Собрать схему выпрямителя по рис. 19. Установить заданное значение сопротивления нагрузки R_n . Вольтметр PV1 включить в режиме измерения **переменного** напряжения, а PV2 в

режиме измерения **постоянного** напряжения. Включить миллиамперметр постоянного тока на 100 мА. Подключить входы осциллографа. Переключатель развертки осциллографа перевести на временную развертку. Установить синхронизацию от сети. На экране осциллографа наблюдать осциллограммы выпрямленного тока и выпрямленного напряжения;

2) Снять осциллограмму выпрямленного напряжения U_d и выпрямленного тока I_d ; снять осциллограмму напряжения на диоде U_a , переключив корпус осциллографа на общую точку стенда; (не забудьте определить масштабы по току и напряжению);

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

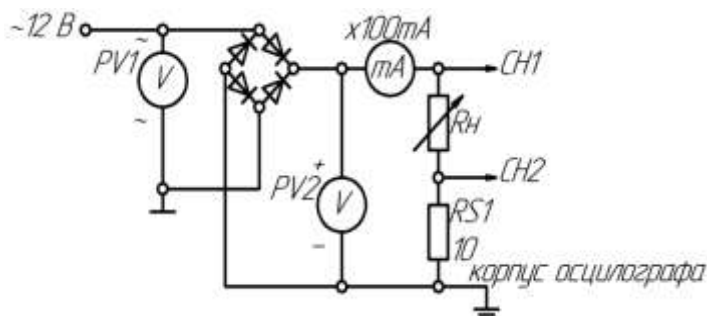


Рисунок 19 – Схема выпрямителя

4) Включить дроссель L_n последовательно с нагрузкой R_H ; снять осциллограммы выпрямленного напряжения U_d и выпрямленного тока I_d ; снять осциллограмму напряжения на диоде U_a .

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

6) Изменяя сопротивление нагрузки R_H , снять внешнюю характеристику

7) Отсоединить L_n и включить конденсатор C_2 параллельно сопротивлению нагрузки R_H ; снять осциллограммы выпрямленного напряжения U_d и выпрямленного тока I_d ; снять осциллограмму напряжения на диоде U_a .

8) Измерить напряжения с помощью мультиметров и определить связь между переменным напряжением питания и постоянным напряжением на нагрузке;

9) Изменяя сопротивление нагрузки, снять внешнюю характеристику $U_d = f(i_d)$.

Таблица 29 - Результаты измерений

АН	i_d , мА	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1
	U_d , В					
АИН	i_d , мА	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1
	U_d , В					
АЕН	i_d , мА	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1
	U_d , В					

Форма представления результата:

Отчет по работе должен содержать:

- наименование работы и цель работы;
- схему эксперимента с включенными измерительными приборами;
- таблицы с результатами эксперимента;
- полученные графики (осциллограммы);
- выводы по работе.

Тема 2.3 Полупроводниковые транзисторы

Лабораторное занятие №9

Исследование биполярного транзистора

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

Выполнив работу, Вы будете:

уметь:

- различать полупроводниковые диоды, биполярные и полевые транзисторы, тиристоры на схемах и в изделиях.

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. 1) 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.

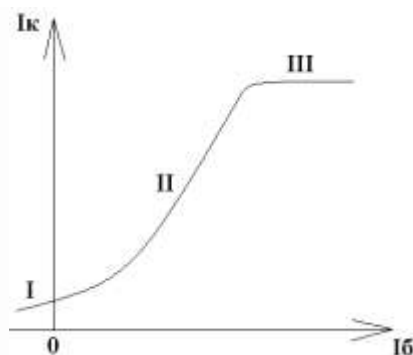


Рисунок 1. Передаточная характеристика транзистора, при включении его по схеме с ОЭ

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.

Порядок выполнения работы

Собрать схему для снятия характеристик прямой передачи по току биполярного транзистора (рис.20). 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.

Снять статическую характеристику прямой передачи по току $I_k=f(I_b)$. Экспериментальные точки записывать в таблицу 30, 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;

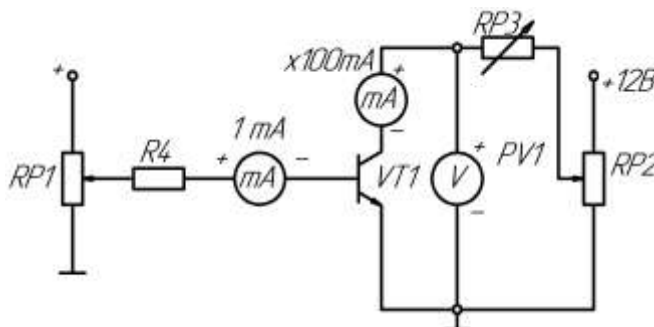


Рисунок 20 – Схема для исследования биполярного транзистора

По построенной характеристике определить области активного усиления, отсечки и насыщения. Определить максимальный ток I_{bmax} при котором еще обеспечивается линейное усиление;

Определить коэффициент передачи по току биполярного транзистора, используя график.

Таблица 30 - Результаты измерений

$I_{b,мА}$	0	0,05	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
$I_k, мА$												

Форма представления результата:

Отчет по работе должен содержать:

- наименование работы и цель работы;
- схему эксперимента с включенными измерительными приборами;
- таблицы с результатами эксперимента;
- графики;
- выводы по работе.

Лабораторное занятие №10

Исследование усилительного каскада на биполярном транзисторе

Цель работы: исследование характеристик, параметров и режимов работы усилительного каскада на биполярном транзисторе, включенном по схеме с общим эмиттером

Выполнив работу, Вы будете:

уметь:

- различать полупроводниковые диоды, биполярные и полевые транзисторы, тиристоры на схемах и в изделиях;
- определять назначение и свойства основных функциональных узлов аналоговой электроники: усилителей, генераторов в схемах;

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.1):

Режим А (рис. 1, 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) одноконтурных выходных каскадах.

Режим В (рис. 1, 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. 1, в) угол отсечки от 180 до 360° . КПД по сравнению с режимом В выше, а нелинейные искажения меньше.

В **режиме С** (рис. 1, г) угол отсечки меньше 180° , появляются большие нелинейные искажения. Усилитель применяется в умножителях частоты.

В **режиме D** (рис. 1, д) усилитель преобразует гармонический сигнал в импульсный. Т.к. рабочая точка выбирается в самом начале динамической вольт–амперной характеристики (рис. 1, 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 скважности.

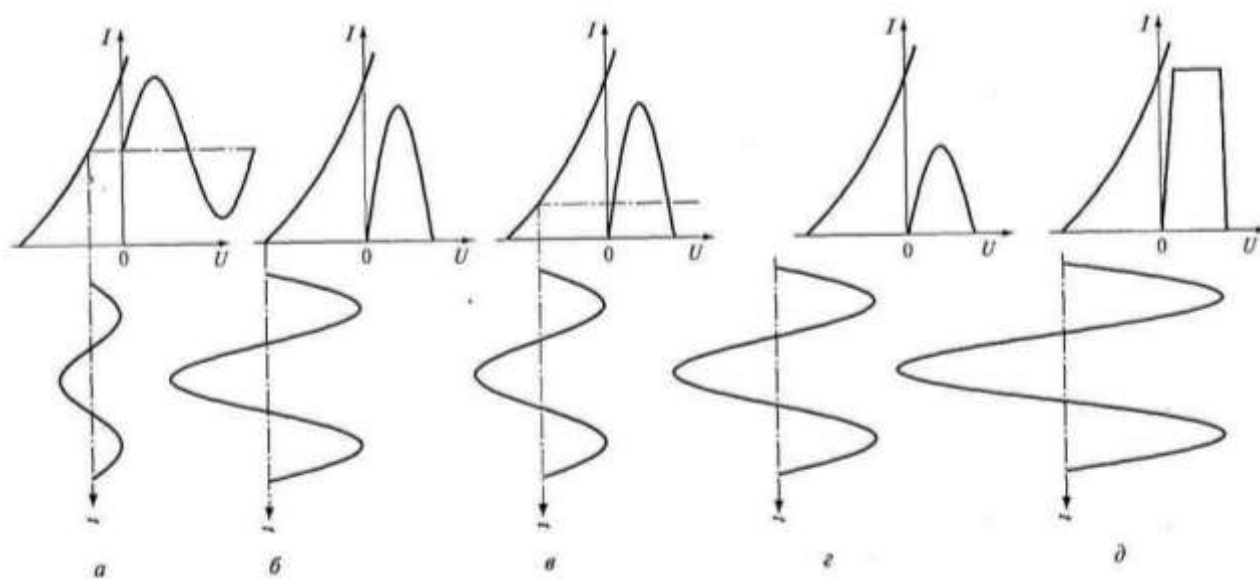


Рис. 1 Входные и выходные сигналы усилителя (а – режим А, б – режим В, в – режим АВ, г – режим С, д – режим D)

Порядок выполнения работы

1) Собрать схему для исследования усилительного каскада в соответствии с рис. 21. 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 закорочен». 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 $RP2$);

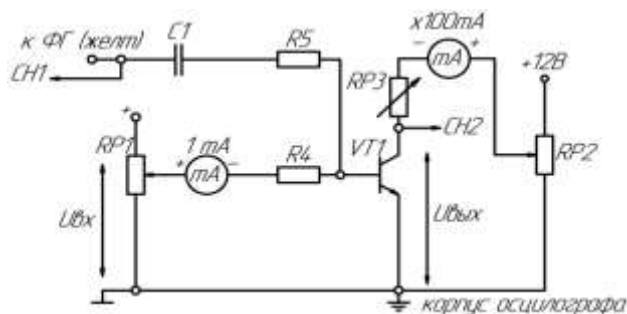


Рисунок 21 - Схема для исследования усилительного каскада

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 $I_b = 0$, 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_b 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_b , 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 $I_b = 0$ 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.

Форма представления результата:

Отчет по работе должен содержать:

- наименование работы и цель работы;
- схему эксперимента с включенными измерительными приборами;
- таблицы с результатами эксперимента;
- полученные осциллограммы;
- выводы по работе.

Тема 2.4 Основы микроэлектроники

Лабораторное занятие №11

Исследование логических элементов

Цель работы: исследование логических элементов (И-НЕ, И, ИЛИ-НЕ, НЕ), а также триггеров на их основе.

Выполнив работу, Вы будете:

уметь:

- различать полупроводниковые диоды, биполярные и полевые транзисторы, тиристоры на схемах и в изделиях.

Материальное обеспечение: стенды «Основы электроники».

Теоретические сведения

Логические элементы – это электронные устройства, выполняющие различные логические операции над дискретными (двоичными) сигналами. Логические элементы могут выполнять как простейшие операции (инверсия, логическое умножение и сложение), так и более сложные, скомбинированные, например, И-НЕ, И-ИЛИ-НЕ и другие.

Существует несколько основных логических элементов (см. рис.):

- ИЛИ – логическое сложение (дизъюнкция) – OR;
- И – логическое умножение (конъюнкция) – AND;
- НЕ – логическое отрицание (инверсия) – NOT.

Элементы И, И-НЕ, ИЛИ, ИЛИ-НЕ имеют 2 и более входов и один выход.

Элемент, выполняющий функцию инверсии «НЕ» имеет один вход и один выход. Он меняет уровень сигнала на противоположный. Низкий потенциал на входе даёт высокий потенциал на выходе и наоборот.

Все эти элементы в интегральных микросхемах могут объединяться в различных сочетаниях.

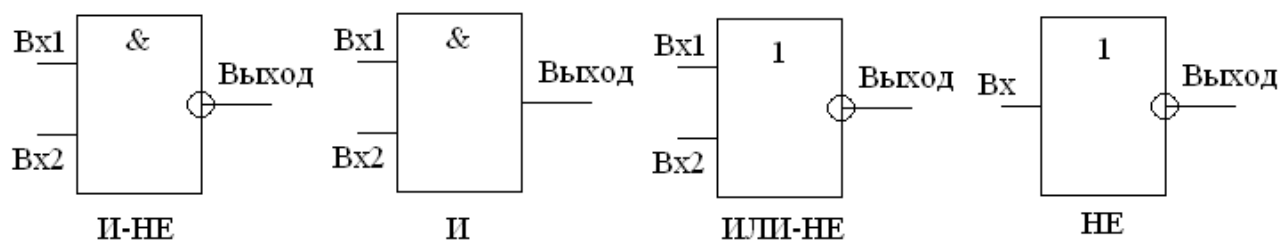


Рис. 1 УГО логических элементов

Таблица истинности логического элемента показывает взаимосвязь входных и выходных сигналов логического элемента.

Порядок выполнения работы

Составить таблицу истинности логического элемента «И-НЕ». Для этого собрать схему (рис. 22), подключив выходы гнезд «Уровень логический» к соответствующим входам логического элемента «И-НЕ». Включить тумблер «Питание». Задавая различные комбинации входных логических сигналов (X_1 , X_2) тумблерами SA_1 и SA_2 , фиксировать по светодиоду выходной сигнал Y логического элемента. Составить таблицу истинности исследуемого элемента. Результаты занести в табл. 31. Выключить тумблер «Питание»;

Аналогично выполнить для логических элементов «И», «ИЛИ-НЕ» «НЕ». Сделать выводы о полученных результатах.

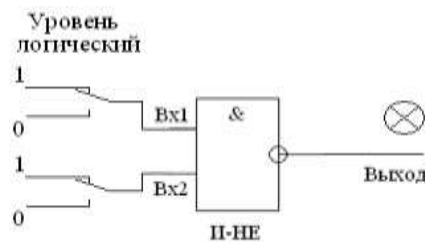


Рисунок 22 – Схема для исследования логического элемента И-НЕ

Таблица 31 - Таблица истинности логических элементов

Вход X_1	Вход X_2	Логический элемент			
		И-НЕ	И	ИЛИ-НЕ	НЕ
0	0				
0	1				-
1	0				
1	1				-

Форма представления результата:

Отчет по работе должен содержать:

- наименование работы и цель работы;
- схему эксперимента;
- таблицы истинности;
- выводы по работе.

Тема 2.5 Тиристоры

Лабораторное занятие №12

Исследование тиристора

Цель работы: исследование тиристора и способов его выключения.

Выполнив работу, Вы будете:

уметь:

- различать полупроводниковые диоды, биполярные и полевые транзисторы, тиристоры на схемах и в изделиях.

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).

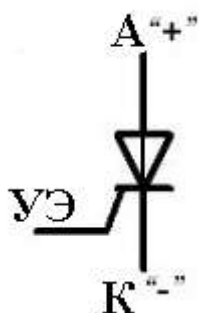
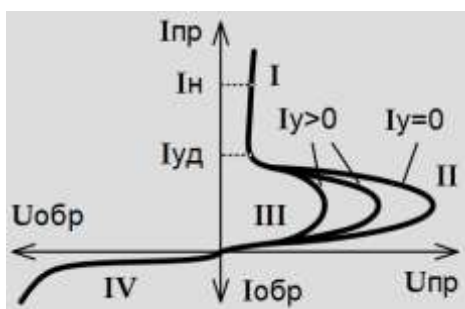


Рис. 1



На рис. 1 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.

Порядок выполнения работы

Собрать схему для исследования тиристора на постоянном токе в соответствии с рис. 23. Регулятор R_H перевести в положение «0», соответствующее минимальному значению сопротивления.

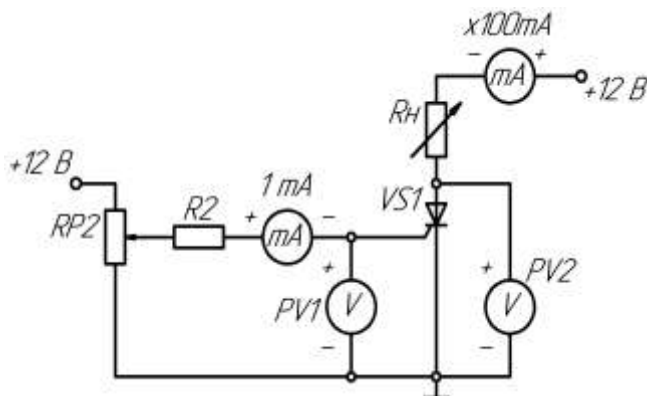


Рисунок 23 - Схема для исследования тиристора

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 ;

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.

Снять показания тока управления I_{yo} и отпирающего постоянного напряжения управления U_{yo} до момента открывания тиристора; занести показания в таблицу 32 и построить график входной характеристики тиристора $U_y = f(I_y)$.

Таблица 32 - Результаты измерений

I_y, mA	0	0,2	0,4	0,6	0,8	1	1,2
U_y, B							

Форма представления результата:

Отчет по работе должен содержать:

а) наименование работы и цель работы;

- б) схему эксперимента с включенными измерительными приборами;
- в) таблицы с результатами эксперимента;
- г) график;
- д) выводы по работе.

Тема 2.6 Электронные усилители

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 полупроводниковые диоды, биполярные и полевые транзисторы, тиристоры на схемах и в изделиях;
- определять назначение и свойства основных функциональных узлов аналоговой электроники: усилителей, генераторов в схемах;

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 ($U_{вх1}$ – гармонический сигнал, $U_{вх2}$ – постоянное напряжение) и выходного напряжения компаратора представлена на рисунке 1:

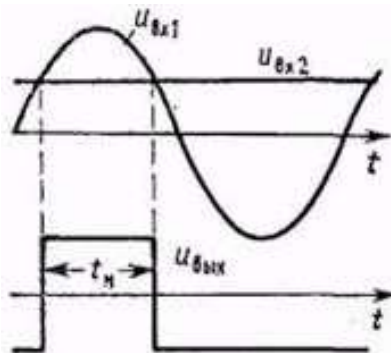
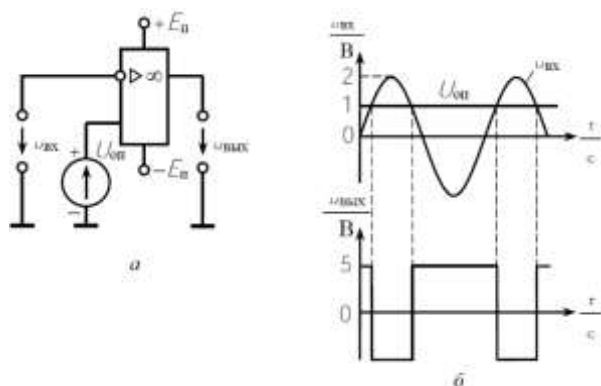


Рис.1 Форма входных и выходных сигналов компаратора

Пример расчета компаратора на ОУ

В схеме компаратора на ОУ (рис. 2,а) входной сигнал инвертирующего входа изменяется по синусоидальному закону с амплитудой $U_{вх} m = 2$ В. Опорное напряжение, подаваемое на

неинвертирующий вход, $U_{оп} = 1$ В; ЭДС источника питания ОУ $E_{п} = 5$ В. Построить зависимость $u_{вых}(t)$, считая ОУ идеальным.



Решение: Выходное напряжение ОУ без отрицательной обратной связи зависит от соотношения напряжений на его входах и достигает уровня насыщения ($U_{вых} = \pm E_{п}$) даже при незначительной разности $u_{вх} - U_{оп}$. В идеальном ОУ $K_U = \infty$ и $|u_{вх} - U_{оп}| = 0$.

Если соотношение входных напряжений $u_{вх} > U_{оп}$, то $u_{вых} = -E_{п} = -5$ В; если же $u_{вх} < U_{оп}$, то $u_{вых} = +5$ В. Данная схема осуществляет сравнение напряжений $u_{вх}$ и $U_{оп}$.

Диаграммы напряжений приведены на рис. 2, б.

Рис.2 Схема компаратора и его временные диаграммы

Порядок выполнения работы

1) Собрать схему двухвходового компаратора с положительной обратной связью согласно рис. 24. 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 "sin";

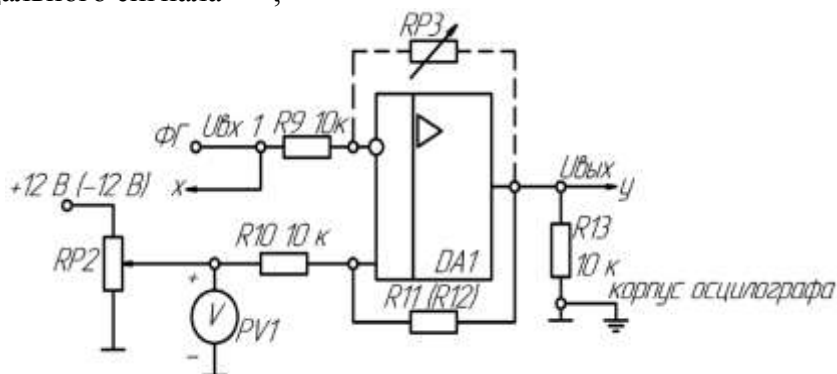


Рисунок 24 - Схема двухвходового компаратора

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 $U_{вых}$.

Форма представления результата:

Отчет по работе должен содержать:

- наименование работы и цель работы;
- схему эксперимента с включенными измерительными приборами;
- полученные осциллограммы;
- выводы по работе.

Лабораторное занятие №14

Исследование инвертирующего и неинвертирующего усилителя на основе ОУ

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

Выполнив работу, Вы будете:

уметь:

- различать полупроводниковые диоды, биполярные и полевые транзисторы, тиристоры на схемах и в изделиях;
- определять назначение и свойства основных функциональных узлов аналоговой электроники: усилителей, генераторов в схемах;

Материальное обеспечение: стенды «Основы электроники».

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 $U_{\text{вых}}=F(U_{\text{вх}})$.

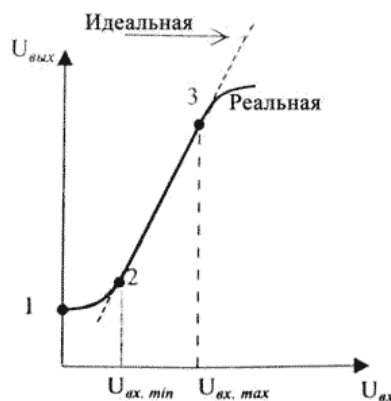


Рис.1 Амплитудная характеристика усилителя

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.

Порядок выполнения работы

- 1) Собрать схему согласно рис.25; установить заданное значение $R_{P3}=20\text{K}$;

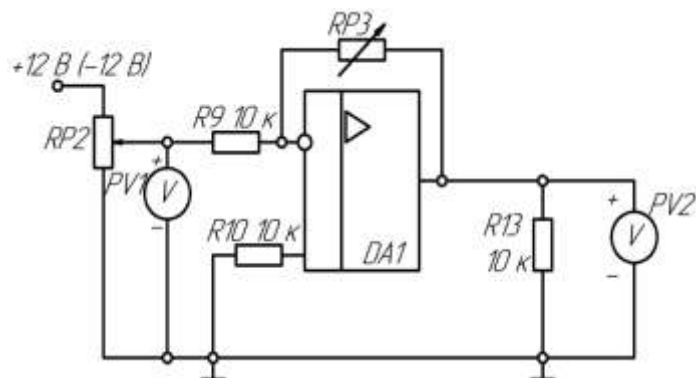


Рисунок 25 – Схема инвертирующего усилителя

2) Включить питание. Снять амплитудную характеристику усилителя на постоянном токе $U_{\text{вых}} = F(U_{\text{вх}})$ (табл.33). В качестве источника сигнала использовать напряжение, регулируемое потенциометром RP2. 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 $K_{\text{уос}}$; выключить питание;

Таблица 33 – Результаты измерений (инвертирующий усилитель)

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

3) Собрать схему согласно рис. 26. Установить заданное значение $RP3=20\text{K}$.

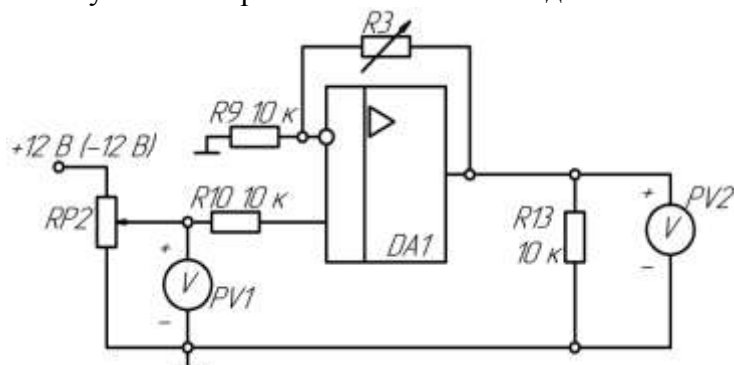


Рисунок 26 - Схема неинвертирующего усилителя

4) Снять амплитудную характеристику усилителя на постоянном токе $U_{\text{вых}} = F(U_{\text{вх}})$ (табл.34). В качестве источника сигнала использовать напряжение, регулируемое потенциометром RP2. По амплитудной характеристике определить коэффициент усиления по напряжению $K_{\text{у}}$; выключить питание;

Таблица 34 – Результаты измерений (неинвертирующий усилитель)

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

5) По таблицам 33 и 34 построить графики амплитудных характеристик для инвертирующего и неинвертирующего усилителей, рассчитать для них коэффициенты усиления. По графикам определить коэффициенты усиления.

Форма представления результата:

Отчет по работе должен содержать:

- а) наименование работы и цель работы;
- б) схему эксперимента с включенными измерительными приборами;
- в) таблицы с результатами эксперимента;
- г) графики;
- д) выводы по работе.

Тема 2.7 Электронные генераторы
Лабораторное занятие №15
Исследование мультивибратора

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

Выполнив работу, Вы будете:

уметь:

- различать полупроводниковые диоды, биполярные и полевые транзисторы, тиристоры на схемах и в изделиях;
- определять назначение и свойства основных функциональных узлов аналоговой электроники: усилителей, генераторов в схемах;

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:

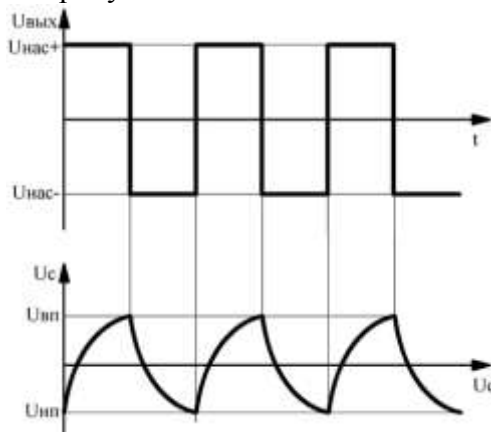
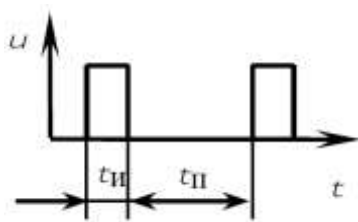


Рис.1 Форма выходного напряжения и входного напряжения на инвертирующем входе мультивибратора



Пример расчета параметров мультивибратора

Определить период T , частоту f и скважность Q последовательности импульсов (рис.2), если $t_{\text{н}} = 100 \text{ мкс}$, а $t_{\text{п}} = 1 \text{ мс}$.

Решение: Вычисляем: $T = t_{\text{н}} + t_{\text{п}} = 0,1 + 1 = 1,1 \text{ мс}$;
 $f = 1/T = 1 / (1,1 \cdot 10^{-3}) = 909 \text{ Гц}$
 $Q = T / t_{\text{н}} = 1,1 / 0,1 = 11$

Рис.2

Порядок выполнения работы

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

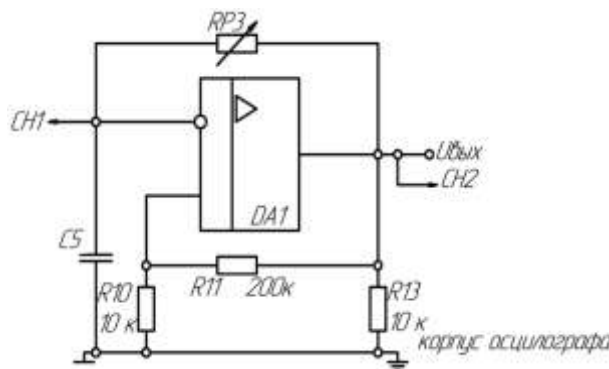


Рисунок 27 – Схема мультивибратора

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 $C5=10000 \text{ пФ}$ ($C6=6800 \text{ пФ}$).

Форма представления результата:

Отчет по работе должен содержать:

- а) наименование работы и цель работы;
- б) схему эксперимента;
- в) полученные осциллограммы;
- г) результаты расчетов;

д) выводы по работе.