

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

Многопрофильный колледж

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
ДЛЯ ЛАБОРАТОРНЫХ И ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ
УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ
ОП.02 ЭЛЕКТРОТЕХНИКА**

**для обучающихся специальности
27.02.04 Автоматические системы управления**

Магнитогорск, 2025

СОДЕРЖАНИЕ

1 ВВЕДЕНИЕ	3
2 МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ	4
Практическое занятие № 1	4
Практическое занятие № 2	5
Практическое занятие № 5	12
Практическое занятие № 6	13
Практическое занятие № 7	14
Лабораторное занятие № 1	34
Лабораторное занятие № 2	38
Лабораторное занятие № 5	49
Лабораторное занятие № 6	52
Лабораторное занятие № 9	62
Лабораторное занятие № 12	75
Лабораторное занятие № 13	76
Лабораторное занятие № 14	77
Лабораторное занятие № 15	79
Лабораторное занятие № 16	80
Лабораторное занятие № 17	82
Лабораторное занятие № 18	83
Лабораторное занятие № 19	85
Лабораторное занятие № 20	86
Лабораторное занятие № 21	87

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 «Электротехника» предусмотрено проведение практических и лабораторных работ.

В результате их выполнения, обучающийся должен:

уметь:

- рассчитывать параметры и электрических, электронных и магнитных схем;
- измерять параметры электрической, электронной цепи;
- определять и анализировать основные параметры электрических, электронных схем;
- подбирать элементы электрических цепей по заданным параметрам.

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

ПК 1.2. Составлять схемы специализированных узлов, блоков, устройств и систем автоматического управления технологическими процессами

ПК 3.1. Диагностировать электронное оборудование и системы автоматического управления.

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 «Электротехника» 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;
- развитие интеллектуальных умений у будущих специалистов: аналитических, проектировочных, конструктивных и др.;
- 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.

2 МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

Тема 1.1

Электрическая цепь. Элементы электрической цепи

Практическое занятие № 1

Определение параметров и характеристик элементов электрической цепи

Цель: научиться определять параметры и характеристик элементов электрической цепи.

Выполнив работу, Вы будете:

уметь:

- рассчитывать параметры электрических, электронных и магнитных схем;
- подбирать элементы электрических цепей по заданным параметрам..

Выполнение практической работы способствует формированию:

ПК 1.2. Составлять схемы специализированных узлов, блоков, устройств и систем автоматического управления технологическими процессами

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

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	СП3-9 К75-15 ТИМ1	15	ВС-0,5 К10У-5 ТИ6	22	С2-1 К75-37 ТИ51
2	МЛТ-0,25 КД-2 ТИ26	9	СП3-16 К75-41 ТИМ22	16	ВС-0,25 КД-1 ТИ29	23	Р1-16 КМ-6 ТИМ43
3	МЛТ-0,5 КМ-6 ТИ2	10	СП5-30 К50-20 ТИМ2	17	ВС-0,125 К75-41 ТИ5	24	МЛТ-0,125 К75-15 ТИ52
4	МЛТ-1 К10У-5 ТИ27	11	СП3-38 КД-1 ТИМС23	18	МЛТ-0,5 К50-6 ТИ30	25	СП3-9 К50-20 ТИМ44
5	ВС-0,125 КТ4-21 ТИ3	12	СП-4-1 КМ-6 ТИМ3	19	МЛТ-0,25 КМ-6 ТИМ64	26	СП5-30 КД-1 ТИ53
6	ВС-0,25 К50-6 ТИ28	13	Р1-16 К10У-5 ТИМ24	20	МЛТ-1 К75-37 ТИМ25	27	СП3-16 К50-6 ТИМ45
7	ВС-0,5 К75-37 ТИ4	14	С2-11 К50-6 ТИМ4	21	МЛТ-0,125 К75-41 ТИМ65	28	СП3-38 К10У-5 ТИ54

2. Зарисуйте эскизные чертежи элементов с указанием размеров.

Форма представления результата:

Отчет по работе должен содержать:

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

Критерии оценки:

Оценка «отлично» ставится, если задание выполнено верно.

Оценка «хорошо» ставится, если допущена одна или две ошибки, приведшие к неправильному результату.

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

Оценка «неудовлетворительно» ставится, если задание не выполнено.

Тема 1.2

Основные понятия, определения и законы теории электрических цепей

Практическое занятие № 2

Определение параметров электрической цепи постоянного тока

Цель: научиться рассчитывать параметры электрической цепи постоянного тока.

Выполнив работу, Вы будете:

уметь:

- рассчитывать параметры электрических, электронных и магнитных схем.

Выполнение практической работы способствует формированию:

ПК 1.2. Составлять схемы специализированных узлов, блоков, устройств и систем автоматического управления технологическими процессами

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

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.

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.

Таблица 5 – Исходные данные

вариант	Внутреннее сопротивление источника, Ом	Время работы цепи, с	Длина соединительных проводов, м	Площадь сечения провода, 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	$2 \cdot 10^{-8}$

Форма представления результата:

Отчет по работе должен содержать:

- а) наименование работы и цель работы;
- б) исходные данные для расчёта (по вариантам);
- в) схему электрической цепи;
- г) результаты расчётов;
- д) выводы по работе.

Критерии оценки:

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.

Тема 1.3 Виды соединений потребителей постоянного тока

Практическое занятие № 3

Расчет цепей со смешанным соединением резисторов

Цель: научиться рассчитывать электрические цепи со смешанным соединением резисторов.

Выполнив работу, Вы будете:

уметь:

- рассчитывать параметры электрических, электронных и магнитных схем.

Выполнение практической работы способствует формированию:

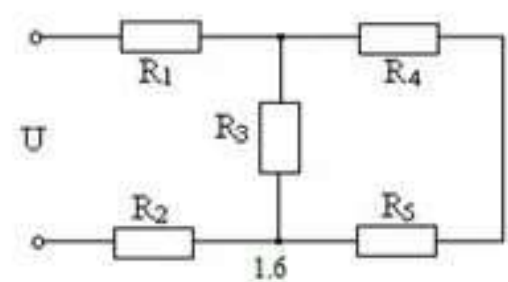
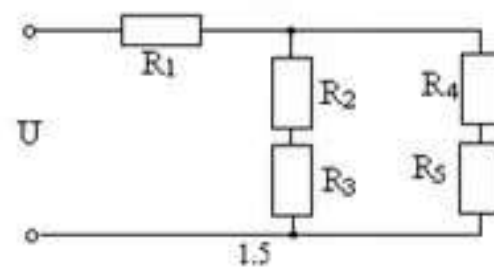
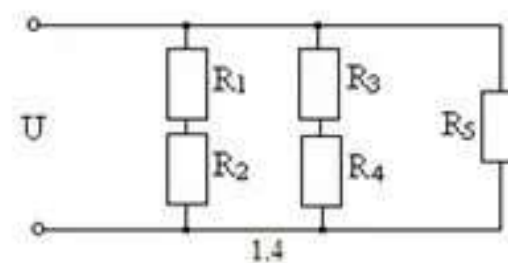
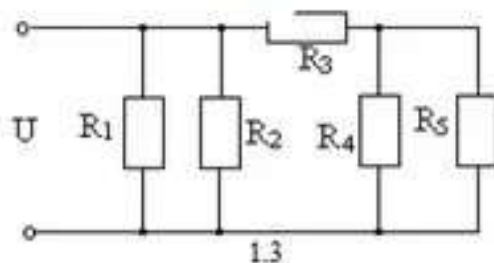
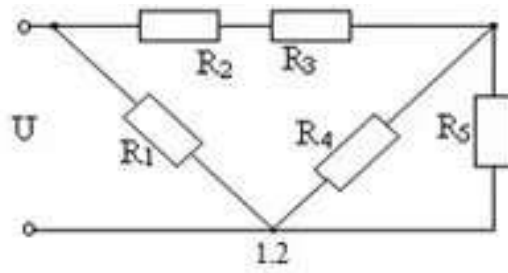
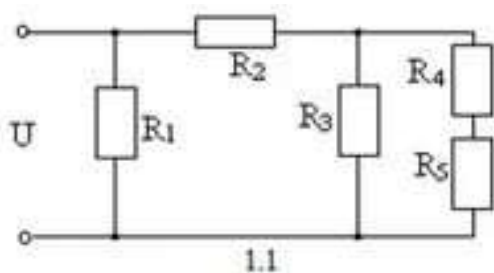
ПК 1.2. Составлять схемы специализированных узлов, блоков, устройств и систем автоматического управления технологическими процессами

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

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

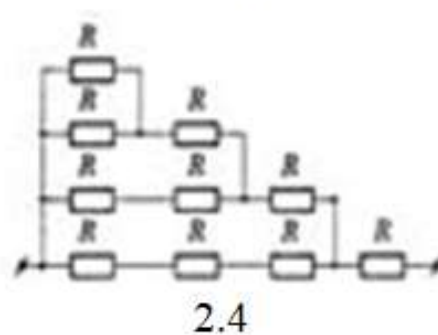
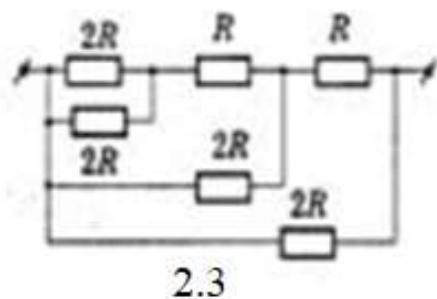
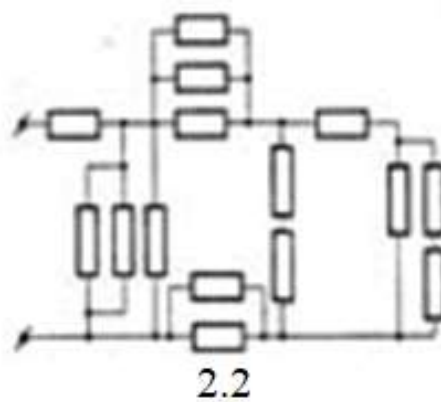
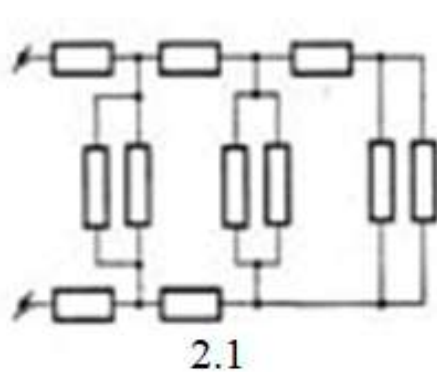
Задание 1.

Найдите эквивалентное сопротивление цепи, а также токи в каждой ветви (обозначьте их на схеме), если известно, что все сопротивления R_1 - R_5 равны 10 Ом, а напряжение $U = 20$ В.



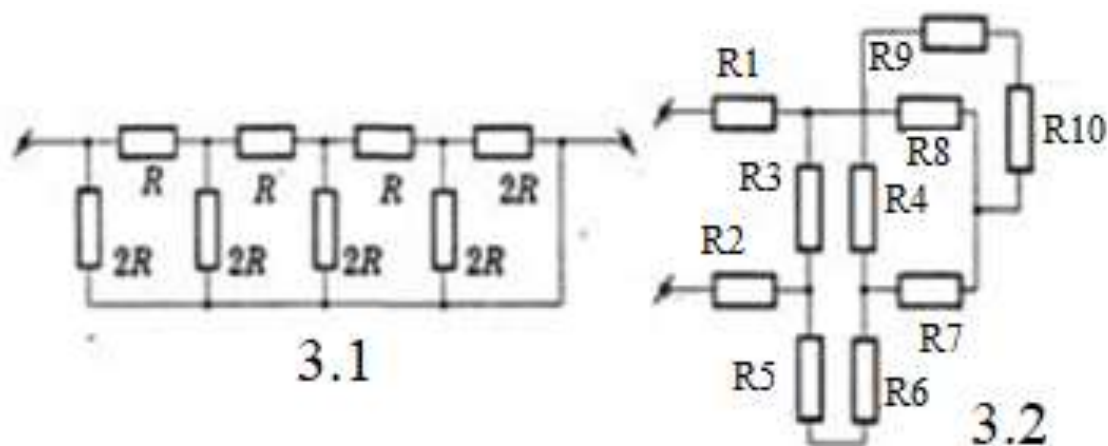
Задание 2

Найдите эквивалентное сопротивление цепи, если известно, что все сопротивления R равны 2 Ом .



Задание 3

Найдите эквивалентное сопротивление цепи (3.1), а также токи в каждой ветви (обозначьте их на схеме), если известно, что все R равно 2 Ом , а напряжение на зажимах $U = 10\text{ В}$.



Найдите сопротивление участка цепи (3.2), если $R_1 = R_2 = 0,5 \text{ Ом}$, $R_3 = 8 \text{ Ом}$, $R_4 = 12 \text{ Ом}$, $R_5 = R_6 = 1 \text{ Ом}$, $R_7 = 2 \text{ Ом}$, $R_8 = 15 \text{ Ом}$, $R_9 = 10 \text{ Ом}$, $R_{10} = 20 \text{ Ом}$.

Форма представления результата

Отчет по работе должен содержать:

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

Критерии оценки:

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.

Тема 1.4

Методы расчета электрических цепей постоянного тока

Практическое занятие № 4

Решение задач на применение законов Кирхгофа

Цель: научиться рассчитывать электрические цепи постоянного тока с применением законов Кирхгофа.

Выполнив работу, Вы будете:

уметь:

- рассчитывать параметры электрических, электронных и магнитных схем.

Выполнение практической работы способствует формированию:

ПК 1.2. Составлять схемы специализированных узлов, блоков, устройств и систем автоматического управления технологическими процессами

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

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

Задание. Для электрической схемы (по вариантам рис. 1.1-1.15) выполнить следующее:

- Упростить схему, заменив последовательно и параллельно соединенные резисторы 4 и 6 ветвей эквивалентными.

2. Составить на основании законов Кирхгофа систему уравнений для расчета токов во всех ветвях схемы.
3. Определить токи во всех ветвях схемы методом контурных токов.
4. Определить токи во всех ветвях схемы методом узловых потенциалов.
5. Результаты расчетов токов, проведенного двумя методами, свести в таблицу и сравнить между собой.

Форма представления результата

Отчет по работе должен содержать:

- а) наименование работы и цель работы;
- б) исходные данные для расчёта (по вариантам);
- в) схема электрической цепи к каждой задаче;
- г) результаты расчётов;
- д) выводы по работе.

Критерии оценки:

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.

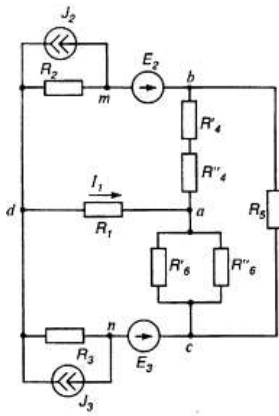


Рис. 1.1

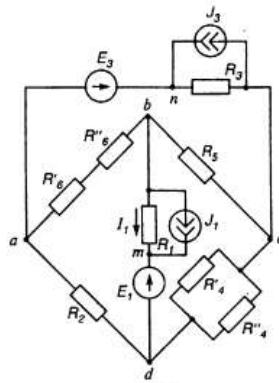


Рис. 1.2

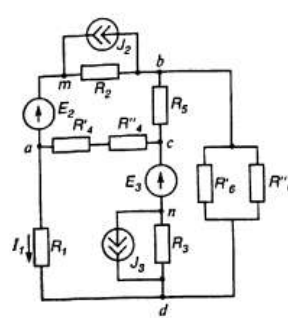


Рис. 1.6

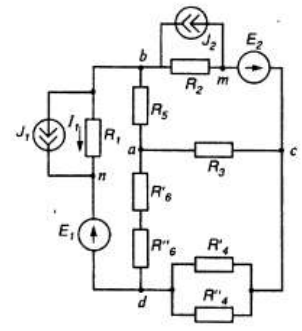


Рис. 1.7

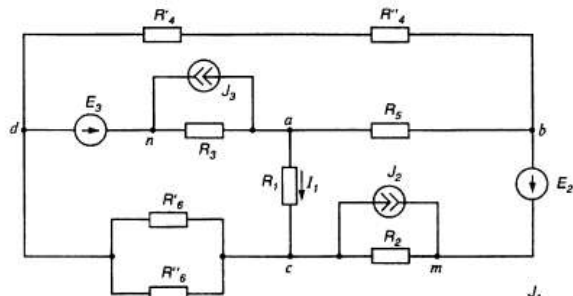


Рис. 1.3

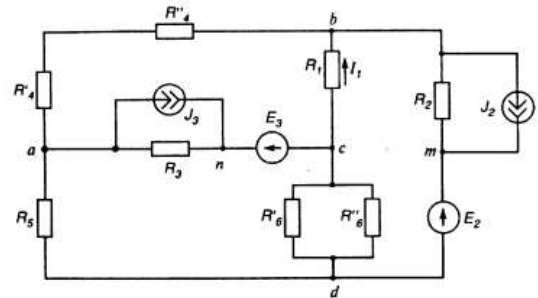


Рис. 1.8

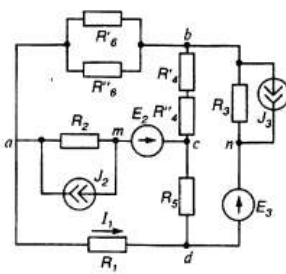


Рис. 1.4

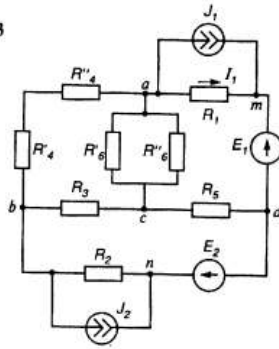


Рис. 1.5

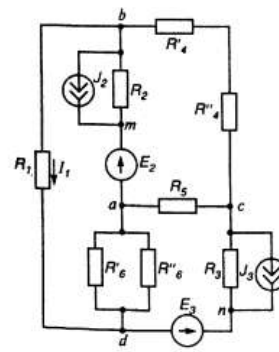


Рис. 1.9

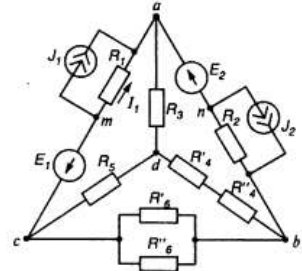


Рис. 1.10

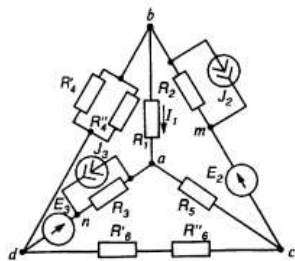


Рис. 1.11

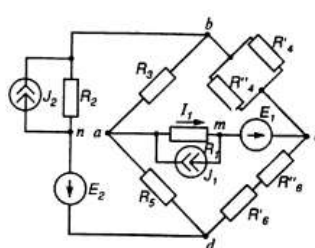


Рис. 1.12

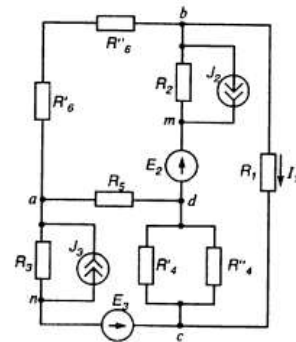


Рис. 1.14

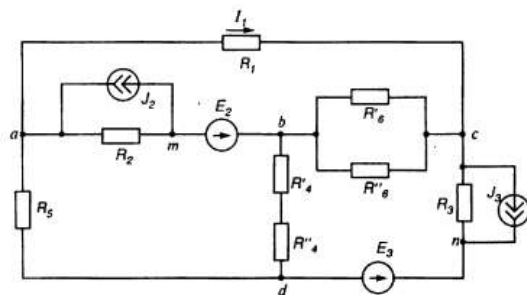


Рис. 1.13

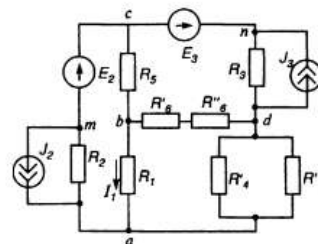


Рис. 1.15

Практическое занятие № 5

Расчёт цепей постоянного тока разными методами

Цель: научиться рассчитывать электрические цепи постоянного тока разными методами.

Выполнив работу, Вы будете:

уметь:

- рассчитывать параметры электрических, электронных и магнитных схем.

Выполнение практической работы способствует формированию:

ПК 1.2. Составлять схемы специализированных узлов, блоков, устройств и систем автоматического управления технологическими процессами

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

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.

Таблица 6 – Исходные данные

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

29	1	120	60	2	1	24
30	2	110	50	3	2	25

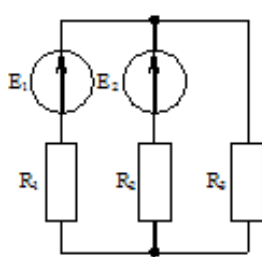


Схема №1

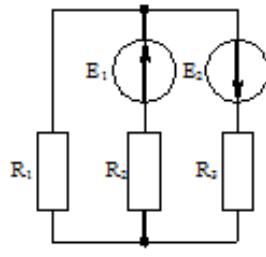


Схема №2

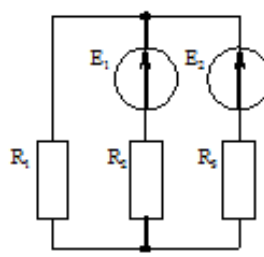


Схема №3

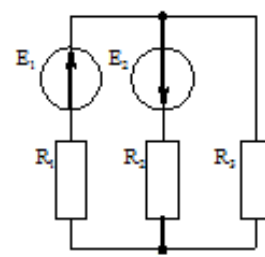


Схема №4

Рисунок 1 - Схемы электрических цепей

Форма представления результата

Отчет по работе должен содержать:

- е) наименование работы и цель работы;
- ж) исходные данные для расчёта (по вариантам);
- з) схема электрической цепи к каждой задаче;
- и) результаты расчётов;
- к) выводы по работе.

Критерии оценки:

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.

Тема 1.5

Нелинейные электрические цепи

Практическое занятие №6

Расчёт нелинейных электрических цепей

Цель: научиться рассчитывать нелинейные электрические цепи постоянного тока.

Выполнив работу, Вы будете:

уметь:

- рассчитывать параметры электрических, электронных и магнитных схем.

Выполнение практической работы способствует формированию:

ПК 1.2. Составлять схемы специализированных узлов, блоков, устройств и систем автоматического управления технологическими процессами

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

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 .

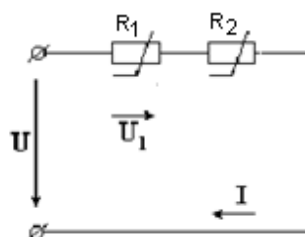


Рисунок 2 – Последовательное соединение нелинейных элементов

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 . Определить напряжение U и токи I_1 , I_2 .

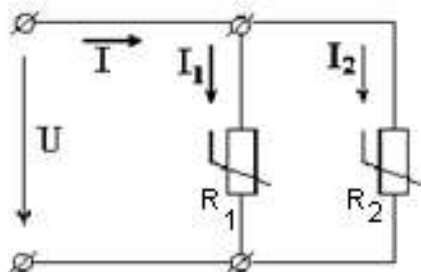


Рисунок 3 – Параллельное соединение нелинейных элементов

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

Таблица 7 - Характеристика лампы накаливания

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

Форма представления результата

Отчет по работе должен содержать:

- наименование работы и цель работы;
- схема электрической цепи к задаче;
- результаты расчётов;
- выводы по работе.

Критерии оценки:

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.

Тема 1.6

Электромагнетизм

Практическое занятие №7

Расчёт магнитных цепей

Цель: научиться рассчитывать магнитные цепи постоянного тока.

Выполнив работу, Вы будете:

уметь:

- рассчитывать параметры электрических, электронных и магнитных схем;

Выполнение практической работы способствует формированию:

ПК 1.2. Составлять схемы специализированных узлов, блоков, устройств и систем автоматического управления технологическими процессами

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

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 .



Рисунок 4 –
Магнитная цепь
к задаче 1

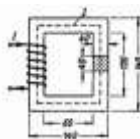


Рисунок 5 –
Магнитная
цепь к задаче 2



Рисунок 6 -
Магнитная цепь
к
задаче 3

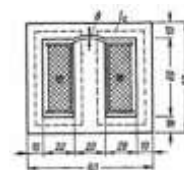


Рисунок 7 -
Магнитная цепь
к
задаче 4

Форма представления результата

Отчет по работе должен содержать:

- а) наименование работы и цель работы;
- б) исходные данные для расчёта;
- в) результаты расчётов;
- г) выводы по работе.

Критерии оценки:

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.

Тема 1.8. Векторная и временная диаграмма. Цепь переменного тока с активными и реактивными элементами Практическое занятие № 8

Расчет цепи при гармоническом воздействии

Цель: научиться рассчитывать цепи при гармоническом воздействии.

Выполнив работу, Вы будете:

уметь:

- рассчитывать параметры электрических, электронных и магнитных схем;

Выполнение практической работы способствует формированию:

ПК 1.2. Составлять схемы специализированных узлов, блоков, устройств и систем автоматического управления технологическими процессами

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

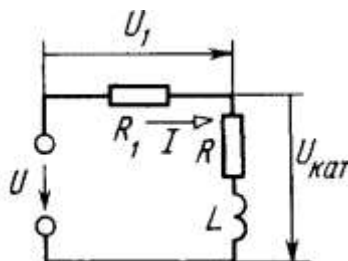
Материальное обеспечение: для проведения практической работы наличие специальных материалов и оборудования не требуется.

Задание: Решите задачи:

1. Построить кривые изменения напряжения и тока во времени и начертить векторы, изображающие заданные синусоидальные функции:
 $u = 100 \sin(157t + \pi/10) \text{ В}; i = 5 \sin(157t - \pi/8) \text{ А}$

Чему равен сдвиг фаз между напряжением и током? Определить период, частоту, моменты начала положительных полуволн напряжения и тока. Какой вид примут уравнения для заданных напряжения и тока, если фазу, равную нулю, принять для тока? Для этого случая построить синусоиды напряжения и тока, векторную диаграмму.

2. Катушка с резистивным сопротивлением $R=10 \text{ Ом}$, индуктивностью $L=0,05 \text{ Гн}$ подключена к источнику синусоидального напряжения, действующее значение которого $U=120 \text{ В}$, а частота $f=50 \text{ Гц}$. Определить полное сопротивление катушки, ток и сдвиг фаз между напряжением и током. Чему равны активная, реактивная и полная мощности? Вычислить активную и реактивную составляющие напряжения на зажимах катушки. Чему равна ЭДС самоиндукции, наводимая в катушке? Построить векторную диаграмму напряжений и тока.
3. К последовательно соединенным реостату сопротивлением $R=120 \text{ Ом}$ и конденсатору емкостью $C=30 \text{ мкФ}$ подведено напряжение $u=311 \sin 314t$, В. Вычислить полное сопротивление цепи, действующие значения напряжений и тока, мощность, расходуемую в цепи, реактивную мощность и разность фаз напряжения и тока. Построить векторную диаграмму напряжений и тока.
4. Последовательно с реостатом, имеющим сопротивление $R_1 = 20 \text{ Ом}$, включена катушка, параметры которой $R = 6,7 \text{ Ом}$ и $L = 42,7 \text{ мГн}$ (рис. ниже). Определить ток в цепи, разность фаз между напряжением и током, напряжения на реостате и катушке, а также сдвиг фаз между напряжением источника и напряжением на катушке, если $U=220 \text{ В}$. Частота переменного тока $f=50 \text{ Гц}$. Вычислить активную, реактивную и полную мощности катушки. Построить векторную диаграмму.



Форма представления результата

Отчет по работе должен содержать:

- наименование работы и цель работы;
- исходные данные для расчёта;
- результаты расчётов;
- выводы по работе.

Критерии оценки:

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.

Тема 1.10 Трёхфазные электрические цепи

Практическое занятие № 9

Расчет трехфазной цепи

Цель: научиться рассчитывать трехфазные цепи.

Выполнив работу, Вы будете:

уметь:

- рассчитывать параметры электрических, электронных и магнитных схем;

Выполнение практической работы способствует формированию:

ПК 1.2. Составлять схемы специализированных узлов, блоков, устройств и систем автоматического управления технологическими процессами

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

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

Задание: Для схем (по вариантам рис. 2.2-2.5) выполнить расчет трехфазной цепи. В каждой схеме имеется трехфазный генератор (создающий трехфазную симметричную систему ЭДС) и симметричная нагрузка. Действующее значение ЭДС фазы генератора E_A , период T , параметры R_1 , R_2 , L , C_1 и C_2 приведены в таблице. Начальную фазу ЭДС E_A принять нулевой. Рассчитайте токи, постройте векторную диаграмму токов и напряжений, определите мгновенное значение напряжения между заданными точками и определите активную мощность трехфазной системы.

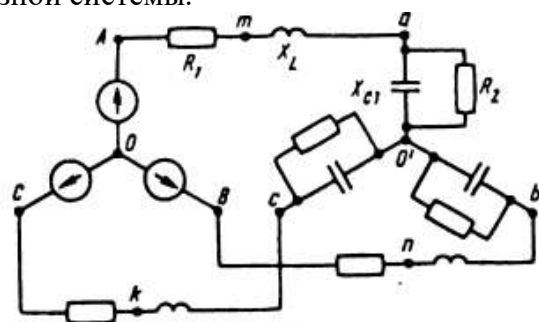


Рис. 2.2

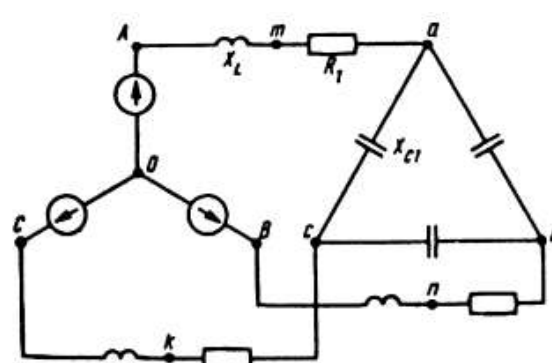


Рис. 2.3

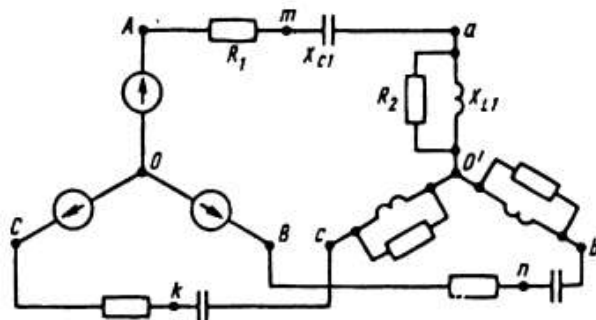


Рис. 2.4

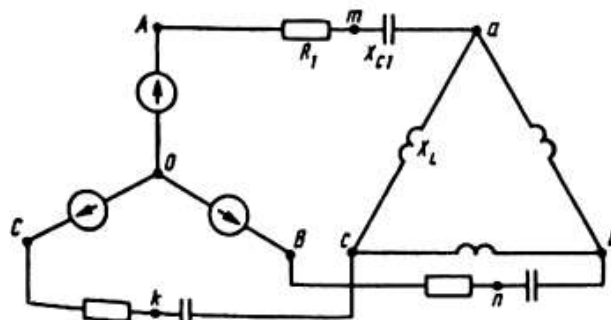


Рис. 2.5

Рисунок	E_A , В	T , с	L , мГн	C_1 , мкФ	C_2 , мкФ	R_1 , Ом	R_2 , Ом	Определить
2.2	100	0,015	22,32	276	—	4,33	8,66	u_{bc}
2.3	20	0,015	17,94	79,7	—	4,33	—	u_{bc}
2.4	60	0,015	4,78	398	—	7,66	2	u_{bc}
2.5	90	0,015	107,6	119,6	—	8,66	—	u_{bc}

Форма представления результата

Отчет по работе должен содержать:

- наименование работы и цель работы;
- исходные данные для расчёта;
- результаты расчётов;
- выводы по работе.

Критерии оценки:

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.

Тема 1.11 Электрические фильтры

Практическое занятие № 10

Расчет электрического фильтра

Цель: научиться рассчитывать электрические фильтры.

Выполнив работу, Вы будете:

уметь:

- рассчитывать параметры электрических, электронных и магнитных схем;

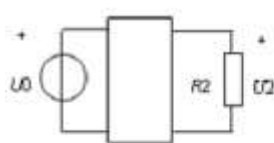
Выполнение практической работы способствует формированию:

ПК 1.2. Составлять схемы специализированных узлов, блоков, устройств и систем автоматического управления технологическими процессами

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

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

Задание: Рассчитать LC-фильтр нижних частот с односторонней нагрузкой (рис.а), полагая, что его элементы имеют пренебрежимо малые потери.



а)

f_0 , кГц	$7 \cdot M$
f_k , кГц	$8,5 \cdot M$
a_0 , дБ	20

$$\Delta a = 1,25 \text{ дБ}$$

$M = 1 + C$; величина C задается преподавателем в пределах $0 \leq C \leq 1$.

Обозначения:

a_0 – гарантированное ослабление в полосах задерживания;

f_0 – граничная частота полосы пропускания ФНЧ и ФВЧ;

f_1, f_{-1} – граничные частоты полосы (полос) пропускания ПФ и РФ;

f_k – граничная частота полосы задерживания ФНЧ и ФВЧ, а также

одна из граничных частот полосы (полос) задерживания ПФ и РФ. Значение другой граничной частоты f_{-k} определяется из условия геометрической симметрии характеристики ослабления: $f_1 \cdot f_{-1} = f_k \cdot f_{-k}$.

Ослабление фильтра определяется выражением

$$a(\omega) = -20 \lg |H(j\omega)|, \text{ дБ.}$$

где $H(j\omega) = H(p) \Big|_{p=j\omega}$.

Передаточные функции имеют вид:

$$H(p) = \frac{U_2(p)}{U_0(p)}.$$

В фильтрах с односторонней нагрузкой величину нагрузочного сопротивления (R_2) следует принять равной 600 Ом.

Расчетные формулы и схемы:

Прежде всего следует определить порядок фильтра-прототипа нижних частот

$$n \geq \frac{\alpha_0 + 6 - 10 \lg(10^{0,1\Delta\alpha} - 1)}{20 \lg(\hat{\omega}_k + \sqrt{\hat{\omega}_k^2 - 1})} \text{ для ФНЧ} \quad \hat{\omega}_k = \frac{f_k}{f_0};$$

Рассчитанное значение n следует округлить до ближайшего большего целого числа.

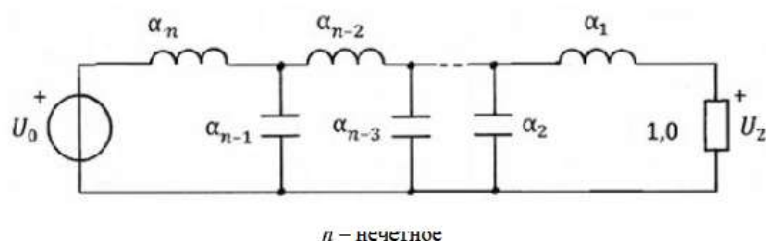
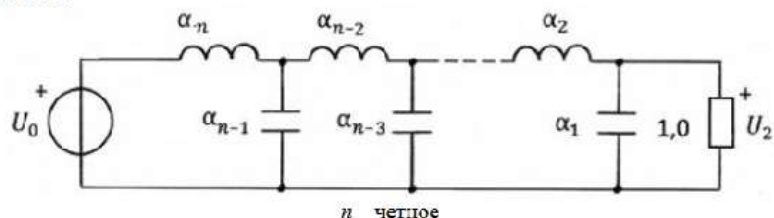


Схема ФПНЧ для режима заданного входного напряжения

Элементы односторонне нагруженного ФПНЧ с характеристикой Чебышева при $\Delta\alpha = 1,25$ дБ

n	8	7	6	5	4	3
α_1	1,179	1,175	1,169	1,159	1,141	1,103
α_2	1,460	1,454	1,446	1,431	1,401	1,326
α_3	2,132	2,122	2,106	2,073	1,988	1,577
α_4	1,646	1,635	1,613	1,556	1,256	–
α_5	2,216	2,190	2,118	1,723	–	–
α_6	1,658	1,607	1,313	–	–	–
α_7	2,158	1,767	–	–	–	–
α_8	1,333	–	–	–	–	–

Параметры элементов проектируемого фильтра определяются путем соответствующего пересчета параметров элементов ФПНЧ по формулам, приведенным в табл. Расчет следует выполнить с точностью до четырех значащих цифр.

Преобразование элементов ФПНЧ в элементы фильтров

Элементы ФПНЧ	Элементы фильтров	Тип фильтра
α_v α_μ 	$L_v = \frac{\alpha_v R_0}{2\pi f_0}$ $C_\mu = \frac{\alpha_\mu}{2\pi f_0 R_0}$	ФНЧ

Форма представления результата

Отчет по работе должен содержать:

- наименование работы и цель работы;
- исходные данные для расчёта;

- в) результаты расчётов;
г) выводы по работе.

Критерии оценки:

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.

Тема 2.2 Полупроводниковые диоды. Выпрямительные устройства

Практическое занятие № 11 Расчет диодных цепей

Цель работы: научиться выполнять расчет диодных цепей.

Выполнив работу, Вы будете:

уметь:

- рассчитывать параметры электрических, электронных и магнитных схем;

Выполнение практической работы способствует формированию:

ПК 1.2. Составлять схемы специализированных узлов, блоков, устройств и систем автоматического управления технологическими процессами

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

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

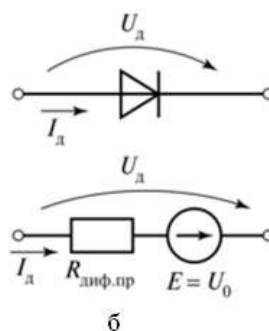
Теоретические сведения

Т.к. диод можно отнести к классу нелинейных резисторов, ток расчету цепей, содержащих диоды, можно применить методы, которые используются для расчета нелинейных цепей: графический, графоаналитический (метод построения нагрузочной прямой), аналитический и метод линейной аппроксимации.

Схема замещения выпрямительного диода и линейная аппроксимация ВАХ диода



Рис. 1. Линейная аппроксимация прямой ветви ВАХ диода (а) и схема замещения диода (б)



Метод линейной аппроксимации ВАХ диода заключается в представлении ВАХ кусочно-линейными участками (Рис.1 и 2,а). При этом для каждого диапазона напряжений и токов, для которых ВАХ линейна, диод заменяется совокупностью линейных элементов т.е. схемой замещения (Рис.1 и 2, б), для которой делается расчет.

Т.к. прямая и обратная ветви ВАХ существенно различаются по масштабу и виду, аппроксимацию проводят для прямой и обратной ветвей отдельно.

Кусочно-линейная ВАХ диода при прямом включении (рис.1) соответствует следующим режимам работы:

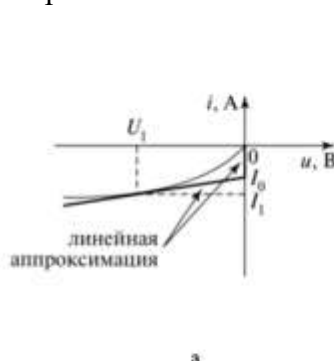
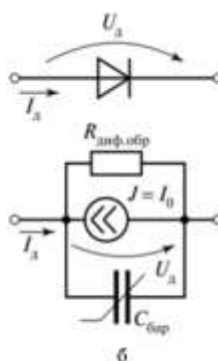


Рис. 2. Линейная аппроксимация обратной ветви ВАХ диода (а) и схема замещения диода (б)



- в диапазоне напряжений $u = 0 - U_0$ ток в цепи диода не течет, диод можно заменить разрывом цепи;

- при $u > U_0$ ВАХ диода соответствует последовательно включенным резистору и источнику напряжения, ЭДС которого равна $E = U_0$.

ВАХ диода аппроксимируется касательной прямой, проведенной в рабочей точке или в середине рабочего диапазона напряжений (токов) к нелинейной ВАХ диода. Сопротивление резистора на эквивалентной схеме равно дифференциальному сопротивлению диода: $R_{\text{диф}} = dU/dI$, т.е. характеризует наклон прямой ветви ВАХ.

Кусочно-линейная ВАХ диода при обратном включении (рис.2) соответствует следующим режимам работы:

- в диапазоне токов $i = 0 - i_0$ диод ведет себя как резистор, сопротивление которого равно 0;
- в диапазоне токов $i > i_0$ диод можно заменить на параллельно включенные дифференциальное сопротивление $R_{\text{диф}} = dU/dI$ и источник тока $J = I_0$.

В схеме замещения учитывается также емкость диода.

Метод расчета диодных цепей с использованием нагрузочной прямой

Этот метод относится к графоаналитическим методам расчета нелинейных цепей и заключается в замене нелинейного элемента (диода) переменным резистором, сопротивление которого изменяется от 0 до ∞ по линейному закону. При замене диода линейным резистором вся схема становится также линейной и для ее расчета можно составить уравнения по законам Кирхгофа.

Вольт-амперная характеристика диода и ВАХ линейной схемы при изменении переменного сопротивления от 0 до ∞ строятся на одном графике, пересечение двух ВАХ дает искомые ток и напряжение на диоде.

Пример.

Определите напряжение на диоде и ток, протекающий в цепи. ВАХ диода изображена на Рис. 3

Дано: $e(t) = 2 \text{ В}$, $R = 8 \text{ Ом}$

Решение: Источник ЭДС представляет собой источник постоянного напряжения, следовательно, цепь работает при постоянном токе. Заменим диод линейным резистором R_n (Рис. 4) и рассчитаем ток и напряжение на этом резисторе для двух режимов – холостого хода ($R_n = \infty$) и короткого замыкания ($R_n = 0$).

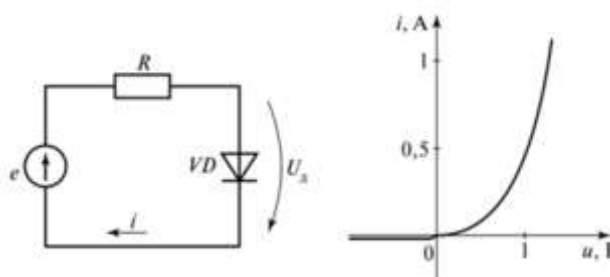


Рис.3 Простейшая диодная схема и ВАХ диода

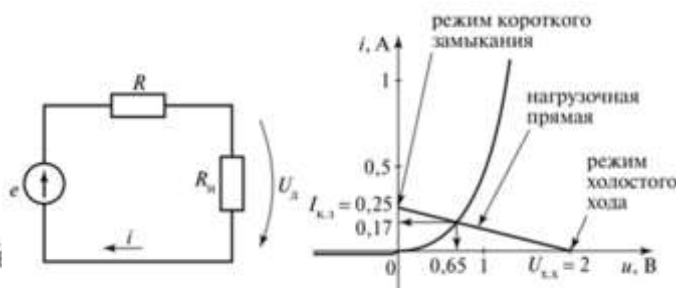


Рис.4 Схема для расчета и график нагрузочной прямой

В режиме холостого хода ток в цепи равен 0 ($i_{\text{хх}} = 0$), следовательно, по второму закону Кирхгофа $U_{\text{хх}} = U_d = e - i_{\text{хх}} \cdot R = 2 - 0 = 2 \text{ В}$.

В режиме короткого замыкания напряжение на диоде равно 0, $U_d = U_{\text{кз}} = 0$, следовательно, ток $i_{\text{кз}} = (e - U_{\text{кз}}) / R = (2 - 0) / 8 = 0,25 \text{ А}$.

Если сопротивление R_n в цепи (Рис. 4) изменять от бесконечности до 0, то в линейной цепи напряжение и ток будут изменяться также по линейному закону. На ВАХ можно построить нагрузочную прямую по двум точкам, соответствующим режимам холостого хода и короткого замыкания (Рис. 4). Точка пересечения нагрузочной прямой и ВАХ диода дает значения искомого тока в цепи и напряжения на диоде: $i = 0,17 \text{ А}$, $U_d = 0,65 \text{ В}$.

Практическое задание

1. Рассмотрите и законспектируйте приведенные теоретические сведения и пример расчета диодных цепей методом построения нагрузочной прямой.
2. Определите напряжение на диоде и ток, протекающий в цепи, если $e(t) = 1 \text{ В}$, $R = 10 \text{ Ом}$. ВАХ Д210 приведена на рисунке 5.

3. Сделайте выводы по работе

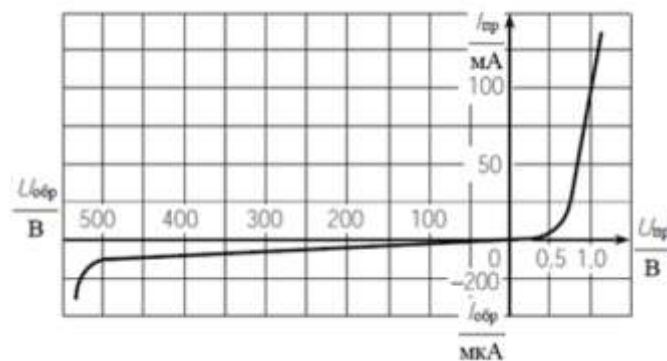


Рис. 5 ВАХ диода Д210

Форма представления результата

Отчет по работе должен содержать:

- наименование работы и цель работы;
- исходные данные для расчёта;
- результаты расчётов;
- выводы по работе.

Критерии оценки:

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.

Практическое занятие № 12

Расчет неуправляемого выпрямителя

Цель работы: научиться выполнять расчет неуправляемого выпрямителя.

Выполнив работу, Вы будете:

уметь:

- рассчитывать параметры электрических, электронных и магнитных схем;

Выполнение практической работы способствует формированию:

ПК 1.2. Составлять схемы специализированных узлов, блоков, устройств и систем автоматического управления технологическими процессами

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

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

Задание.

1. Изучите примеры выполнения расчетов выпрямителей:

- Определить значение и форму выходного напряжения U_2 в цепи (рис. 1, а), полагая, что диод представляет собой идеальный вентиль. Напряжение на входе $u_1 = 30 \sin \omega t$ В. Решение. Вольт-амперная характеристика идеального вентиля приведена на рис. 1, б. При прямом включении сопротивление диода равно нулю, а при обратном - бесконечности. Эквивалентные схемы цепи для положительной и отрицательной полуволн входного напряжения изображены на рис. 1, в, г. При положительном значении напряжения u_1 выходное напряжение $u_2 = u_1$; при отрицательном значении напряжения u_1 ток диода равен нулю, а, следовательно, ток и напряжение на резисторе сопротивлением R_n равны нулю, $u_2 = 0$. Диаграммы $u_1(t)$ и $u_2(t)$ показаны на рис. 1, д. У реального диода прямое сопротивление не равно нулю и имеется падение напряжения на диоде (0,5...1,5 В). Оно мало, поэтому им можно

пренебречь, но при малых входных напряжениях его следует учитывать.

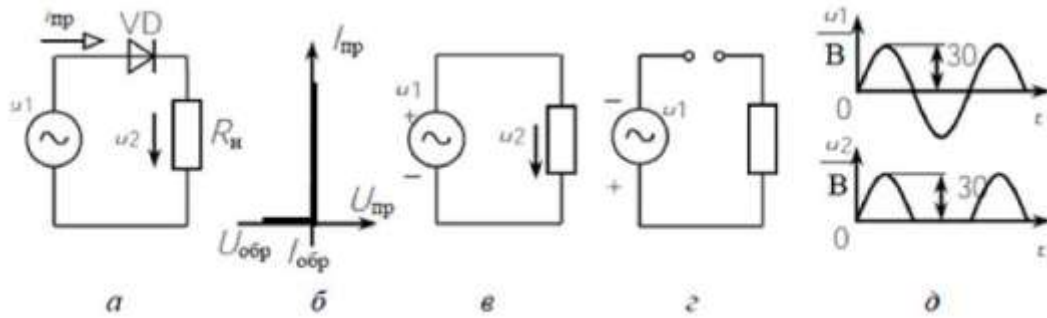


Рис.1

- 1.2 Кремниевый диод Д210 работает в цепи (рис. 1, а) при прямом токе $I_{пр} = 100$ мА. Вольт-амперная характеристика диода приведена на рис.2. Определить прямое сопротивление диода и выходное напряжение $U_{2\text{ ср}}$, если на входе цепи $u_1 = 4 \sin \omega t$ В.
- Решение.** По ВАХ $I(U)$ диода при заданном токе $I_{пр} = 100$ мА находим $U_{пр} = 1$ В. Тогда $R_{пр} = U_{пр} / I_{пр} = 1 / (100 \cdot 10^{-3}) = 10$ Ом.

Среднее значение входного напряжения: $U_{1\text{ ср}} = \frac{1}{\pi} \cdot U_{1\text{ м}} = \frac{1}{\pi} \cdot 4 = 1,32$ В

Выходное напряжение:

$U_{2\text{ ср}} = U_{1\text{ ср}} - U_{пр} = 1,32 - 1 = 0,32$ В.

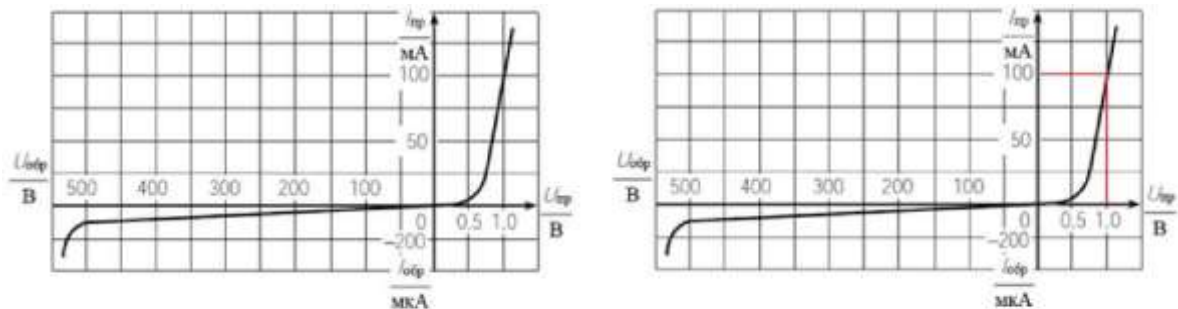


Рис.2

- 1.3 Рассчитать простейший однополупериодный выпрямитель без фильтра (рис. 3) для выпрямления синусоидального напряжения $U = 220$ В с помощью кремниевых диодов КД202Д. Электрические параметры диодов: $U_{пр} = 0,9$ В, $I_{пр} = 5$ А, $I_{обр\text{ max}} = 0,8$ мА (при $U_{обр\text{ max}}$), $U_{обр\text{ max}} = 140$ В.

Решение. Амплитудное значение входного напряжения будет обратным напряжением в схеме выпрямления:

$$U_m = \sqrt{2}U = 1/41 \cdot 220 = 311 \text{ В.}$$

У диодов КД202Д $U_{обр\text{ max}} = 140 \text{ В} < U_m$, значит, в схеме нужно использовать последовательное включение диодов.

Необходимое число диодов: $n = U_m / (K_n \cdot U_{обр\text{ max}})$, где K_n – коэффициент нагрузки диодов по напряжению (0,5...0,8).

Задаемся $K_n = 0,8$, тогда $n = 311 / (0,8 \cdot 140) = 2,76$. Принимаем $n = 3$.

Поскольку обратные сопротивления одностипных диодов имеют большой разброс (могут различаться в несколько раз), то диоды необходимо шунтировать резисторами сопротивлением $R_{ш}$.

Сопротивление резисторов:

$$R_{ш} \leq \frac{n \cdot U_{обр\text{ max}} - 1,1 \cdot U_m}{(n-1) \cdot I_{обр\text{ max}}} = \frac{3 \cdot 140 - 1,1 \cdot 311}{(3-1) \cdot 0,0008} = 49 \text{ кОм}$$

Здесь коэффициент 1,1 учитывает 10%-й разброс сопротивлений резисторов.

2. Решите задачи:

2.1 Определить статическое сопротивление полупроводникового диода Д210 при включении его в прямом и обратном направлениях, если к диоду приложено прямое напряжение $U_{пр} = 0,8$ В и обратное $U_{обр} = 500$ В. Вольт-амперная характеристика диода приведена на рис.2.

2.2 В цепи (рис.4) через нагрузочный резистор сопротивлением $R_H = 500$ Ом проходит ток $I_{H.ср} = 0,1$ А. Выбрать тип диода и рассчитать коэффициент трансформации (n) и мощность трансформатора (P_T) (см. табл. 1, 2), если напряжение питающей сети $U_1 = 220$ В.

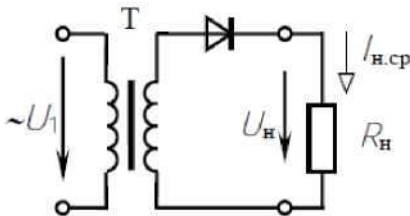


Рис.4

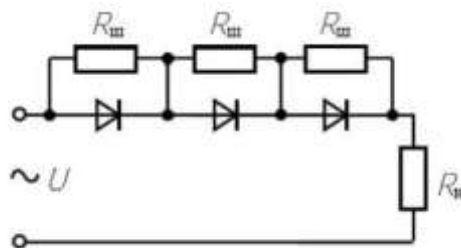


Рис. 3

Таблица 1

Параметры диода	Тип диода						
	Д210	Д226	Д229А	Д229И	КД212А	КД202Д	Д305
$I_{пр}, A$	0,1	0,3	0,4	0,7	1,0	5,0	10,0
$U_{обр\ max}, B$	500	400	200	200	200	140	50

2.3 В схеме однополупериодного выпрямителя (рис.1, а) на нагрузке $R_H = 510$ Ом постоянное напряжение $U_{H.ср} = 100$ В. Правильно ли выбран диод Д226, для которого максимальное обратное напряжение $U_{обр\ max} = 400$ В, а наибольший выпрямленный ток $I_{пр\ max} = 300$ мА? Ответ обосновать.

2.4 В однополупериодном выпрямителе (рис.1, а) амплитуда напряжения вторичной обмотки трансформатора $U_{2\ m} = 12$ В, прямое сопротивление диода $R_{пр} = 20$ Ом, обратное сопротивление $R_{обр}$ считать равным бесконечности, сопротивление нагрузки $R_H = 100$ Ом. Определить амплитуды тока и напряжения нагрузки $I_{H\ max}$, $U_{H\ max}$, а также их средние значения $I_{H.ср}$, $U_{H.ср}$.

2.5 Для однополупериодного выпрямителя (рис.1, а) рассчитать необходимые параметры, затем выбрать диоды и трансформатор, если $U_{H.ср} = 1000$ В, $P_H = 10$ Вт (использовать соотношения параметров, приведенные в таблице 2 и параметры диодов, приведенные в таблице 1).

Форма представления результата

Отчет по работе должен содержать:

- наименование работы и цель работы;
- исходные данные для расчёта;
- результаты расчётов;
- выводы по работе.

Критерии оценки:

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.

Таблица 2

Схема выпрямления	Соотношения для выбора				Кoeffи- циент пульсаций
	диодов		трансформатора		
	$\frac{U_{обр\max}}{U_{н.ср}}$	$\frac{I_D}{I_{н.ср}}$	$U_{2ф}/U_{н.ср}$	P_T/P_H	κ_H
Однополупериодная ($m = 1$)	3,14	1	2,22	3,0...3,5	1,57
Однофазная мостовая ($m = 2$)	1,57	1/2	1,11	1,23	0,667
Двухполупериодная с нулевым выводом трансформатора ($m = 2$)	3,14	1/2	1,11	1,48	0,667
Трехфазная мостовая ($m = 6$)	1,045	1/3	0,427	1,045	0,057
Трехфазная с нулевым выводом трансформато- ра ($m = 3$)	2,09	1/3	0,855	1,34	0,25

Тема 2.3 Полупроводниковые транзисторы и силовые приборы

Практическое занятие № 13

Расчет транзисторной цепи

Цель работы: научиться выполнять расчет транзисторных цепей.

Выполнив работу, Вы будете:

уметь:

- рассчитывать параметры электрических, электронных и магнитных схем;

Выполнение практической работы способствует формированию:

ПК 1.2. Составлять схемы специализированных узлов, блоков, устройств и систем автоматического управления технологическими процессами

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

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

Теоретические сведения

Для расчета цепей, содержащих транзисторы, используют графический, графоаналитический и аналитический методы. Наиболее распространенными являются графоаналитический (метод построения нагрузочной прямой) и аналитический методы. Аналитический расчет проводят либо с использованием схемы замещения транзистора, либо проводят приближенный расчет по законам Кирхгофа.

Пример

Для схемы (рис.1) определить ток коллектора I_K и выходное напряжение $U_{ВЫХ}$.

Дано: $U_{BX} = 1 \text{ В}$, $U_{ПИТ} = 10 \text{ В}$, $R_B = 250 \text{ Ом}$, $R_K = 100 \text{ Ом}$, транзистор VT марки КТ603А.

Решение: Для определения напряжения и тока применим метод построения нагрузочной прямой, но сначала проанализируем схему. На схеме (Рис.1) эмиттер транзистора VT соединен с «общей точкой» схемы, т.е. с точкой, потенциал которой принимается равным 0. Таким образом, схема включения транзистора – общий эмиттер. Выходное напряжение снимается с коллектора транзистора (разница потенциалов между коллектором и общей точкой), а напряжение питания приложено к точкам цепи +УПИТ и общей точке. Входные и выходные характеристики транзистора КТ603А при включении с общим эмиттером приведены на рис.2.

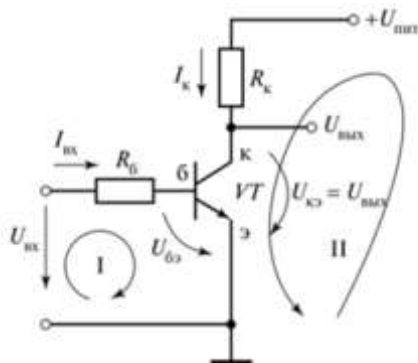


Рис. 1 Простейший усилительный каскад на биполярном транзисторе, включенном по схеме с общим эмиттером

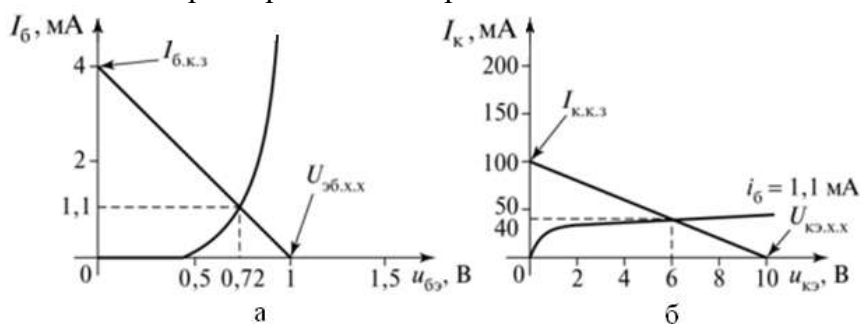


Рис. 2 ВАХ транзистора и нагрузочные прямые:
а- входная характеристика, б - выходная характеристика

Составим уравнение по закону Кирхгофа для контура I (рис.1): $I_{BX} R_B + U_{БЭ} - U_{BX} = 0$.

В режиме холостого хода, т.е. при сопротивлении база-эмиттер, равном ∞ , ток базы равен 0 ($I_{BX.X} = I_{BX.XX} = 0$), следовательно $U_{БЭ} = U_{BX} = 1 \text{ В}$.

В режиме короткого замыкания, т.е. при сопротивлении база-эмиттер, равном 0, напряжение база-эмиттер равно 0 ($U_{БЭ.КЗ} = 0$), следовательно ток базы $I_{Б.КЗ} = I_{BX.КЗ} = U_{BX} / R_B = 1 / 250 = 0,004 \text{ А}$

Построим нагрузочную прямую на входной характеристике транзистора (рис.2, а).

В точке пересечения ВАХ транзистора и нагрузочной прямой ток базы $I_B = 1,1 \text{ мА}$.

Для построения нагрузочной прямой на выходной харктеристике составим уравнение по второму закону Кирхгофа для контура II (рис. 1): $I_K R_K + U_{КЭ} - U_{ПИТ} = 0$

В режиме холостого хода, т.е. при сопротивлении коллектор-эмиттер, равно ∞ , ток коллектора равен 0 ($I_{K.XX} = 0$), следовательно $U_{КЭ.XX} = U_{ПИТ} = 10 \text{ В}$.

В режиме короткого замыкания, т.е. при сопротивлении коллектор-эмиттер, равном 0, напряжение коллектор-эмиттер равно 0 ($U_{КЭ.КЗ} = 0$), следовательно, ток коллектора $I_{К.КЗ} = U_{ПИТ} / R_K = 10 / 100 = 0,1 \text{ А}$.

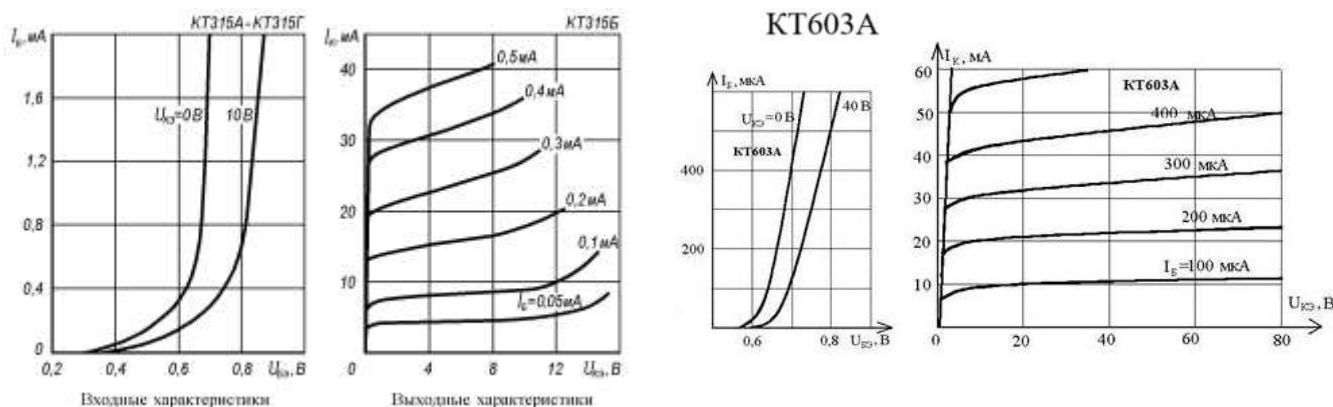
Построим нагрузочную прямую на выходной характеристике транзистора (рис.2, б). Из семейства выходных характеристик выберем ту, которая соответствует базовому току $I_B = 1,1 \text{ мА}$. На пересечении ВАХ транзистора для тока базы $I_B = 1,1 \text{ мА}$ и нагрузочной прямой определим ток коллектора I_K и напряжение коллектор-эмиттер $U_{КЭ}$: $I_K = 0,04 \text{ мА}$, $U_{КЭ} = 6 \text{ В}$.

Практическое задание

- Для схемы (рис.1) определить ток коллектора I_K и выходное напряжение $U_{ВЫХ}$. Тип транзистора и значения U_{BX} , $U_{ПИТ}$, R_B , R_K указаны в таблице (по вариантам). Входные и выходные характеристики транзисторов приведены на рисунках.

№ варианта	Тип транзистора	U_{BX} , В	$U_{ПИТ}$, В	R_B , Ом	R_K , Ом
1	КТ315	1	10	830	250
2	КТ603	0,9	40	1800	667

- Сделать выводы по работе.



Форма представления результата

Отчет по работе должен содержать:

- наименование работы и цель работы;
- исходные данные для расчёта;
- результаты расчётов;
- выводы по работе.

Критерии оценки:

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.

Практическое занятие № 14

Расчет усилительного каскада на транзисторе

Цель работы: научиться выполнять расчет усилительного каскада на биполярном транзисторе, включенном по схеме с ОЭ.

Выполнив работу, Вы будете:

уметь:

- рассчитывать параметры электрических, электронных и магнитных схем;

Выполнение практической работы способствует формированию:

ПК 1.2. Составлять схемы специализированных узлов, блоков, устройств и систем автоматического управления технологическими процессами

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

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

Теоретические сведения

Рассмотрим усилительный каскад на биполярном транзисторе с ОЭ (рис. 13.4). В этом каскаде эмиттер является общим электродом для входной и выходной цепей, а резистор R_k , с помощью которого создается выходное напряжение, включается в коллекторную цепь транзистора VT.

Полярность источника питания с ЭДС E_k по отношению к коллекторной цепи зависит от типа транзистора. На рис. 13.4 полярность источника питания соответствует усилительному каскаду

с транзистором $n-p-n$ -типа. Для усилительного каскада с транзистором $p-n-p$ -типа полярность источника питания должна быть противоположной. Напряжение источника питания современных усилительных каскадов на биполярных транзисторах составляет обычно 10...15 В.

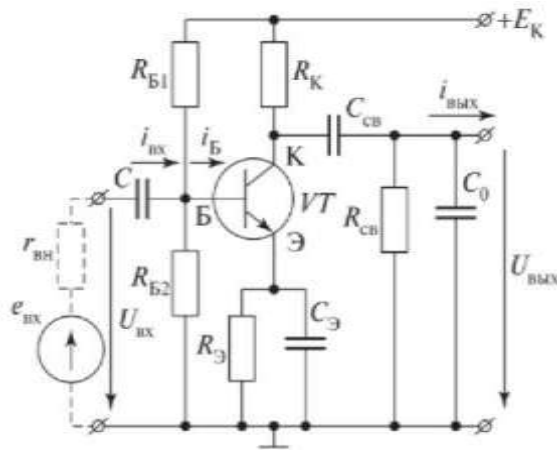


Рис. 13.4. Схема усилительного каскада с ОЭ

В состав схемы на рис. 13.4 входят конденсаторы C и $C_{св}$, которые служат для фильтрации постоянной составляющей входного и, соответственно, выходного сигналов; $C_{св}R_{св}$ — цепь связи (выходная цепь); C_0 — паразитная емкость, образованная монтажными проводами; $R_{Б1}$, $R_{Б2}$ — сопротивления, с помощью которых подается постоянное напряжение на базу — делитель напряжения; $R_Э$, $C_Э$ — цепь температурной компенсации, с помощью которой стабилизируются выходные характеристики транзистора при его нагреве.

Для коллекторной цепи усилительного каскада в соответствии со вторым законом Кирхгофа можно записать следующее уравнение электрического состояния:

$$E_K = U_K + R_K I_K,$$

т.е. сумма падения напряжения на резисторе R_K и коллекторного напряжения U_K транзистора всегда равна постоянной величине — ЭДС источника питания. ВАХ коллекторного резистора R_K — $I_K = f(U_{R_K})$ является линейной, а ВАХ транзистора $I_K = f(U_K)$ представляют собой нелинейные коллекторные характеристики транзистора, включенного по схеме с ОЭ (рис. 13.5).

Расчет такой нелинейной цепи, т.е. определение I_K , U_K и U_{R_K} для различных значений токов базы I_B и сопротивлений резистора R_K , можно провести графически. Для этого на семействе коллекторных характеристик (см. рис. 13.5) необходимо провести из точки E_K на оси абсцисс нагрузочную ВАХ резистора R_K , удовлетворяющую уравнению

$$U_K = E_K - R_K I_K$$

Эту характеристику удобнее строить по двум точкам: $U_K = E_K$ при $I_K = 0$ на оси абсцисс и $I_K = E_K/R_K$ при $U_K = 0$ на оси ординат. Построенную таким образом ВАХ коллекторного резистора R_K часто называют *линией нагрузки* (см. рис. 13.5, характеристика **IV**).

С помощью линии нагрузки можно построить динамическую входную характеристику I_B , т.е. зависимость $I_B = f(U_B)$ при включенном в коллекторную цепь резисторе R_K (см. рис. 13.5). Отличие динамической входной характеристики от статической заключается в том, что статическую характеристику $I_B = f(U_B)$ определяют при $U_K = \text{const}$. Это условие не выполняется для динамической характеристики, так как разным значениям I_B соответствуют разные значения I_K , следовательно, и U_K (т.е. $U_K \neq \text{const}$). Однако входные характеристики для разных значений U_K отличаются незначительно, поэтому в качестве динамической характеристики принимают обычно усредненную статическую входную характеристику.

Анализ работы усилительного каскада удобно проводить с помощью переходной характеристики $I_K = f(I_B)$, которую строят по точкам пересечения линии нагрузки с коллекторными выходными характеристиками (см. рис. 13.5).

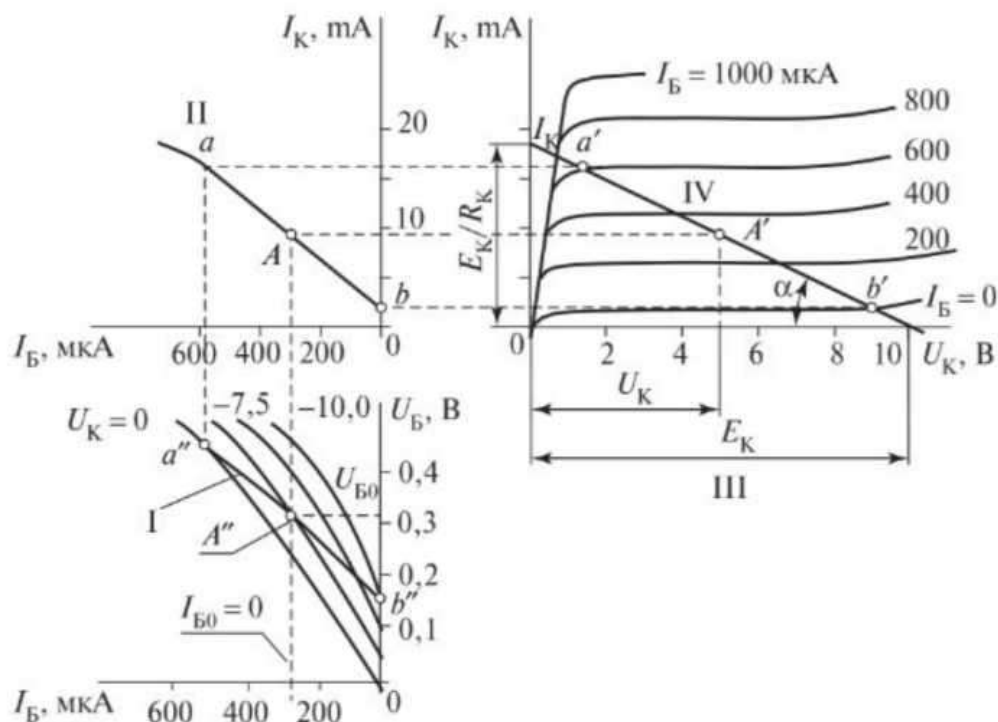


Рис. 13.5. Построение характеристик: динамической входной I, переходной (передачи тока) II, выходной III и нагрузочной IV при $E_K = 10$ В и $R_K = 500$ Ом

На рис. 13.5 помимо коллекторных (выходных) характеристик III приведена динамическая входная характеристика I, повернутая на 90° , и дано построение переходной характеристики II. Видно, что переходная характеристика имеет практически линейный участок ab при изменении тока базы от нуля до некоторого значения, зависящего от типа транзистора и сопротивления R_K . Проецируя этот участок на линию нагрузки и динамическую входную характеристику, отметим на них соответствующие участки $a'b'$ и $a''b''$. Сопротивление резистора R_K выбирают исходя из требуемого усиления

Благодаря тому, что коллекторный ток во много раз превышает ток базы, а сопротивление R_K больше $R_{вх}$ выходное напряжение усилительного каскада с ОЭ во много раз больше входного напряжения. Если изменения входного напряжения U_B , тока базы I_B и тока коллектора I_K укладываются в линейные участки переходной и динамической входной характеристик, то форма выходного напряжения будет соответствовать форме входного напряжения. В частности, при подаче на вход усилительного каскада гармонического напряжения выходное напряжение будет также гармоническим.

На рис. 13.6 показаны временные зависимости токов базы I_B , коллектора I_K и выходного напряжения U_K усилительного каскада при гармоническом входном напряжении $u_{вх}$. Видно, что выходное напряжение также является гармоническим, а амплитуда выходного напряжения больше, чем амплитуда входного напряжения, на коэффициент усиления по напряжению.

Режимы работы усилительных каскадов

В зависимости от положения рабочей точки в режиме покоя на характеристиках транзисторов, а также от значения усиливаемого напряжения различают три основных режима работы усилительных каскадов, или классов усиления: A, B и C. Основными характеристиками этих режимов являются нелинейные искажения и КПД.

Режим A: рабочую точку A усилителя выбирают на линейном участке (обычно посередине) переходной характеристики транзистора или динамической характеристики. На рис. 13.7 показано положение рабочей точки на переходной характеристике A, линии нагрузки A' и выходных характеристиках транзистора. Входное напряжение в режиме A должно быть таким, чтобы работа усилительного каскада происходила на линейном участке характеристики.

В этом случае нелинейные искажения усиленного напряжения будут минимальными, т.е. при подаче на вход усилительного каскада гармонического синусоидального напряжения форма выходного напряжения будет практически синусоидальной. На рис. 13.7 представлены входной синусоидальный сигнал, который после усиления имеет также форму синусоиды, и схема построения одной точки выходного сигнала по входному (точки 1—2—3—4). Благодаря этому режим *A* широко применяют в усилителях напряжения. Однако он имеет и существенный недостаток — низкий КПД усилителя.

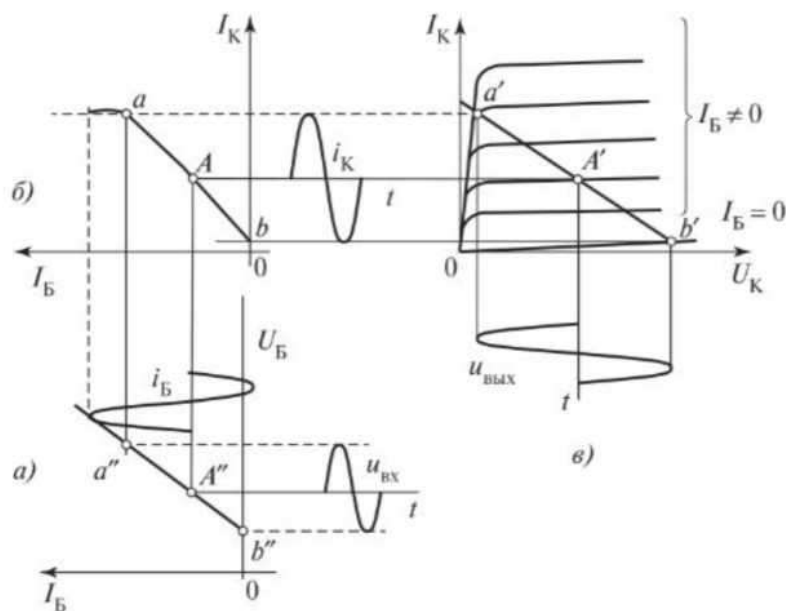


Рис. 13.6. Временные зависимости токов базы (а), коллектора (б) и выходного напряжения (в) при входном напряжении $u_{вх}$

Коэффициент полезного действия усилителя определяет отношение выходной мощности к мощности, потребляемой усилителем от источника питания:

$$\eta = \frac{P_{\text{вых}}}{P_0} = 0,5 \frac{U_{Km}}{U_0} \frac{I_{Km}}{I_0}, \quad (13.1)$$

где $P_{\text{вых}} = 0,5 U_{Km} I_{Km}$ — выходная мощность, создаваемая усилительным каскадом;

U_{Km}/I_{Km} — амплитуды коллекторных напряжения и тока соответственно;

$P_0 = U_0 I_0$ — потребляемая усилителем мощность; U_0, I_0 — постоянные составляющие напряжения и тока коллектора.

Как видно из рис. 13.7, амплитуды переменных составляющих коллекторных напряжения и тока в режиме *A* меньше соответствующих постоянных составляющих, т.е. $U_{Km} < U_0$ и $I_{Km} < I_0$. Следовательно, КПД усилительного каскада в режиме *A* всегда менее 0,5.

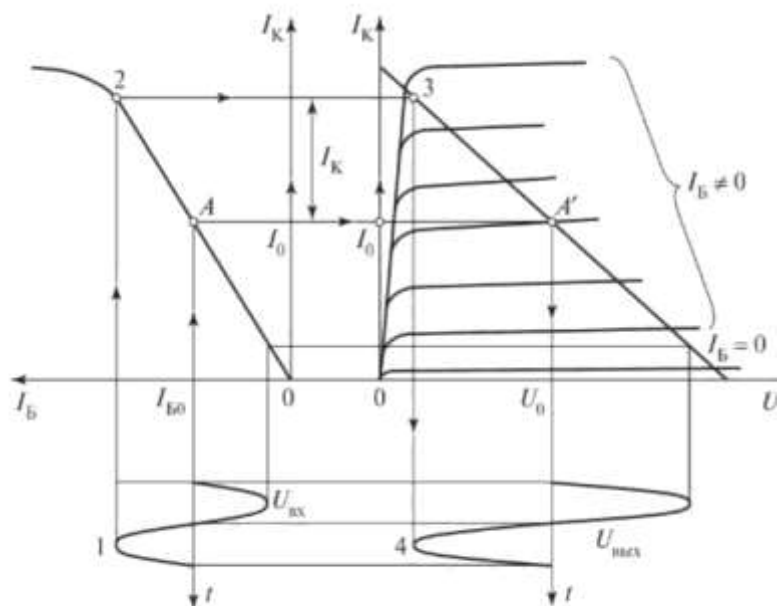


Рис. 13.7. Входные и выходные характеристики

Режим *B*. рабочую точку *A* усилителя выбирают в начале переходной характеристики транзистора (рис. 13.8), когда ток усилительного элемента равен нулю. Эту точку называют *точкой отсечки*. В режиме *B* переменные составляющие тока и напряжения усилительного элемента возникают в положительные полупериоды входного напряжения $u_{вх}$. Выходное напряжение $u_{вых}$ усилительного каскада при синусоидальном входном напряжении имеет форму полусинусоиды, т.е. нелинейные искажения очень большие. Поэтому режим *B* используют, как правило, только в двухтактных усилителях мощности. Режим *B* характеризуется значительно более высоким КПД усилителя по сравнению с режимом *A*, так как ток покоя в этом случае практически равен нулю, а постоянная составляющая тока I_0 усилительного элемента при наличии входного напряжения имеет сравнительно небольшое значение. КПД усилителя, работающего в режиме *B*, может достигать 80%.

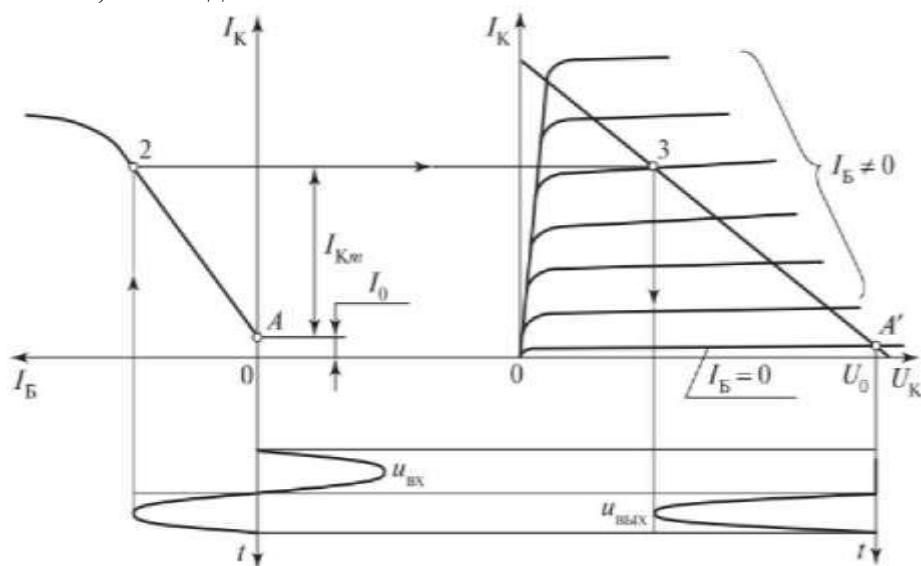


Рис. 13.8. Входные и выходные характеристики усилительного каскада в режиме *B*

Режим *C*: рабочую точку *A* усилителя выбирают за точкой отсечки, и ток в усилительном элементе возникает только в течение некоторой части положительного полупериода входного напряжения (рис. 13.9). Этот режим сопровождается большими искажениями усиленного напряжения, но КПД устройства может быть очень высоким и приближаться к единице. Режим *C* применяют в избирательных усилителях и автогенераторах, которые благодаря наличию

колебательных контуров или других частотно-зависимых устройств выделяют лишь основную гармонику из несинусоидального напряжения, возникающего вследствие больших нелинейных искажений.

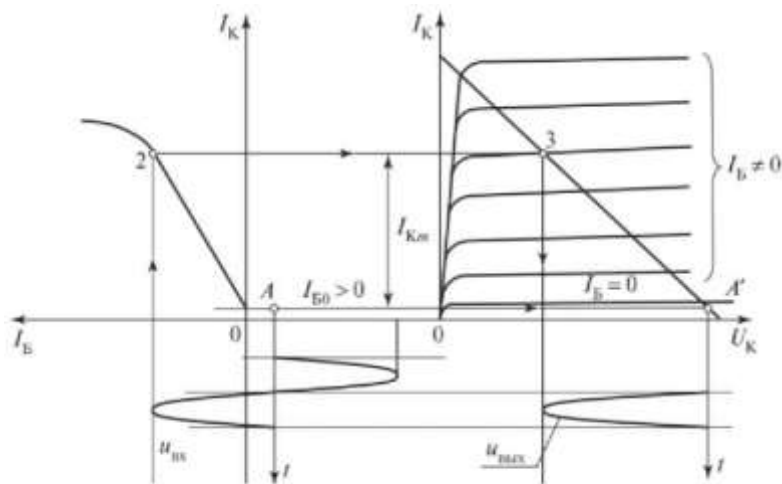
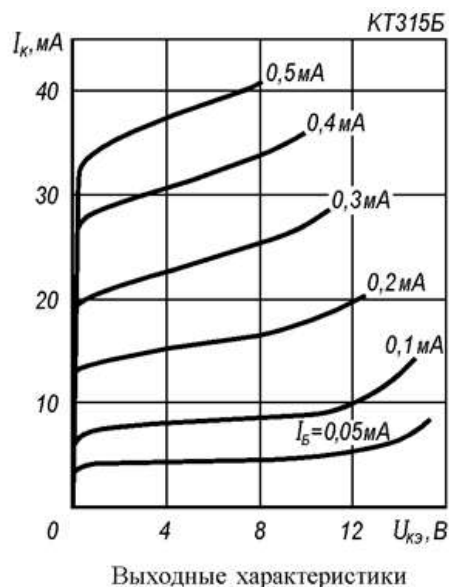
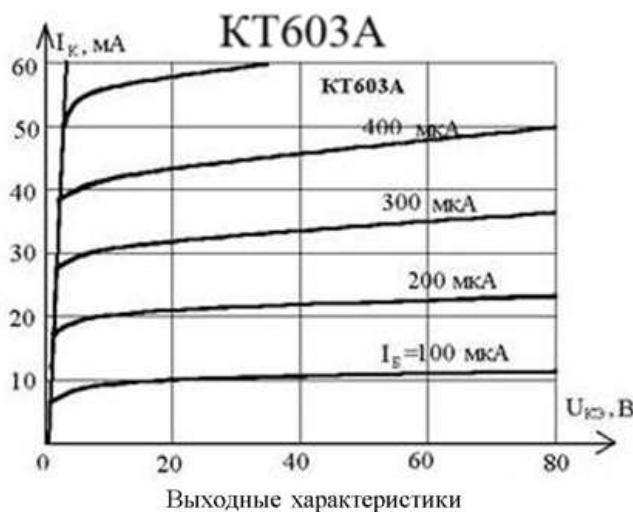


Рис. 13.9. Входные и выходные характеристики усилительного каскада в режиме С

Практическое задание

1. Рассмотрите теоретические сведения по анализу и расчету однокаскадного усилителя.
2. Для своего варианта (1 вариант – транзистор КТ603А, 2 вариант – транзистор КТ315А) выполните расчет усилительного каскада:
 - постройте переходную характеристику (II, рис. 13.5), выберите $E_K = 80$ В для КТ601, $E_K = 16$ В для КТ315;
 - нарисуйте входные и выходные характеристики усилительного каскада в режимах А, В, С. Амплитуду входного сигнала выбирайте произвольно;
 - рассчитайте КПД каскада в каждом режиме.
3. Сделайте выводы по работе.



Форма представления результата

Отчет по работе должен содержать:

- а) наименование работы и цель работы;
- б) исходные данные для расчёта;
- в) результаты расчётов;
- г) выводы по работе.

Критерии оценки:

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.

Тема 1.3 Виды соединений потребителей постоянного тока

Лабораторное занятие №1

Измерение электрических величин и параметров элементов электрических цепей

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

Выполнив работу, Вы будете:

уметь:

- измерять параметры электрической, электронной цепи;
- определять и анализировать основные параметры электрических, электронных схем;

Выполнение лабораторной работы способствует формированию:

ПК 3.1. Диагностировать электронное оборудование и системы автоматического управления.

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

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

Материальное обеспечение:

ПК с установленным ПО Multisim

Порядок выполнения работы

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.

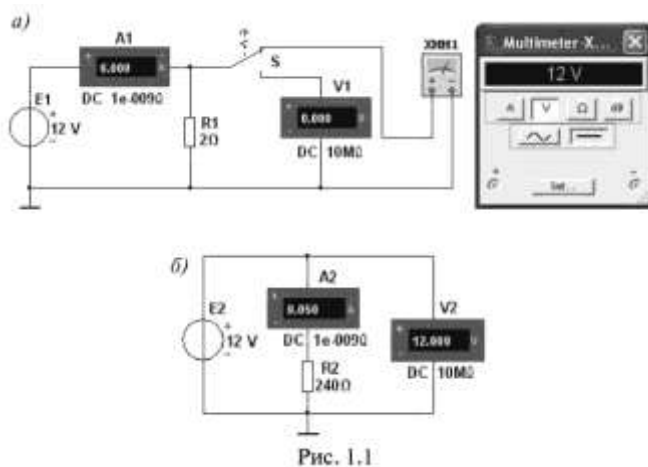
Методы сравнения с мерой — методы, при которых проводится сравнение измеряемой величины и величины, воспроизводимой мерой: например, измерение сопротивления резистора с помощью моста сопротивлений.

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: А — 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.

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 XMM2, в диалоговом окне которого нужно установить режим работы «—» (постоянный ток), измеряемую величину Ω , 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.

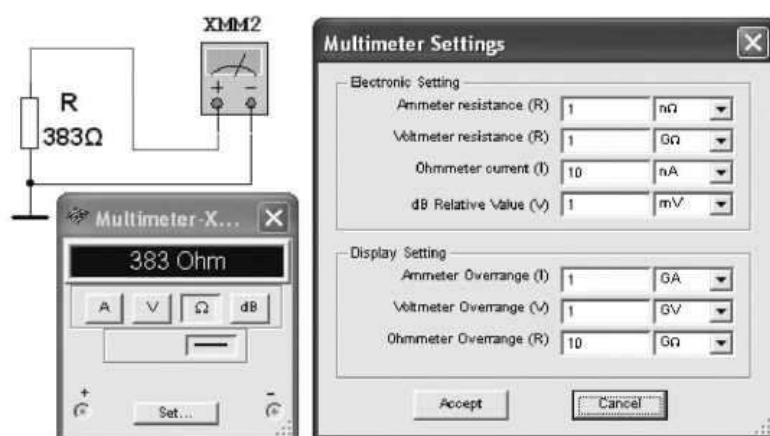


Рис. 1.2

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;

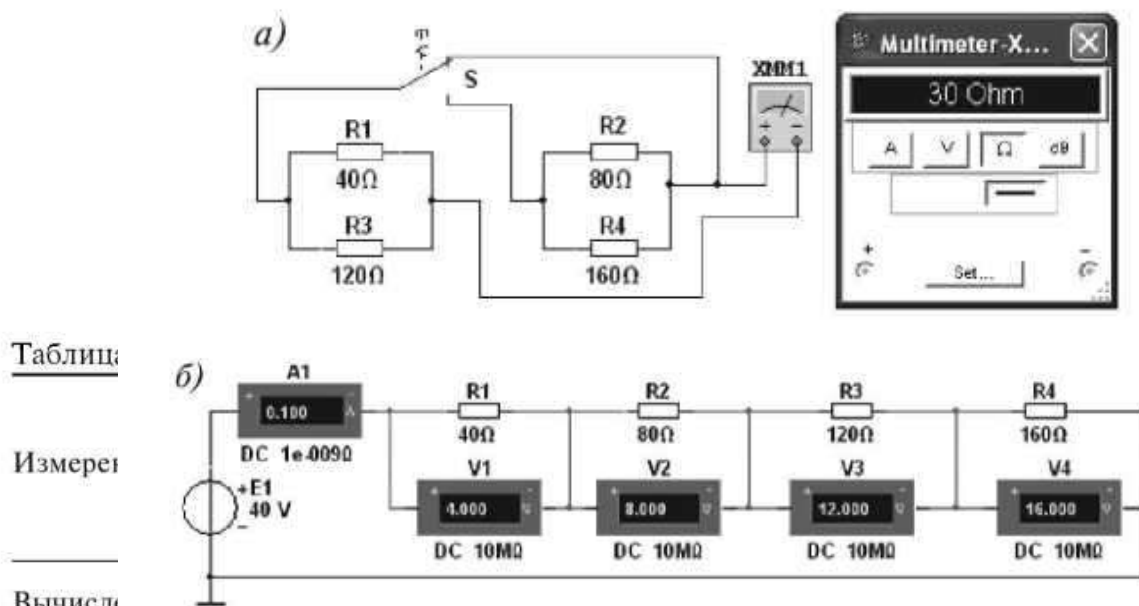
–**обозначить** (щелкая на кнопках **Label** и **Value**) резисторы и установить значения их сопротивлений: $R_1 = N$; $R_2 = 2N$; $R_3 = 3N$; $R_4 = 4N$;

–**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 Ω 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 XMM1 сопротивления разветвлений резисторов. Полученные значения сопротивлений **занести** в табл. 1.1 и **сравнить** со значениями, вычисленными по формулам:

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



Таблиц:

Измерен

Вычисли

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.

Критерии оценки:

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

Оценка «хорошо» ставится, если были 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.

Лабораторное занятие № 2

Исследование линейной цепи с двумя источниками постоянного напряжения

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

Выполнив работу, Вы будете:

уметь:

- измерять параметры электрической, электронной цепи;
- определять и анализировать основные параметры электрических, электронных схем;

Выполнение лабораторной работы способствует формированию:

ПК 3.1. Диагностировать электронное оборудование и системы автоматического управления.

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

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

Материальное обеспечение:

ПК с установленным ПО Multisim

Порядок выполнения работы

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_{BT1} , аккумуляторная батарея с ЭДС E_2 и внутренним сопротивлением R_{BT2} и эквивалентная нагрузка R .

В соответствии с вариантом задания нужно установить значения ЭДС E_1 и E_2 источников энергии, их внутренние сопротивления R_{BT1} и R_{BT2} и сопротивление нагрузки R . При проведении опытов сопротивление потенциометра (нагрузки) R необходимо изменять в

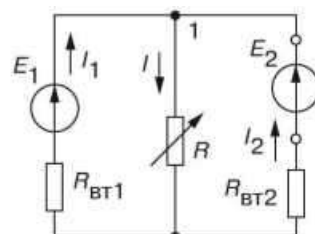


Рис. 3.1

широких пределах. 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:

$$E_1 = R_{\text{см1}} I_1 + RI;$$

$$E_2 = R_{\text{см2}} I_2 + RI$$

Используя формулы Крамера для системы уравнений

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

находим токи

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

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

$$\pm E_1 I_1 \pm E_2 I_2 = RI^2 + R_{\text{см1}} I_1^2 + R_{\text{вт2}} I_2^2$$

(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; $R_{\text{вт1}} = 0,5$ Ом; $E_2 = 12$ В; $R_{\text{вт2}} = 2$ 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.

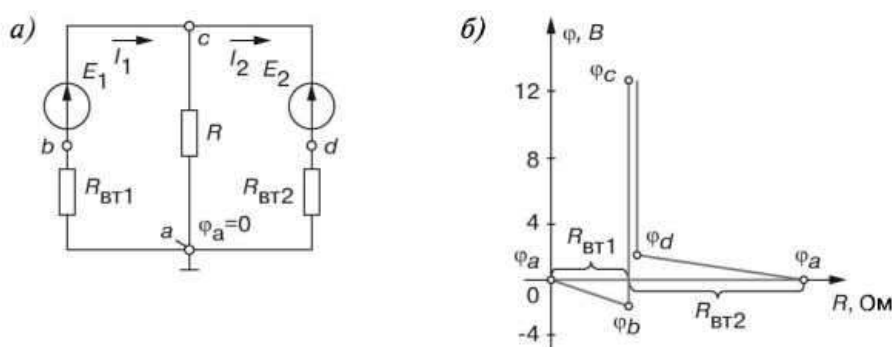


Рис. 3.3

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

Токи ветвей, напряжение U_1 и мощность P	Измерено при сопротивлении нагрузки R [Ом], равном:									Рассчитано при R
	∞ (XX)	$10R$	$5R$	$2R$	R	$\frac{3}{4}R$	$\frac{1}{2}R$	$\frac{1}{4}R$	0 (K3)	
I_1, A										
I_2, A										
I_3, A										
U_1, B										
$P, Вт$										

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.

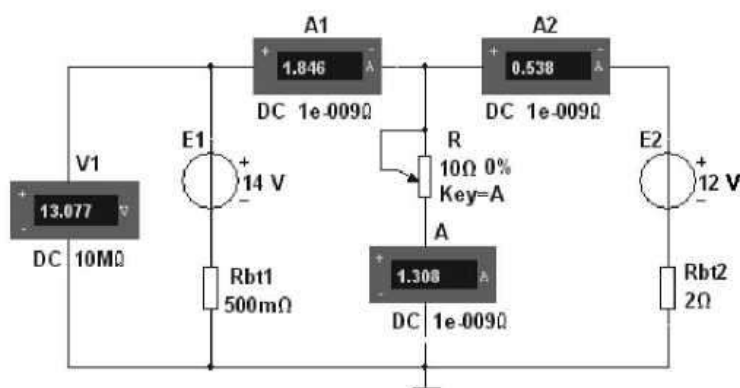


Рис. 3.4

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.

Критерии оценки:

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

Оценка «хорошо» ставится, если были 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.

Тема 1.4. Методы расчета электрических цепей постоянного тока

Лабораторное занятие №3

Исследование разветвленной цепи постоянного тока

Цель работы: экспериментальное исследование линейной разветвленной цепи постоянного тока.

Выполнив работу, Вы будете:

уметь:

- измерять параметры электрической, электронной цепи;
- определять и анализировать основные параметры электрических, электронных схем;

Выполнение лабораторной работы способствует формированию:

ПК 3.1. Диагностировать электронное оборудование и системы автоматического управления.

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

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

Материальное обеспечение:

ПК с установленным ПО Multisim

Порядок выполнения работы

1. Подготовка: формирование расчетной схемы цепи

Задача анализа разветвленной электрической цепи обычно сводится к нахождению токов ветвей и напряжений на различных участках цепи. Руководствуясь обобщенной схемой замещения цепи (рис. 4.1), необходимо вычертить в отчете расчетную схему цепи.

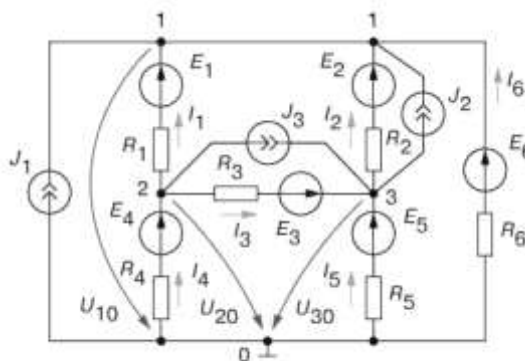


Рис. 4.1

2. Расчет схемы цепи методом узловых напряжений

Для расчета сложных электрических цепей используют метод узловых напряжений (МУН) или метод контурных токов (МКТ). Необходимое число уравнений для расчета цепи этими методами определяют по формулам:

$$N_{\text{МУН}} = Y - 1; \quad N_{\text{МКТ}} = B - (Y - 1),$$

где B и Y – число ветвей (без учета ветвей с источниками тока) и узлов в схеме.

Выполним расчет схемы цепи (рис. 4.2) (вариант $N = 36$, см. табл. 4.1) методом узловых напряжений.

Исходные данные для расчета: $J_1 = 2 \text{ А}$; $E_1 = 10 \text{ В}$; $E_5 = 20 \text{ В}$; $R_1 = 1 \text{ Ом}$; $R_2 = 2 \text{ Ом}$; $R_3 = 3 \text{ Ом}$; $R_4 = 4 \text{ Ом}$; $R_5 = 5 \text{ Ом}$; $R_6 = 6 \text{ Ом}$.

Направление тока J_1 изменено на противоположное, так как в табл. 4.1 (вариант 36) ток задан со знаком «минус» ($J_1 = -2 \text{ А}$).

Топологический анализ схемы показывает, что в ней 7 ветвей, 4 узла, 3 независимых контура и 6 неизвестных токов $I_1, \dots, I_6$. Число независимых уравнений

$$N_{\text{МУН}} = Y - 1 = 4 - 1 = 3.$$

Выбираем базисный узел (узел 0), направляем к нему узловые напряжения U_{10} , U_{20} и U_{30} (см. рис. 4.2) и составляем систему уравнений:

$$\begin{aligned} G_{11}U_{10} - G_{12}U_{20} - G_{13}U_{30} &= -J_1 + G_1E_1; \\ -G_{21}U_{10} + G_{22}U_{20} - G_{23}U_{30} &= -G_1E_1; \\ -G_{31}U_{10} - G_{32}U_{20} + G_{33}U_{30} &= G_5E_5, \end{aligned}$$

где $G_{11} = G_1 + G_2 + G_6 = 1/R_1 + 1/R_2 + 1/R_6 = 1/1 + 1/2 + 1/6 = 1,667 \text{ См}$; $G_{22} = G_1 + G_3 + G_4 = 1/R_1 + 1/R_3 + 1/R_4 = 1/1 + 1/3 + 1/4 = 1,583 \text{ См}$; $G_{33} = G_2 + G_3 + G_5 = 1/R_2 + 1/R_3 + 1/R_5 = 1/2 + 1/3 + 1/5 = 1,033 \text{ См}$ – узловые проводимости; $G_{12} = G_{21} = G_1 = 1 \text{ См}$; $G_{23} = G_{32} = G_3 = 0,333 \text{ См}$; $G_{13} = G_{31} = G_2 = 1/2 = 0,5 \text{ См}$ – межузловые проводимости; $-J_1 + G_1E_1 = -2 + 1 \cdot 10 = 8 \text{ А}$; $-G_1E_1 = -1 \cdot 10 = -10 \text{ А}$; $G_5E_5 = 1/5 \cdot 20 = 4 \text{ А}$ – узловые токи.

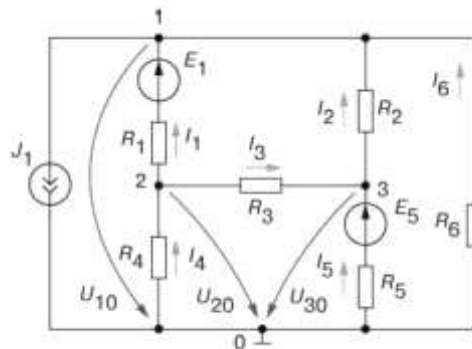


Рис. 4.2

Подставив численные значения в систему уравнений, имеем:

$$\begin{aligned} 1,667U_{10} - 1,0U_{20} - 0,5U_{30} &= 8; \\ -1,0U_{20} + 1,583U_{20} - 0,333U_{30} &= -10; \\ -0,5U_{10} - 0,333U_{20} + 1,033U_{30} &= 4. \end{aligned}$$

Воспользовавшись калькулятором **Elcalc** (рис. 4.3), записываем узловые напряжения в табл. 4.2.



Рис. 4.3

Токи ветвей определим по обобщенному закону Ома (с учетом выбранных условно положительных направлений токов в ветвях (см. рис. 4.2)):

$$\begin{aligned} I_1 &= (E_1 - U_{12})/R_1 = (E_1 - (U_{10} - U_{20}))/R_1 = (10 - (6,028 + 1,16))/1 = 2,812 \text{ A}; \\ I_2 &= U_{31}/R_2 = (U_{30} - U_{10})/R_2 = (6,416 - 6,028)/2 = 0,194 \text{ A}; \\ I_3 &= U_{23}/R_3 = (U_{20} - U_{30})/R_3 = (-1,16 - 6,416)/3 = -2,525 \text{ A}; \\ I_4 &= -U_{20}/R_4 = 1,16/4 = 0,29 \text{ A}; \\ I_5 &= (E_5 - U_{30})/R_5 = (20 - 6,416)/5 = 2,717 \text{ A}; \\ I_6 &= -U_{10}/R_6 = -6,028/6 = -1,005 \text{ A}. \end{aligned}$$

Вычисленные значения токов заносим в табл. 4.2.

Выполним проверку правильности расчета токов, записав первый закон Кирхгофа, например для узла 1 (см. рис. 4.2):

$$-J_1 + I_1 + I_2 + I_6 = -2 + 2,812 + 0,194 - 1,005 \approx 0.$$

Таблица 4.2

	Узловые напряжения			Токи ветвей схемы					
	$U_{10}, \text{ В}$	$U_{20}, \text{ В}$	$U_{30}, \text{ В}$	$I_1, \text{ А}$	$I_2, \text{ А}$	$I_3, \text{ А}$	$I_4, \text{ А}$	$I_5, \text{ А}$	$I_6, \text{ А}$
Рассчитано	6,028	-1,16	6,416	2,812	0,194	-2,525	0,29	2,717	-1,005
Измерено	6,030	-1,155	6,417	2,812	0,193	-2,523	0,289	2,716	-1,005

3. Моделируем схему цепи на рабочем поле программы MS 10 (рис. 4.4). Запускаем программу на исполнение и заносим показания приборов в табл. 4.2. Убеждаемся, что расчетные и экспериментальные данные практически совпадают.

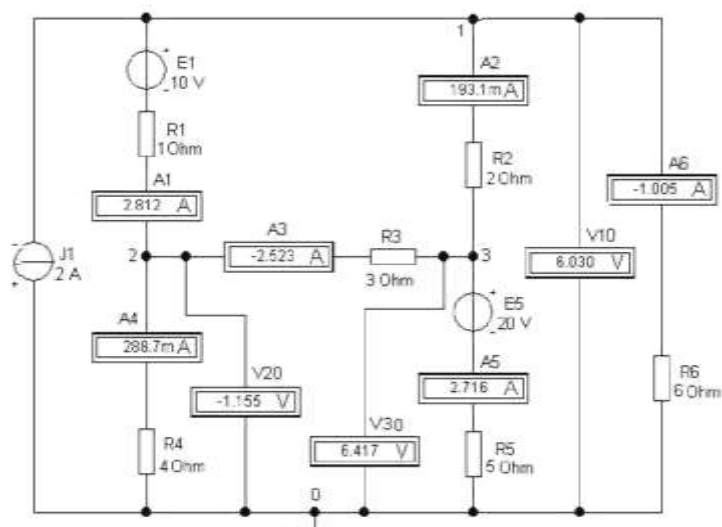


Рис. 4.4

Таблица 4.3

	Узловые напряжения			Токи ветвей схемы					
	$U_{10}, \text{ В}$	$U_{20}, \text{ В}$	$U_{30}, \text{ В}$	$I_1, \text{ А}$	$I_2, \text{ А}$	$I_3, \text{ А}$	$I_4, \text{ А}$	$I_5, \text{ А}$	$I_6, \text{ А}$
Рассчитано									
Измерено									

Содержание отчета

1. Наименование и цель работы.
2. Электрические расчетная и смоделированная на рабочем поле программной среды MS схемы цепи.
3. Расчетные формулы для определения токов ветвей цепи методом узловых напряжений.
4. Таблица с расчетными и экспериментальными данными.
5. Выводы по работе.

Критерии оценки:

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.

Тема 1.6. Электромагнетизм

Лабораторное занятие №4

Исследование магнитной цепи

Цель: научиться выполнять моделирования магнитных цепей постоянного тока в программной среде MS и снятия электромагнитных характеристик.

Выполнив работу, Вы будете:

уметь:

- измерять параметры электрической, электронной цепи;
- определять и анализировать основные параметры электрических, электронных схем;

Выполнение лабораторной работы способствует формированию:

ПК 3.1. Диагностировать электронное оборудование и системы автоматического управления.

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

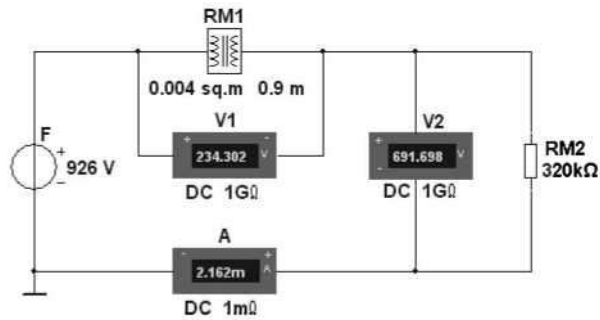


Рис. 15.4

- площадь поперечного сечения сердечника (**Cross-sectional area**) $S_m = 0,004 \text{ м}^2$;
 - длина средней м. с. л. в сердечнике (**Core length**) $l_m = 0,9 \text{ м}$;
 - число координатных точек таблицы кривой намагничивания $B(H)$ (**Number of co-ordinate**) 10;
 - напряженность магнитного поля в первой точке (**Magnetic field co-ordinate 1**) $H_1 = 0$;
 - магнитная индукция в первой точке (**Flux density co-ordinate 1**) $B_1 = 0$;
 - напряженность магнитного поля во второй точке (**Magnetic field co-ordinate 2**) $H_2 = 100 \text{ А}$;
 - магнитная индукция во второй точке (**Flux density co-ordinate 2**) $B_2 = 0,25 \text{ Вб/м}^2$;
-
- напряженность магнитного поля в десятой точке (**Magnetic field co-ordinate 10**) $H_{10} = 5000 \text{ А}$;
 - магнитная индукция в десятой точке (**Flux density co-ordinate 10**) $B_{10} = 1,6 \text{ Вб/м}^2$.

Таблица 15.1

k	Магнитная индукция B, Тл, при напряженности магнитного поля H, кА/м									
	H = 0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,8	1,0	2,5	5,0
1	B = 0	1,1	1,34	1,42	1,44	1,46	1,49	1,52	1,75	1,78
2	B = 0	0,42	0,62	0,85	1,12	1,16	1,18	1,29	1,45	1,56
3	B = 0	0,33	0,58	0,75	0,89	1,0	1,17	1,25	1,5	1,62
4	B = 0	0,25	0,45	0,6	0,73	0,84	1,02	1,12	1,38	1,6

Задание 2.

Собрать схему магнитной цепи (рис. 15.5a) на рабочем поле программной среды MS 10 для снятия вебер-амперной характеристики $\Phi(i)$ или характеристики $B\delta(i)$ — зависимости магнитной индукции $B\delta = \Phi/S\delta$ в зазоре от тока i катушки. Для этого:

- **заменить** источник постоянного напряжения F (см. рис. 15.4) генератором линейно изменяющегося напряжения **XFG1** и включить его в схему замещения катушки (левый контур, рис. 15.5a), содержащей резистор **Re** с электрическим сопротивлением обмотки $R_e = R_\Sigma$, зависимый источник напряжения **INUT1**, управляемый током $i = U_\Sigma/R_\Sigma$ катушки, с коэффициентом передачи, равным 1, и зависимый источник напряжения **INUT2**, управляемый током $i = U_\Sigma/R_\Sigma$ катушки, с коэффициентом передачи, равным числу витков w катушки. При этом в схеме замещения магнитной цепи в правом контуре (см. рис. 15.5a) действует МДС $F = wi$;
- для наблюдения графика зависимости $B\delta(i)$ на экране осциллографа на вход его канала **A** **подать** напряжение, численно равное току / катушки от источника **INUT1**, а на вход канала **B** — напряжение, пропорциональное магнитной индукции B , снимаемое с выходных зажимов зависимого источника напряжения **INUT3**, управляемого током — магнитным потоком

$$\Phi = F/(R_{\delta} + R_m) = wI/(R_{\delta} + R_m)$$

с коэффициентом передачи, равным $1/S_m$;

- **установить** параметры элементов схемы, рассчитанные или полученные при выполнении предыдущих заданий, и режимы функционирования источников питания и осциллографа (см. рис. 15.5а и б для примера, рассмотренного в п. 3 раздела «Теоретические сведения...»);
- **запустить** программу MS10. **Установить** режим В/А работы осциллографа, см. рис. 15.5в). **Скопировать** график зависимости $B(i)$ в отчет и **определить** ток в катушке, при котором магнитная индукция в зазоре в 1,5 раза больше значения индукции, рассчитанного в п. 3 раздела «Теоретические сведения...»;

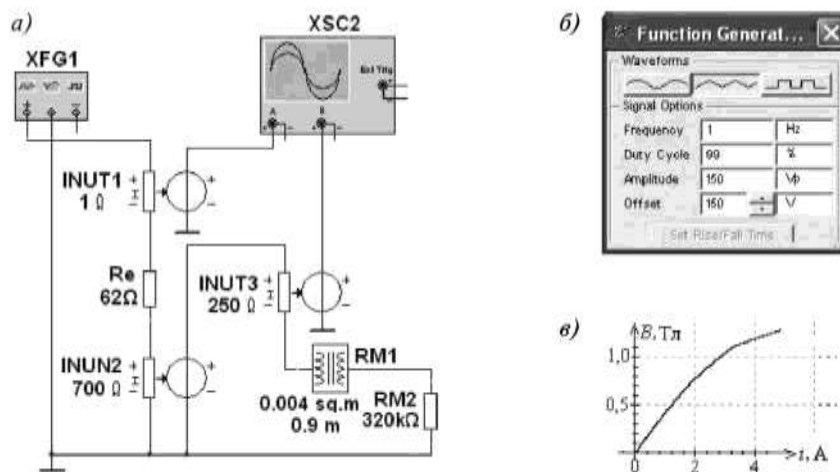


Рис. 15.5

- **определить** диапазон допустимых значений тока, в пределах которого зависимость $B(i)$ катушки с ферромагнитным сердечником можно считать линейной;
- **установить** режим Y/T работы осциллографа (рис. 15.6 справа), его курсор 1 на значении тока катушки, рассчитанного в п. 3 раздела «Теоретические сведения...», и определить значение магнитной индукции, а курсор 2 – на значении

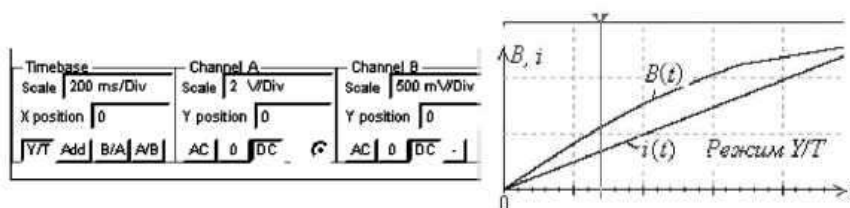


Рис. 15.6

тока, при котором магнитная индукция в зазоре увеличилась в 1,5 раза по сравнению с расчетным значением;

- **скопировать** графики зависимостей $B(t)$ и $i(t)$ на страницу отчета.

Содержание отчета

1. Наименование и цель работы.
2. Электрические расчетная и смоделированная на рабочем поле программной среды MS схемы цепи.
3. Таблица с расчетными и экспериментальными данными, графики полученных зависимостей.
4. Выводы по работе.

Критерии оценки:

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.

Лабораторное занятие № 5

Измерение угла сдвига фаз

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

Выполнив работу, Вы будете:

уметь:

- измерять параметры электрической, электронной цепи;
- определять и анализировать основные параметры электрических, электронных схем;

Выполнение лабораторной работы способствует формированию:

ПК 3.1. Диагностировать электронное оборудование и системы автоматического управления.

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

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

Материальное обеспечение:

ПК с установленным ПО Multisim

Порядок выполнения работы

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.

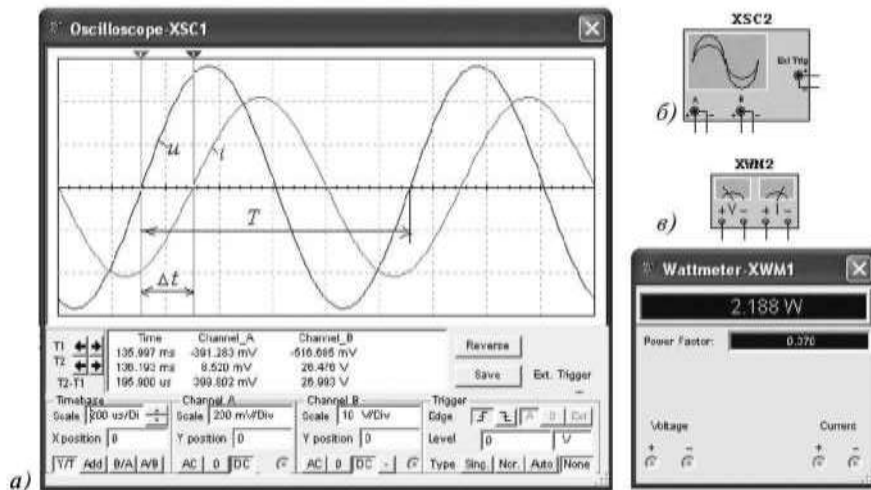


Рис. 1.3

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 *a*).

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 .

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 AC (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;

–**здать** 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. 1.3а) 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 **Expand**), а по оси времени укладывалось два-три периода колебания напряжений;

- управляющую переключателем клавишу S клавиатуры;
- значение коэффициента передачи **INUT** $\kappa = 1$ Ом;
- управляемый контакт переключателя S в нижнее положение, то есть подключить R_1L - ветвь к источнику е.

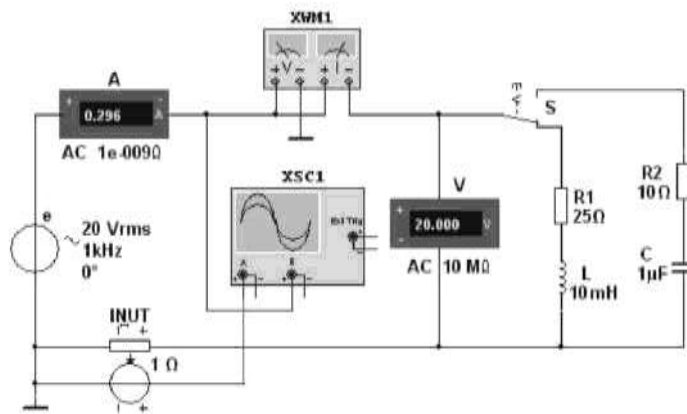


Рис. 1.5

Занустить 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. 1.3а), что ток i_1 в R_1L -ветви *отстаёт* по фазе от напряжения u на угол $\varphi_1 = \arctg(X_L/R_1) = \arccos(P_1/UI_1)$, 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 е. 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 $\varphi_2 = \arctg(-X_C/R_2) = -\arccos(P_2/UI_2)$, где P_2 — показание ваттметра. В тетрадь записать показания ваттметра, зарисовать осциллограммы на с экрана 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	φ , 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.

Критерии оценки:

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

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

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

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

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

Лабораторное занятие № 6

Исследование неразветвленной цепи синусоидального тока

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

Выполнив работу, Вы будете:

уметь:

- измерять параметры электрической, электронной цепи;
- определять и анализировать основные параметры электрических, электронных схем;

Выполнение лабораторной работы способствует формированию:

ПК 3.1. Диагностировать электронное оборудование и системы автоматического управления.

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

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

Материальное обеспечение:

ПК с установленным ПО 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 $u = U_m \sin(2\pi ft + \Psi_u)$, то есть $X_L = \omega L = 2\pi fL$ и $X_C = 1/(\omega C) = 1/(2\pi fC)$,

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

• в ветвях с реактивными элементами L и C между напряжением и током возникает *фазовый сдвиг* $\varphi = \Psi_u - \Psi_i$ — где — начальная фаза тока (рис. 6.1). Угол φ (в рад или град) — алгебраическая величина, изменяющаяся в диапазоне от -90° ($-\pi/2$ рад) до $+90^\circ$ ($+\pi/2$ рад). Знак и величина угла зависят от типа и величины параметров последовательно соединенных элементов R , L и C ветви и частоты f напряжения.

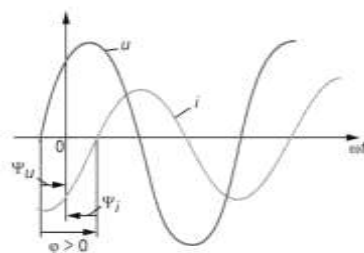


Рис. 6.1

В табл. 6.1 представлены типовые ветви схемы цепи синусоидального тока, векторные диаграммы напряжений и токов ветвей и углы сдвига фаз φ 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 $\varphi = \arctg(X_L - X_C)/R$.

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 φ ветвей схемы цепи определяют косвенным методом, измеряя временные интервалы на осциллограммах, то есть $|\varphi| = 360\Delta t/T$,

где Δt — временной интервал (рис. 6.2) между нулевыми значениями синусоид напряжения (синего цвета) и тока (красного цвета); угол φ 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.

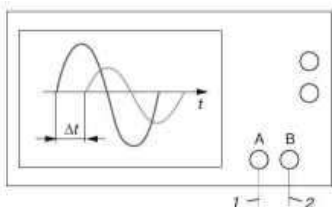


Рис. 6.2

При измерении интервала времени Δt 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 $P = UI \cos \varphi$, потребляемую приемником, так и коэффициент мощности (**Power Factor**) $\cos \varphi = P/UI$, где U и I — напряжение и ток потребителя энергии. Тогда модуль угла сдвига фаз между напряжением и током $\varphi = \arccos(P/UI)$. Знак угла φ определяют косвенным методом, например подключая параллельно нагрузке конденсатор: если при этом коэффициент мощности $\cos \varphi$ увеличился (угол φ уменьшился), то угол φ 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; $\Psi_u = 0$;

—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 клавишами А, В, С, **Д**, Е и **Ф** клавиши А, В, С, **Д**, Е и **Ф** клавиатуры.
Скопировать схему (рис. 6.3) в отчет.

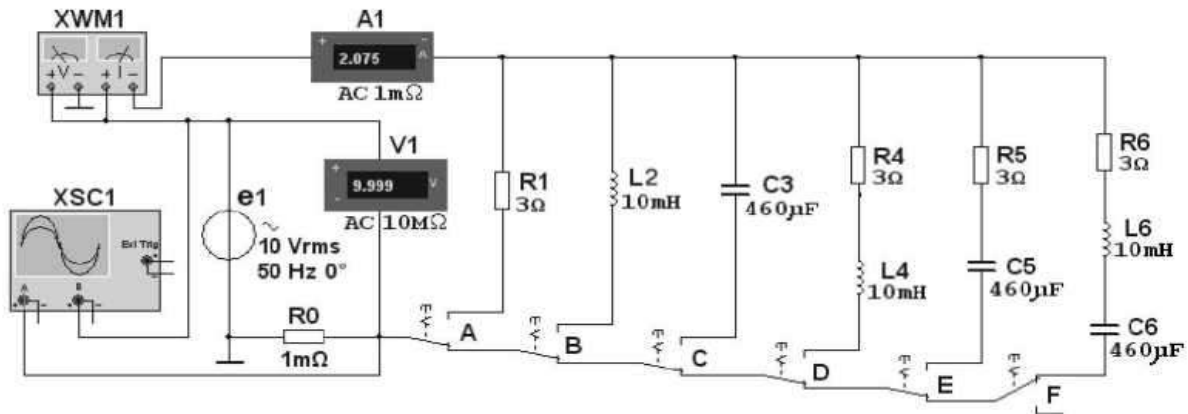


Рис. 6.3

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 **А** 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 $\varphi = 0$. 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), заносить 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 $\varphi = 90^\circ$. 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 заносить 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 $\varphi = 90^\circ$.

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 φ **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 $\varphi_4 = \arctg(X_{L4}/R_4)$; зарисовать на страницу отчета осциллограммы напряжения и тока RL -ветви;

Таблица 6.3

Ветвь	Измерено			Рассчитано		
	U, В	I, А	φ , град	$Z = U/I$, Ом	$R = Z\cos\varphi$, Ом	$X = Z\sin\varphi$, Ом
R_4L_4						
R_5C_5						
$R_6L_6C_6$						

–**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 $\varphi_5 = \arctg(-X_C/R_5)$;

–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 φ_6 между напряжением и током зависит от величины реактивного сопротивления $X_6 = X_{L6} - X_{C6}$.

Если при частоте $f = 50$ Гц угол $\varphi_6 = \arctg(X_{L6} - X_{C6})/R_6 > 0$, то, уменьшив частоту до 20—30 Гц, угол φ_6 изменит свой знак, и наоборот, если при $f = 50$ Гц угол $\varphi_6 < 0$, то, увеличив частоту f до 100—120 Гц, ток будет отставать по фазе от напряжения, при этом угол $\varphi_6 > 0$.

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 $\varphi = -360\Delta t/T \approx -360 \cdot 2,847/4 \cdot 5 \approx -51,3^\circ$.

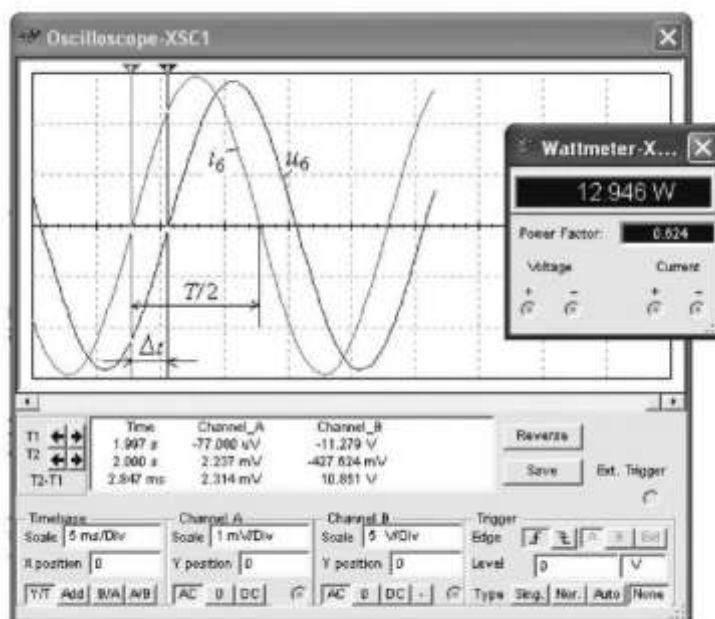


Рис. 6.4

Воспользовавшись показанием ваттметра, находим модуль угла $|\varphi_6| = \arccos(0,624) = 51,4^\circ$.

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.

Критерии оценки:

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.

Лабораторное занятие №7

Исследование резонансов в цепях переменного тока

Цель: исследование явления резонанса в последовательном и параллельном колебательном контурах.

Выполнив работу, Вы будете:

уметь:

- измерять параметры электрической, электронной цепи;
- определять и анализировать основные параметры электрических, электронных схем;

Выполнение лабораторной работы способствует формированию:

ПК 3.1. Диагностировать электронное оборудование и системы автоматического управления.

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

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

Материальное обеспечение:

ПК с установленным ПО Multisim

Теоретические сведения.

Резонанс напряжений в цепи переменного тока возникает при последовательном соединении ёмкостной и индуктивной нагрузки. Условием возникновения резонанса является равенство частоты источника питания резонансной частоте, а, следовательно, и индуктивного и ёмкостного сопротивлений. В режиме резонанса полное сопротивление цепи принимает минимальное значение, а ток в цепи — максимальное.

Резонанс токов возникает в электрической цепи при параллельном соединении ёмкостного и индуктивного сопротивлений и равенстве собственной частоты электрической цепи и частоты подключённого напряжения. Поскольку эти сопротивления подключены параллельно, то реактивные токи (индуктивный и ёмкостный) в каждый момент времени будут равны по абсолютному значению и противоположны по направлению.

Явление резонанса может носить как положительный, так и отрицательный характер. Например, любой радиоприёмник имеет в своей основе колебательный контур, который с помощью изменения индуктивности или ёмкости настраивают на нужную радиоволну. С другой стороны, явление резонанса может привести к скачкам напряжения или тока в цепи, что в свою очередь приводит к аварии

Задание 1. Найти параметры элементов схем контуров (рис. 8.8) с округлением до десятичного знака по формулам:

$$E = \text{int}(10/\sqrt{N}), B [E \in (10, \dots, 4), B]; e = \sqrt{2} E \sin(2\pi f t), f = (30, \dots, 120) \text{ Гц},$$

где N — номер записи фамилии студента в учебном журнале группы;

$$R_1 = \text{int}(10/\sqrt{N}), \text{ Ом}; [R \in 10, \dots, 2 \text{ Ом}]; R_2 = R_3 = 0,2 \text{ Ом};$$

$$L_1 = \text{int}(100/\sqrt{N}), \text{ мГн}; [L_1 \in 100, \dots, 18 \text{ мГн}];$$

$$C_1 = C_2 = 100 + 10N, \text{ мкФ} [C \in 110, \dots, 400 \text{ мкФ}];$$

$$L_2 = \text{int}(25/\sqrt{N}), \text{ мГн} [L_2 \in 25, \dots, 4,6 \text{ мГн}]$$

и занести их в табл. 8.1.

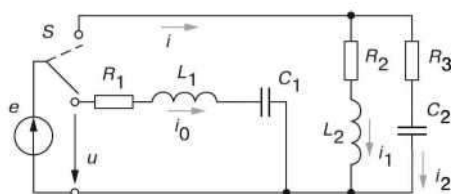


Рис. 8.8

Таблица 8.1

Вариант N = ...	
$R_1 L_1 C_1$ -контур	$R_2 L_2 R_3 C_2$ -контур
$E = \dots$, В	$E = \dots$, В
$R_1 = \dots$, Ом	$R_2 = R_3 = \dots$, Ом
$L_1 = \dots$, мГн	$L_2 = \dots$, мГн
$C_1 = \dots$, мкФ	$C_2 = \dots$, мкФ

Рассчитать напряжения на элементах схемы цепи, токи ветвей и углы сдвига фаз φ_k колебательных контуров при резонансных частотах:

$$f_{pH} = 1/2\pi\sqrt{L_1 C_1} \text{ и } f_{pT} = (1/2\pi\sqrt{L_2 C_2})\sqrt{(L_2/C_2 - R_2^2)/(L_2/C_2 - R_3^2)}$$

и занести их в табл. 8.2.

Задание 2. По данным табл. 8.2 **настроить** векторные диаграммы напряжений и токов схем замещения контуров в режиме резонанса. Убедиться, что угол φ между вектором напряжения $\underline{U} = \underline{E}$ и вектором тока $\underline{I}_0$ в последовательном колебательном контуре и угол φ между вектором $\underline{U}$ и вектором тока $\underline{I}$ в параллельном колебательном контуре близки к нулю.

Задание 3. Рассчитать параметры колебательных контуров:

- добротность $Q_{pH} = U_C/U$ последовательного контура и добротность $Q_{pT} = I_2 \sin \varphi_2 / I$ параллельного контура;

Задание 4. Собрать на рабочем поле среды MS 10 схему (рис. 8.9) для исследования резонансных явлений в колебательных контурах и установить параметры ее элементов (см. табл. 8.1), а также сопротивления $R_a = 1$ мОм амперметров A1, A2 и A3 и $R_v = 10$ МОм вольтметров V, V1 и V2 и режим работы AC измерительных приборов. **Скопировать** схему цепи на страницу отчета.

В нижнем положении переключателя S формируется последовательный колебательный контур, а в верхнем — параллельный. С помощью ваттметра и осциллографа, включенных на входе цепи, удобно наблюдать за характером изменения потребляемой контуром активной мощности P и угла сдвига фаз φ при изменении частоты/питающего контур напряжения u .

Модуль угла $|\varphi| = \arccos(P/UI)$, а знак определяется по расположению осциллограмм напряжения u и тока i на экране осциллографа: если ток i опережает по фазе напряжение u , то угол φ берется со знаком «минус», а если ток i отстает по фазе от напряжения u , то угол имеет знак «плюс».

Ступенчато изменяя частоту ЭДС источника e от 30 Гц до 140 Гц, **снимать** показания приборов и **вносить** их в табл. 8.2.

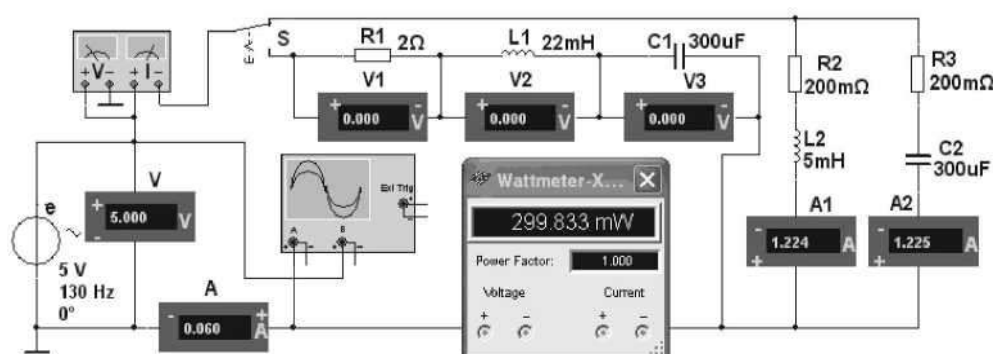


Рис. 8.9

Таблица 8.2

Поло- жение ключа S	Ток, напря- жение, угол φ	Рассчитано		Измерено										
		Частота		Частота f , Гц										
		f_{PH} , Гц	f_{PT} , Гц	30	40	50	60	70	80	90	110	130	140	f_p
Нижнее	I_0 , А													
	U_R , В													
	U_L , В													
	U_C , В													
Верхнее	I_1 , А													
	I_2 , А													
	I , А													
	φ_1 , град			Примечание: $\varphi_1 = \arctg(X_{L2}/R_2)$; $\varphi_2 = -\arctg(X_{C2}/R_3)$.										
	φ_2 , град													

Задание 5. Используя данные эксперимента, **построить** амплитудно-частотные характеристики токов и напряжений. При этом на одном рисунке разместить графики $I_0(f)$; $U_R(f)$; $U_L(f)$; $U_C(f)$, а на втором - графики $I(f)$; $I_1(f)$ и $I_2(f)$.

Отметить на графиках координаты точек напряжений и токов при резонансных режимах. На первом рисунке провести пунктирную горизонтальную линию, соответствующую масштабу входного напряжения U .

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 параметров колебательных контуров, векторные диаграммы напряжений и токов, графики резонансных кривых.
4. Таблицы с расчетными и экспериментальными данными.
5. Выводы по работе.

Критерии оценки:

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.

Лабораторное занятие №8 Исследование трансформатора

Цель: экспериментальное исследование и проверка работы трансформатора.

Выполнив работу, Вы будете:

уметь:

- измерять параметры электрической, электронной цепи;
- определять и анализировать основные параметры электрических, электронных схем;

Выполнение лабораторной работы способствует формированию:

ПК 3.1. Диагностировать электронное оборудование и системы автоматического управления.

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

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

Материальное обеспечение:

ПК с установленным ПО Multisim

Теоретические сведения.

Индуктивная связь катушек обуславливается связью их магнитных потоков. Взаимно индуктивная связь проявляется в наведении ЭДС e_{M2} (называемой *ЭДС взаимоиндукции*), например, в катушке L_2 при изменении тока i_1 в другой близко расположенной катушке L_1 . Цепи, в которых наводятся ЭДС взаимоиндукции, называют *индуктивно связанными цепями*.

Задание 1. Собрать на рабочем поле среды MS схему (рис. 9.4) для определения индуктивностей L_1 и L_2 обмоток идеального воздушного трансформатора TV1, имеющегося в библиотеке виртуальных компонентов, коэффициента связи k_M двух катушек и их взаимной индуктивности M .

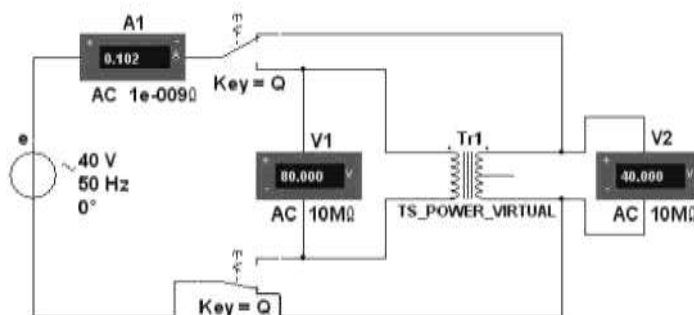


Рис. 9.4

С этой целью:

- **установить** значение ЭДС $E = E_m/\sqrt{2}$ источника синусоидального напряжения $e = E_m \sin(2\pi \times 50t)$; $E_m = \text{int}(35/N) + 5$, В; $f = 50$ Гц; $\Psi_e = 0$, где N – номер записи фамилии студента в учебном журнале группы;
- **оставить** без изменения (заданные по умолчанию) внутреннее сопротивление $R_A = 1$ нОм амперметра A1 и $R_V = 10$ МОм вольтметров V1 и V2, **задать** режим АС работы измерительных приборов. **Сконировать** схему на страницу отчета;
- **подключить** посредством ключа Q вначале к зажимам 1–1' (к первичной обмотке) трансформатора, а затем к зажимам 2–2' (к вторичной обмотке) источник e (рис. 9.4); **снять** показания приборов и **занести** их в табл. 9.1;

Таблица 9.1

Номер катушки	Измерено			Рассчитано				
	I , мА	U_1 , В	U_2 , В	X_L , Ом	$k_M = \sqrt{k_{M1}k_{M2}} = 1$	L , Гн	X_M , Ом	M , Гн
1				$X_{L1} =$	$k_{M1} =$	$L_1 =$		
2				$X_{L2} =$	$k_{M2} =$	$L_2 =$		

Задание 2. Собрать на рабочем поле среды MS 10 схему (рис. 9.5) для исследования реального воздушного трансформатора с последовательно соединенными обмотками.

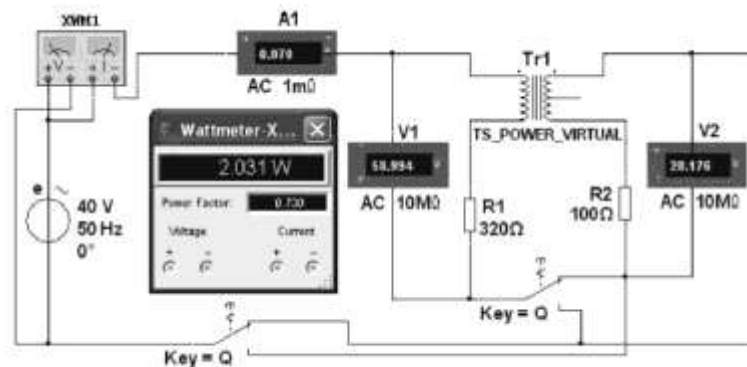


Рис. 9.5

Для этого:

- **установить** значение ЭДС $E = E_m/\sqrt{2}$, вычисленное в задании 1;
- **здать** сопротивления резисторов $R_1 \approx 0,2X_{L1}$, Ом и $R_2 \approx 0,2X_{L2}$, Ом, где X_{L1} и X_{L2} – рассчитанные значения индуктивных сопротивлений обмоток трансформатора (см. табл. 9.1);
- **скопировать** схему на страницу отчета;
- **установить** ключи Q и S вначале в нижние положения (согласное включение обмоток трансформатора), а затем в верхние (встречное их включение);
- **включить** программу моделирования и занести показания приборов в табл. 9.2. Угол сдвига фаз φ между напряжением и током на входе цепи найти по формуле $\varphi = \arccos(\text{PowerFactor})$, где $\text{PowerFactor} = \cos\varphi$ – коэффициент мощности цепи (см. интерфейс ваттметра XWM1);
- **рассчитать** углы сдвига фаз $\varphi_1 = \arctg(X_{L1}/R_1)$ и $\varphi_2 = \arctg(X_{L2}/R_2)$ обмоток трансформатора и их взаимную индуктивность M . При вычислении взаимной индуктивности M использовать соотношения (9.2) и (9.3);
- **сравнить** вычисленное значение взаимной индуктивности M со значениями M , найденными в задании 1 (см. табл. 9.1);
- по результатам измерений и расчетов **норостроить** векторные диаграммы напряжений и тока схемы рис. 9.2а при согласном и при встречном соединениях обмоток трансформатора, воспользовавшись соотношениями (9.1) при $I_1 = I_2$, $\underline{U} = \underline{U}_1 + \underline{U}_2$.

Таблица 9.2

Включение обмоток	Измерено					Рассчитано			
	I , мА	U , В	U_1 , В	U_2 , В	φ , град	φ_1 , град	φ_2 , град	M , Гн	
Согласное									
Встречное									

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 определения параметров индуктивно связанных катушек воздушного трансформатора, векторные диаграммы напряжений и токов при согласном и встречном включениях катушек.
4. Таблицы с расчетными и экспериментальными данными.
5. Графики передаточной характеристики по напряжению воздушного трансформатора при

разных нагрузках.

6. Выводы по работе.

Критерии оценки:

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.

Тема 1.10

Трёхфазные электрические цепи

Лабораторное занятие № 9

Исследование трехфазной цепи

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

Выполнив работу, Вы будете:

уметь:

- измерять параметры электрической, электронной цепи;
- определять и анализировать основные параметры электрических, электронных схем;

Выполнение лабораторной работы способствует формированию:

ПК 3.1. Диагностировать электронное оборудование и системы автоматического управления.

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

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

Материальное обеспечение:

ПК с установленным ПО Multisim

Порядок выполнения работы

Краткие теоретические сведения

Схемы соединения фаз источника и приемника

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

Трёхфазную 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° :

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

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).

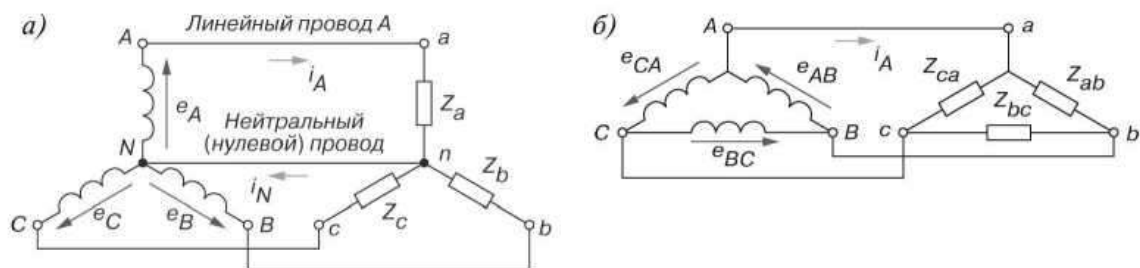


Рис. 11.1

Соединение фаз приемника звездой

На рис. 11.2а изображена трехфазная цепь, у которой источник и приемник соединены звездой с *нейтральным (нулевым) проводом* (четырепроводная 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)

$$I_N = I_a + I_b + I_c$$

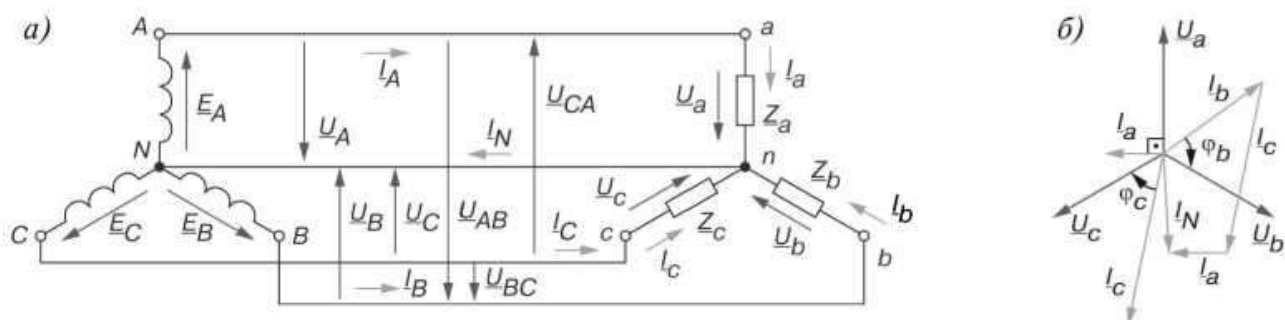


Рис. 11.2

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 комплексных 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*

$$\underline{U}_{nN} = \frac{\underline{E}_A \underline{Y}_a + \underline{E}_B \underline{Y}_b + \underline{E}_C \underline{Y}_c}{\underline{Y}_a + \underline{Y}_b + \underline{Y}_c},$$

где $\underline{Y}_a = 1/\underline{Z}_a$; $\underline{Y}_b = 1/\underline{Z}_b$; $\underline{Y}_c = 1/\underline{Z}_c$ — 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 $U_{\text{ф}} = U_{\text{л}}$, а фазные токи при *неравномерной* нагрузке:

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

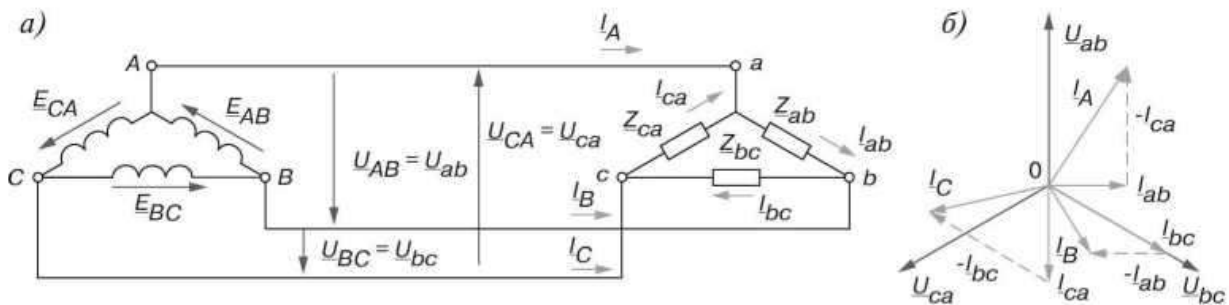


Рис. 11.3

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 ($Z_{ab} = jX_{ab}$, $Z_{bc} = R_{bc}$, $Z_{ca} = R_{ca} - jX_{ca}$) представлена на рис. 11.3б.

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

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

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

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

а соотношение между ними

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

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.

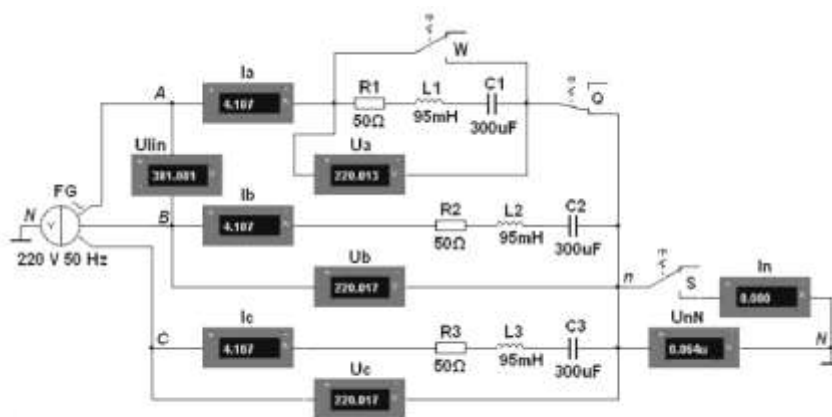


Рис. 11.4

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 AC 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 AC 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):

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

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

варианта.

После проверки собранной схемы и установки параметров элементов **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 ϕ_a , ϕ_b , ϕ_c определить по формуле

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

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

Таблица 11.1

Вид цепи	Нагрузка	Измерено							
		$U_{\Delta},$ В	$U_{a^*},$ В	$U_{b^*},$ В	$U_{c^*},$ В	$U_{\Delta N},$ В	$I_{a^*},$ А	$I_{b^*},$ А	$I_{c^*},$ А
Четырех-проводная	Равномерная (ключи S и Q замкнуты, W – разомкнут): $Z_{\phi} = R \pm jX$								
	Неравномерная (ключи S и Q замкнуты, W – разомкнут): $Z_a = R$; $Z_b = \pm jX$; $Z_c = R \pm jX$								
Трех-проводная	Равномерная (ключ Q замкнут, S и W – разомкнуты): $Z_{\phi} = R \pm jX$								–
	Неравномерная (ключ Q замкнут, S и W – разомкнуты): $Z_a = R$; $Z_b = \pm jX$; $Z_c = R \pm jX$								–
	Неравномерная (ключи S , Q и W разомкнуты): обрыв фазы a ($Z_a = \infty$ (XX)); $Z_b = \pm jX$; $Z_c = R \pm jX$								–
	Неравномерная (ключи W и Q замкнуты, S – разомкнут): $Z_a = 0$ (КЗ фазы a); $Z_b = \pm jX$; $Z_c = R \pm jX$								–

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.

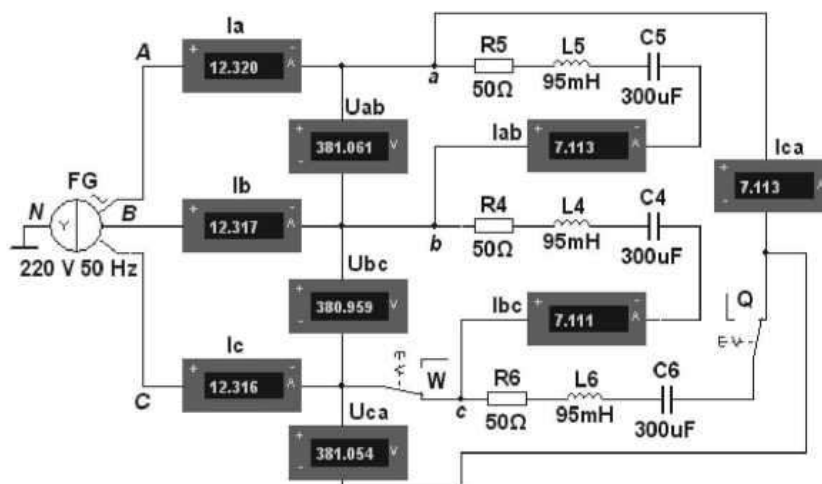


Рис. 11.5

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 $\varphi_\phi = \pm \arctg(X_\phi/R_R)$. 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	$I_A,$ В	$I_B,$ В	$I_C,$ А	$I_{ab},$ А	$I_{bc},$ А	$I_{ca},$ А
Трехпроводная: звезда-треугольник	Равномерная (ключи Q и W замкнуты): $Z_\phi = R \pm jX$									
	Неравномерная (ключи Q и W замкнуты): $Z_{ab} = R \pm jX; Z_{bc} = \pm jX; Z_{ca} = R$									
	Неравномерная (ключ Q разомкнут, W – замкнут): $Z_{ab} = R \pm jX; Z_{bc} = \pm jX; Z_{ca} = \infty$ (XX)									
	Неравномерная (ключ Q замкнут, W – разомкнут): $Z_{ab} = R \pm jX; Z_{bc} = \pm jX; Z_{ca} = R$; обрыв провода <i>C</i>									

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.

Критерии оценки:

Оценка «отлично» ставится, если эксперимент проведен, 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 проведен, приведено неполное выполнение заданий.

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

Тема 1.12 Электрические машины постоянного и переменного тока

Лабораторное занятие №10

Исследование двигателя постоянного тока

Цель: снять и построить механическую и рабочие характеристики электродвигателя постоянного тока (ДПТ), изучить модель ДПТ параллельного возбуждения и исследовать ее работу в переходных режимах.

Выполнив работу, Вы будете:

уметь:

- измерять параметры электрической, электронной цепи;
- определять и анализировать основные параметры электрических, электронных схем;

Выполнение лабораторной работы способствует формированию:

ПК 3.1. Диагностировать электронное оборудование и системы автоматического управления.

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

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

Материальное обеспечение:

ПК с установленным ПО Multisim

Теоретические сведения

Двигатели постоянного тока до сих пор находят широкое применение, хотя они значительно дороже и менее надежны, чем асинхронные и синхронные. *Преимущество ДПТ* — возможность плавного и экономичного регулирования в широком диапазоне частоты вращения вала и создания большого пускового момента при относительно небольшом пусковом токе. Поэтому их широко используют в электротранспорте, для привода прокатных станов, металлорежущих станков и т. д. Двигатели небольшой мощности применяют во многих системах автоматики.

Недостаток ДПТ — наличие щеточно-коллекторного аппарата, который требует тщательного ухода в эксплуатации и снижает надежность машины.

Основными частями двигателя постоянного тока являются статор и якорь, отделенные друг от друга воздушным зазором (0,3—0,5 мм).

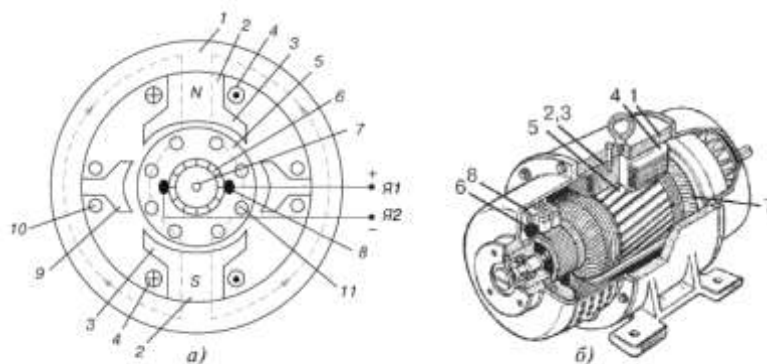


Рис. 20.1

Статор — это стальной цилиндр 1, внутри которого крепятся **главные полюса 2** с полюсными наконечниками 3, образуя вместе с корпусом магнитопровод машины (рис. 20.1 а). На главных полюсах расположены последовательно соединенные катушки *обмотки возбуждения 4*, предназначенные для создания неподвижного магнитного потока Φ_v машины. Концы Ш1 и Ш2 обмотки возбуждения (ОВ) выводят на клеммный щиток, расположенный на корпусе машины. Помимо основных полюсов, внутри статора располагают *дополнительные полюса 9* с обмотками 10, которые служат для уменьшения искрения в скользящих контактах (между щетками и коллектором).

Якорь (подвижная часть машины) — это цилиндр 5, набранный из листов электро-технической стали, снаружи которого имеются пазы, в которые уложена *якорная обмотка 11* (рис. 20.1). Отводы обмотки якоря припаивают к пластинам коллектора 6, расположенного на вращающемся в подшипниках валу 7. *Коллектор* представляет собой цилиндр, набранный из медных пластин, изолированных друг от друга и от вала и закрепленных (по технологии «ласточкина хвоста») на стальной втулке. Коллектор играет роль механического выпрямителя переменной ЭДС, индуцируемой в обмотке якоря.

К коллектору с помощью пружин прижимаются неподвижные *медно-графитовые щетки 8*, соединенные с клеммами Я1 и Я2 щитка. Образовавшиеся скользящие контакты дают возможность соединить вращающуюся обмотку якоря (ОЯ) с электрической цепью (снять выпрямленное напряжение с коллектора (генераторный режим) или соединить якорную обмотку с источником постоянного напряжения и распределить токи в стержнях ОЯ таким образом, чтобы их направления под разноименными полюсами были бы противоположными (двигательный режим)).

Суммарное сопротивление цепи якоря $R_{\text{я}} = 0,5—5 \text{ Ом}$.

Часть машины, в которой индуцируется ЭДС, принято называть *якорем*, а часть машины, создающей основное магнитное поле (магнитный поток), — *индуктором*. В машинах постоянного тока якорем является ротор, а индуктором — статор.

В зависимости от того, как обмотка возбуждения О В включена относительно сети и якоря, различают МПТ *независимого* возбуждения (ОВ к якорю не подключена) и МПТ с *самовозбуждением*, которое подразделяется на параллельное, последовательное и смешанное. На рис. 20.2 приведены электрические схемы возбуждения указанных типов МПТ.

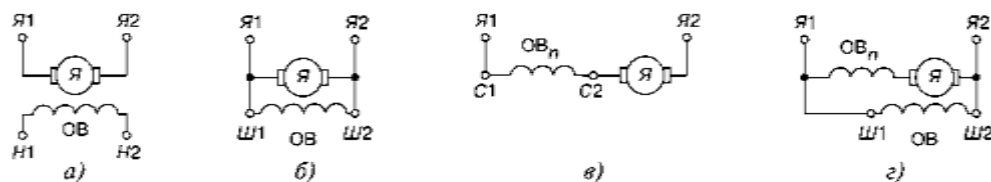


Рис. 20.2

В соответствии с вариантом задания тип ДПТ параллельного возбуждения выбирается из приведенного в программе списка. Предусмотрен также ввод вручную параметров проектируемого двигателя. На рис. 20.6 представлены общий вид интерфейса, каталожные параметры и динамические характеристики двигателя типа 2ПН90М, выбранного из списка двигателей параллельного возбуждения. Пуск двигателя был выполнен при моменте сопротивления на валу $M_c = 3$ Нм и введенном пусковом реостате R_n (пусковой ток $I_n = 2,5I_{ян}$, ток возбуждения $I_b = I_{вн} = \text{const}$).

После вывода пускового реостата частота вращения якоря увеличилась до 3000 об/мин. Затем пусковой реостат был полностью введен в цепь якоря и медленно выведен. Далее момент сопротивления M_c был увеличен до 4 Н*м, уменьшен сначала до 3 Н*м, а затем до нуля и, наконец, увеличен до 3 Н*м.

Анализ графиков частоты вращения n , вращающего момента M и тока якоря I_a от времени, а также текущих параметров двигателя показывает, что расчетная модель адекватно отображает как статические, так и динамические электромагнитные процессы в двигателе.

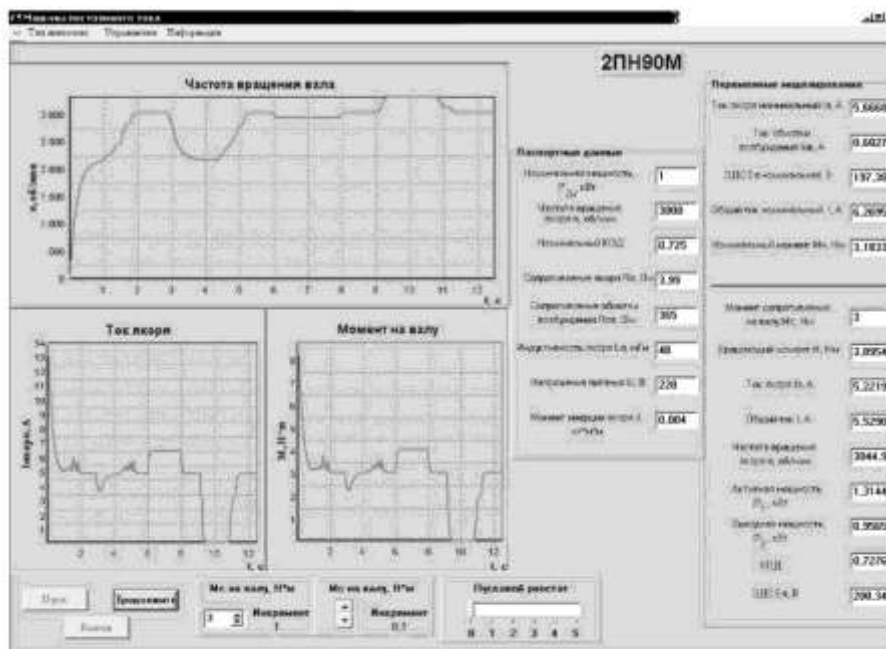


Рис. 20.6

Задание 1. Ознакомиться с интерфейсом модели испытания ДПТ параллельного возбуждения (рис. 20.6), уточнив назначение окон:

- окна, снабженные стрелками, предназначены для изменения момента сопротивления M_c на валу и сопротивления пускового реостата;

- в выделенные справа экрана поля выводятся каталожные параметры двигателя и текущие значения расчетных величин.

Щелкнуть мышью на кнопке «Тип двигателя» и согласно варианту А задания (N — номер записи фамилии студента в учебном журнале группы) выбрать из списка тип двигателя параллельного возбуждения.

Занисать в отчет каталожные данные ДПТ: номинальную механическую мощность $P_n = P_{2n}$ на валу, номинальное напряжение питания U_n , номинальный ток якоря $I_{ян}$, сопротивление обмотки возбуждения $R_{об}$, номинальную частоту вращения вала n_n , КПД двигателя η_n и сопротивление якоря R_a .

Задание 2. Осуществить «пуск в ход» ДПТ (запустить программу моделирования и расчета параметров ДПТ) и «снять» механическую и рабочие характеристики ДПТ параллельного возбуждения. С этой целью:

- **щелкнуть мышью** на кнопке «Пуск», то есть «подключить» обмотку якоря и обмотку возбуждения ДПТ к сети постоянного тока, уменьшая ступенчато сопротивление пускового реостата из положения 5 в положение 0 с выдержкой времени в каждом промежуточном положении не менее 2–3 с.

Наблюдать переходные процессы в ДПТ по графикам $n(t)$, $I_a(t)$ и $M(t)$, выводимым на рабочем поле программы. После установления частоты вращения вала n **занисать** в строку 1 табл. 20.1 значения: напряжения U ; тока I_a ; активной мощности P_1 , «потребляемой» ДПТ из сети; частоты вращения ротора n_0 в режиме холостого хода; момента холостого хода M_0 (полезный момент на валу $M = 0$), которые выводятся в соответствующих окнах на экране дисплея;

- «снять» механическую $n = f(M)$ и рабочие характеристики $I_a = f(P_2)$, $M = f(P_2)$, $\eta = f(P_2)$ двигателя при напряжении $U = U_n = \text{const}$ и токе возбуждения $I_b = I_{bn} = \text{const}$.

Для снятия характеристик необходимо:

- ступенчато увеличивая момент сопротивления (нагрузку) M_c на валу ДПТ (имитируя увеличение тока в цепи обмотки возбуждения электромагнитного тормоза ЭМТ (см. рис. 20.3)), **занисывать** в табл. 20.1 показания «измеритель-

ных приборов» (U , I_a , P_1 , n и M) при 8...9 значениях момента M_c : от режима холостого хода ($M_c = 0$, $P_2 = 0$) до значения $M_c = (1,2)M_n$, где $M_n = 9550 P_{2n}/n_n$ (P_{2n} в кВт);

- **остановить** двигатель. Останов двигателя в реальных условиях выполняют в следующей последовательности:
- плавно уменьшают нагрузку до нуля (где это возможно);
- переводят ручку пускового реостата из положения 0 в положение 5 и, нажав кнопку **Выход**, отключают двигатель от сети.

Таблица 20.1								
Номер измерения	Результаты измерений			Результаты вычислений				
	U , В	I_n , А	n_2 , об/мин	M , Н·м	I , А	P_1 , кВт	P_2 , кВт	η
1			0			0		
2								
3								
4								
5								
6								
7								
8								
9								

Задание 3. По данным моделирования процессов в МПТ **рассчитать** (или списывать с экрана) ток I и мощность P_1 , потребляемые двигателем из сети, выходную мощность P_2 на валу и КПД η двигателя при разных нагрузках, воспользовавшись следующими расчетными формулами:

$$I = I_a + I_b,$$

где I_a – ток в обмотке якоря двигателя, А;

$$P_1 = U_n I,$$

где P_1 – электрическая мощность, потребляемая двигателем из сети, Вт (выразить ее в кВт);

$$P_2 = Mn/9550,$$

где P_2 – полезная механическая мощность на валу двигателя, кВт; M – момент вращения якоря двигателя, Н·м; n – частота вращения якоря, об/мин;

$$\eta = P_2/P_1 \text{ – коэффициент полезного действия ДПТ.}$$

Результаты расчетов I , P_1 , P_2 и η занести в табл. 20.1.

По результатам вычислительного эксперимента и расчетов (см. табл. 20.1) **построить** механическую $n = f(M)$ (см. рис. 20.4) и рабочие характеристики $n = f(P_2)$, $M = f(P_2)$,

$I_a = f(P_2)$ и $\eta = f(P_2)$ ДПТ в относительных единицах (совместив графики в одних координатных осях, см. рис. 20.5), приняв за условные единицы номинальную частоту вращения вала n_n , номинальный момент вращения M_n и номинальный ток в обмотке якоря $I_{ан}$.

Задание 4. Воспользовавшись графиками $n(t)$, **определить** время t_x разгона ДПТ при холостом ходе (без пускового реостата) и время t_n разгона при номинальной нагрузке (при разгоне пусковой реостат выводить со «скоростью», не приводящей к «срабатыванию» магнитного пускателя).

Снять копии графиков с экрана дисплея (нажать на клавишу **Print Scrn** и поместить их, например, в редактор **Paint**) и занести в отчет. На графиках $n(t)$ нанести линии и отметить отрезки, соответствующие временам разгона t_x и t_n (от $t = 0$ до t_n при $n = 0,95n_n$).

Содержание отчета

1. Наименование и цель работы.
2. Электрическая схема подключения ДПТ и электромагнитного тормоза к сети постоянного тока (см. рис. 20.3).
3. Номинальные данные ДПТ и расчетные формулы.
4. Результаты измерений и расчетов, сведенные в табл. 20.1.
5. Механическая и рабочие характеристики ДПТ и графики динамических характеристик $n = f(t)$ и $M = f(t)$ ДПТ.
6. Выводы по работе.

Критерии оценки:

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

Оценка «хорошо» ставится, если были 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.

Лабораторное занятие №11

Исследование трехфазного асинхронного двигателя

Цель: экспериментальное исследование асинхронного двигателя.

Выполнив работу, Вы будете:

уметь:

- измерять параметры электрической, электронной цепи;
- определять и анализировать основные параметры электрических, электронных схем;

Выполнение лабораторной работы способствует формированию:

ПК 3.1. Диагностировать электронное оборудование и системы автоматического управления.

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

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

Материальное обеспечение:

ПК с установленным ПО Multisim

Теоретические сведения

Наибольшее применение в промышленности получили трехфазные асинхронные двигатели (рис. 19.1). Это объясняется тем, что они просты по конструкции, дешевы, надежны в работе, имеют высокий КПД при номинальной нагрузке, выдерживают значительные перегрузки, не требуют сложных пусковых устройств.

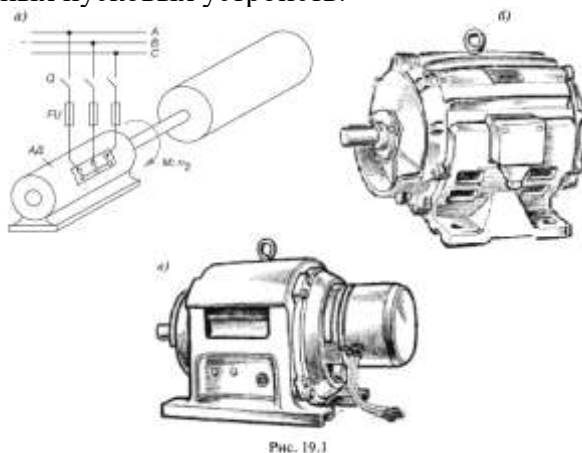


Рис. 19.1

Одной из основных характеристик АД является *механическая характеристика* $n_2 = f(M)$ — зависимость частоты вращения n_2 от момента M на валу двигателя (рис. 19.4). Естественная механическая характеристика 1 (см. рис. 19.4 и 19.5) асинхронного двигателя на рабочем участке до критического скольжения $S_{кр}$ описывается уравнением $n_2 = n(1 - S)$.

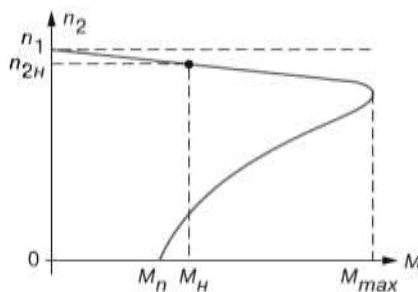


Рис. 19.4

Задание 1. Выбрать тип двигателя, щелкнув мышью на команде **Тип двигателя** (см. рис. 19.7 в левом верхнем углу):

- для нечетных N — АД с короткозамкнутым ротором;
- для четных N — АД с фазным ротором, где N — номер записи фамилии студента в учебном журнале группы, и **записать** в отчет паспортные данные АД (см.

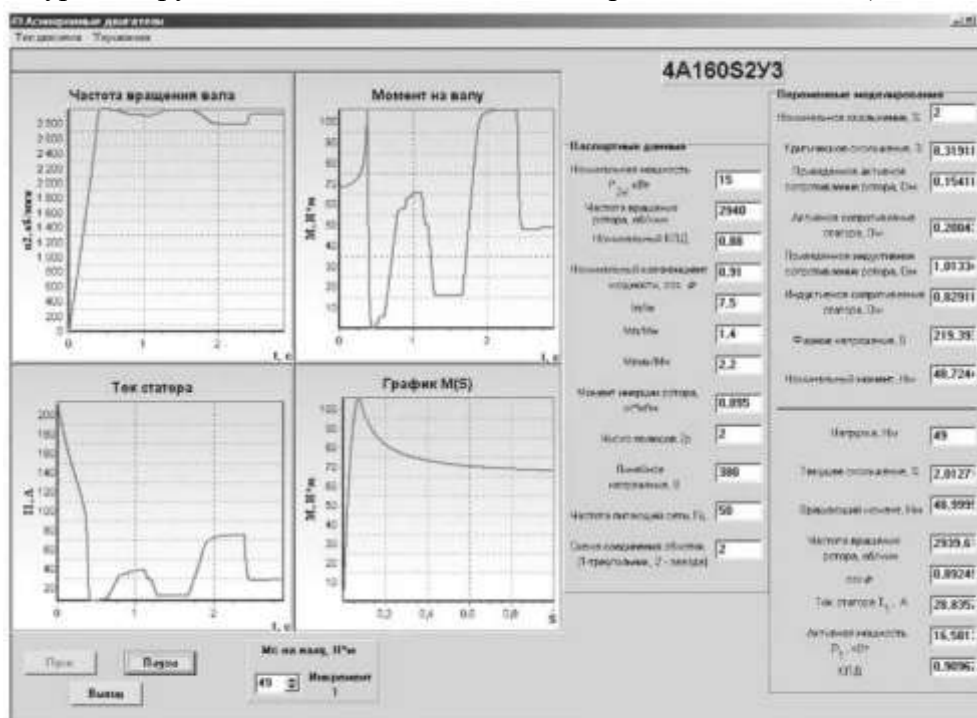


Рис. 19.7

рис. 19.7 справа), которые выводятся на экран дисплея после щелчка мышью на строчке с записью типа двигателя:

- для АД с КЗ ротором (табл. 19.1): номинальную механическую мощность $P_n = P_{2n}$ на валу, номинальную частоту вращения вала n_n , номинальный КПД η_n , номинальный коэффициент мощности $\cos\varphi_n$, отношения: пускового тока к номинальному I_n/I_n , пускового момента к номинальному M_n/M_n , максимального момента к номинальному M_{max}/M_n , момента инерции привода J , приведенный к валу АД, линейное напряжение сети U_n и его частоту f_1 , номинальный ток $I_n = P_{2n}/\sqrt{3}\eta_n U_n \cos\varphi_n$ (P_{2n} в Вт), схему соединения обмоток статора (звезда Y или треугольник Δ);

Таблица 19.1. Тип двигателя _____ и его номинальные данные

P_{2n} , кВт	n_n , об/мин	η_n	$\cos\varphi_n$	I_n/I_n	M_n/M_n	M_{max}/M_n	J , кгм ²	U_n , В	I_n , А	f_1 , Гц	Схема соединения обмоток статора (Y или Δ)

- для АД с фазным ротором (табл. 19.2): номинальную механическую мощность $P_n = P_{2n}$ на валу, номинальную частоту вращения вала n_n , номиналь-

ный КПД η_n , номинальный коэффициент мощности $\cos\varphi_n$, номинальное скольжение S_n (в %), отношение максимального момента к номинальному $M_{\max}/M_n$, ток ротора I_{2n} при номинальном скольжении, напряжение между кольцами разомкнутой обмотки ротора $U_{2л}$, частота напряжения сети f_1 , линейное напряжение сети U_n , момент инерции привода J , приведенный к валу АД, схему соединения обмоток статора и ротора (звезда).

Таблица 19.2. Тип двигателя _____ и его номинальные данные

P_{2n} , кВт	n_{2n} , об/мин	η_n	$\cos\varphi_n$	S_n , %	$M_{\max}/M_n$	I_{2n} , А	$U_{2л}$, В	f_1 , Гц	U_n , В	J , кгм ²	Схема соединения обмоток статора и ротора
											Звезда

Задание 2. Занустить программу моделирования и расчета параметров АД и снять его механическую и рабочие характеристики. С этой целью:

- щелкнуть мышью на кнопке «Пуск» в ход АД, расположенной внизу интерфейса программы моделирования АД, то есть «подключить» обмотки статора АД к трехфазной сети переменного тока, и записать в строку 1 табл. 19.3 значения линейного напряжения U_1 , линейного тока I_1 , активной мощности P_1 , «потребляемой» АД из сети, частоты вращения ротора n_2 в режиме холостого хода (полезный момент на валу $M = 0$), которые выводятся в соответствующих полях на экране дисплея;
- снять механическую $n_2 = f(M)$ и рабочие $I_1 = f(P_2)$, $\cos\varphi = f(P_2)$, $S = f(P_2)$, $P_1 = f(P_2)$, $M = f(P_2)$, $\eta = f(P_2)$ характеристики двигателя, выполняя операции в следующей последовательности:
 - щелкнуть мышью на команде **Мс на валу**, **Нм**, размещенной внизу интерфейса программы (см. рис. 19.7), то есть «подключить» цепь обмотки возбуждения электромагнитного тормоза к сети;
 - ступенчато увеличивая момент сопротивления (нагрузку) M_c на валу АД (при необходимости изменяя шаг ступени посредством щелчка правой клавишей мыши на закладке **Инкремент** и выбора одного из значений шага: 1, 2, 3, 4, 5, 10 Нм), записывать в табл. 19.3 показания «измерительных приборов» при восьми значениях момента $M_c = M$: от режима холостого хода ($M = 0$, $P_2 = 0$) до значения $M_c = (1,2...1,5)M_n$ или $P_2 = (1,2...1,5)P_{2n}$.

Таблица 19.3

Номер измерения	Результаты измерений					Результаты вычислений			
	U_1 , В	I_1 , А	P_1 , кВт	n_2 , об/мин	M , Нм	P_2 , кВт	S	$\cos\varphi$	η
1									
2									
3									
4									
5									
6									
7									
8									
9									

Содержание отчета

1. Наименование и цель работы.
2. Электрическая схема подключения трехфазного асинхронного двигателя к трехфазной сети (для АД с фазным ротором) к двигателю (см. рис. 19.1а и в).
3. Паспортные данные АД и расчетные формулы.
4. Результаты измерений и расчетов, сведенные в табл. 19.3.
5. Механическая и рабочие характеристики АД.
6. Выводы по работе.

Критерии оценки:

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

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

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

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

Тема 2.2

Полупроводниковые диоды. Выпрямительные устройства

Лабораторное занятие № 12

Исследование выпрямительного диода

Цель работы: исследование выпрямительного диода

Выполнив работу, Вы будете:

уметь:

- измерять параметры электрической, электронной цепи;
- определять и анализировать основные параметры электрических, электронных схем.

Выполнение лабораторной работы способствует формированию:

ПК 3.1. Диагностировать электронное оборудование и системы автоматического управления.

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

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

Материальное обеспечение: стенды «Основы электроники».

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 .

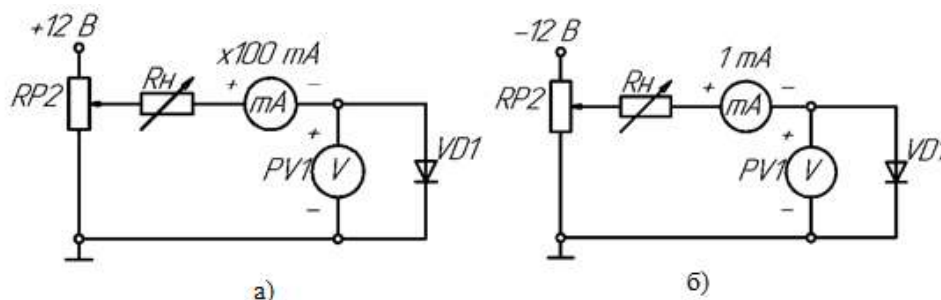


Рисунок 17 – Схема исследования диода

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. 176); 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

$I_{пр}, \text{мА}$	0	10	20	30	40	50	60	70	80
$U_{пр}, \text{В}$									

Таблица 27 - Результаты измерений обратной ветви ВАХ

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

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.

Критерии оценки:

Оценка «отлично» ставится, если эксперимент проведен, 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 проведен, приведено неполное выполнение заданий.

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

Лабораторное занятие № 13

Исследование оптрона

Цель работы: исследование характеристик оптрона.

Выполнив работу, Вы будете:

уметь:

- измерять параметры электрической, электронной цепи;
- определять и анализировать основные параметры электрических, электронных схем.

Выполнение лабораторной работы способствует формированию:

ПК 3.1. Диагностировать электронное оборудование и системы автоматического управления.

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

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

Материальное обеспечение: стенды «Основы электроники».

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.

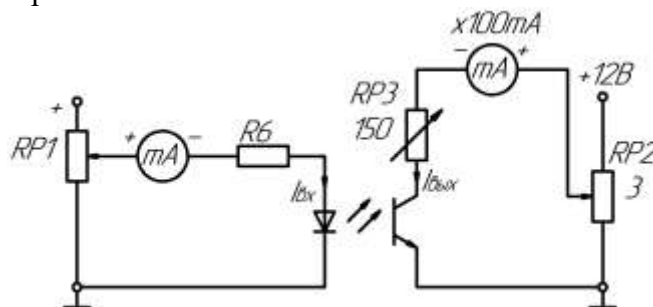


Рисунок 18 – Схема для исследования оптрона

Таблица 28 - Результаты измерений

$I_{BX}, \text{мА}$	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.

Критерии оценки:

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

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

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

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

Лабораторное занятие № 14

Исследование однофазной мостовой схемы выпрямления

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

Выполнив работу, Вы будете:

уметь:

- измерять параметры электрической, электронной цепи;

– определять и анализировать основные параметры электрических, электронных схем.

Выполнение лабораторной работы способствует формированию:

ПК 3.1. Диагностировать электронное оборудование и системы автоматического управления.

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

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

Материальное обеспечение: стенды «Основы электроники».

Порядок выполнения работы

1) Собрать схему выпрямителя по рис. 19. Установить заданное значение сопротивления нагрузки R_H . 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.

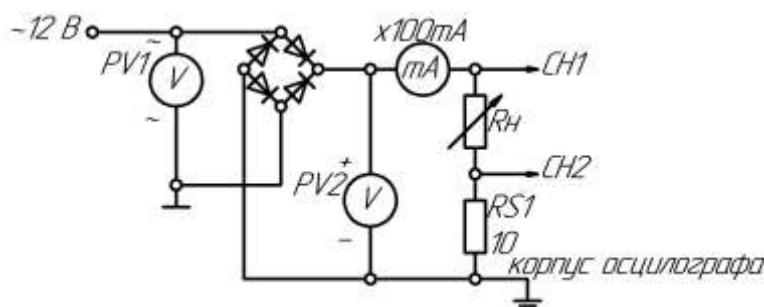


Рисунок 19 – Схема выпрямителя

4) Включить дроссель L_H 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_H 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

	Ud, В					
--	-------	--	--	--	--	--

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) полученные графики (осциллограммы);
- д) выводы по работе.

Критерии оценки:

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

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

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

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

Тема 2.3

Полупроводниковые транзисторы

Лабораторное занятие №15

Исследование биполярного транзистора

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

Выполнив работу, Вы будете:

уметь:

- измерять параметры электрической, электронной цепи;
- определять и анализировать основные параметры электрических, электронных схем.

Выполнение лабораторной работы способствует формированию:

ПК 3.1. Диагностировать электронное оборудование и системы автоматического управления.

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

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

Материальное обеспечение: стенды «Основы электроники».

Порядок выполнения работы

Собрать схему для снятия характеристик прямой передачи по току биполярного транзистора (рис.20). Для измерения тока базы подключить миллиамперметр PA1 (до 1 мА), а для измерения тока коллектора подключить PA2 (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;

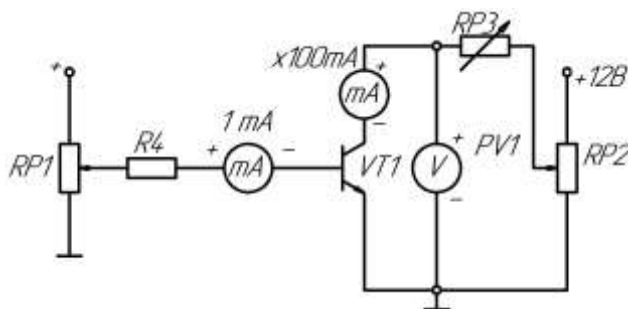


Рисунок 20 – Схема для исследования биполярного транзистора

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

Определить коэффициент передачи по току биполярного транзистора, используя график.

Таблица 30 - Результаты измерений

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

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.

Критерии оценки:

Оценка «отлично» ставится, если эксперимент проведен, 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 проведен, приведено неполное выполнение заданий.

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

Лабораторное занятие №16

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:

- измерять параметры электрической, электронной цепи;
- определять и анализировать основные параметры электрических, электронных схем.

Выполнение лабораторной работы способствует формированию:

ПК 3.1. Диагностировать электронное оборудование и системы автоматического управления.

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

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

Материальное обеспечение: стенды «Основы электроники».

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 $RP2$);

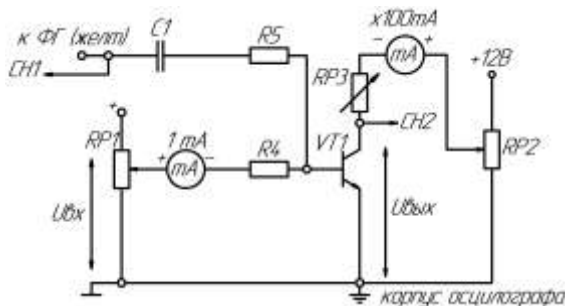


Рисунок 21 - Схема для исследования усилительного каскада

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:

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

Критерии оценки:

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.

Лабораторное занятие №17

Исследование тиристора

Цель работы: исследование тиристора и способов его выключения.

Выполнив работу, Вы будете:

уметь:

- измерять параметры электрической, электронной цепи;
- определять и анализировать основные параметры электрических, электронных схем.

Выполнение лабораторной работы способствует формированию:

ПК 3.1. Диагностировать электронное оборудование и системы автоматического управления.

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

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

Материальное обеспечение: стенды «Основы электроники».

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.

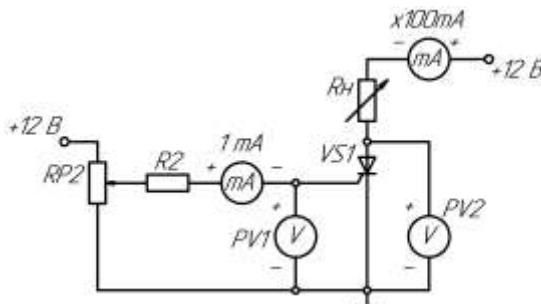


Рисунок 23 - Схема для исследования тиристора

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_{y0} , и напряжения управления U_{y0} , 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_{y0} и отпирающего постоянного напряжения управления U_{y0} до момента открывания тиристора; занести показания в таблицу 32 и построить график входной характеристики тиристора $U_y = f(I_y)$.

Таблица 32 - Результаты измерений

$I_y, \text{мА}$	0	0,2	0,4	0,6	0,8	1	1,2
$U_y, \text{В}$							

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.

Критерии оценки:

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.

Тема 2.4

Основы микроэлектроники

Лабораторное занятие №18

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:

- измерять параметры электрической, электронной цепи;
- определять и анализировать основные параметры электрических, электронных схем.

Выполнение лабораторной работы способствует формированию:

ПК 3.1. Диагностировать электронное оборудование и системы автоматического управления.

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

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

Материальное обеспечение: стенды «Основы электроники».

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.

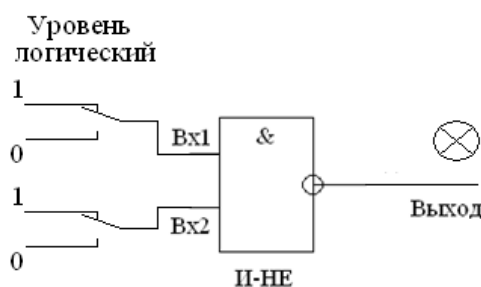


Рисунок 22 – Схема для исследования логического элемента И-НЕ

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.

Критерии оценки:

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

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

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

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

Лабораторное занятие №19

Исследование компаратора на основе ОУ

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

Выполнив работу, Вы будете:

уметь:

- измерять параметры электрической, электронной цепи;
- определять и анализировать основные параметры электрических, электронных схем.

Выполнение лабораторной работы способствует формированию:

ПК 3.1. Диагностировать электронное оборудование и системы автоматического управления.

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

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

Материальное обеспечение: стенды «Основы электроники».

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 "~";

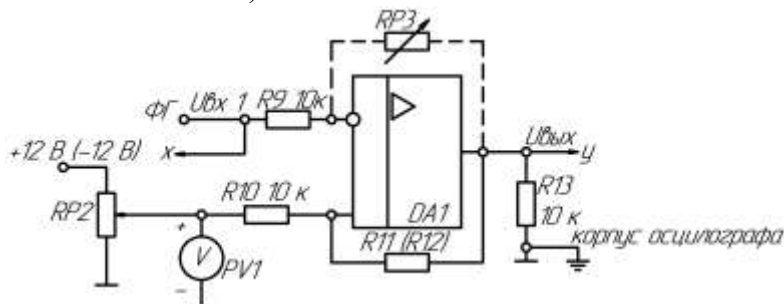


Рисунок 24 - Схема двухвходового компаратора

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:

- а) наименование работы и цель работы;
- б) схему эксперимента с включенными измерительными приборами;
- в) полученные осциллограммы;
- г) выводы по работе.

Критерии оценки:

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.

Лабораторное занятие №20

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:

- измерять параметры электрической, электронной цепи;
- определять и анализировать основные параметры электрических, электронных схем.

Выполнение лабораторной работы способствует формированию:

ПК 3.1. Диагностировать электронное оборудование и системы автоматического управления.

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

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

Материальное обеспечение: стенды «Основы электроники».

Порядок выполнения работы

- 1) Собрать схему согласно рис.25; установить заданное значение $RP3=20K$;

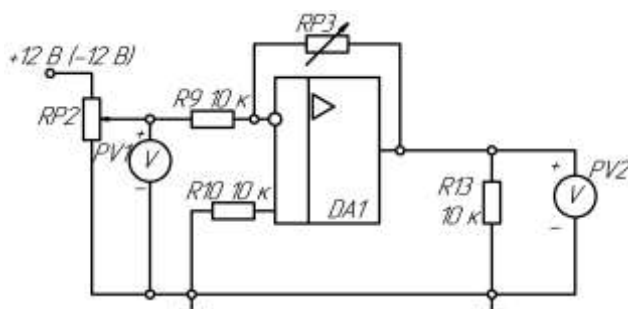


Рисунок 25 – Схема инвертирующего усилителя

- 2) Включить питание. Снять амплитудную характеристику усилителя на постоянном токе $U_{вых}=F(U_{вх})$ (табл.33). В качестве источника сигнала использовать напряжение, регулируемое потенциометром $RP2$. Сначала снять половину характеристики, используя источник $+12V$, затем, подключив источник $-12V$, снять вторую часть характеристики, т.е. $U_{вх}$ должно изменяться от $+12$ до $-12V$. По амплитудной характеристике определить коэффициент усиления по напряжению $K_{иос}$; выключить питание;

Таблица 33 – Результаты измерений (инвертирующий усилитель)

Упит, В	+12В	-12В
---------	------	------

U_{BX}, B	0	0,5	1	1,5	2	2,5	3	0	-0,5	-1	-1,5	-2	-2,5	-3
$U_{BЫX}, B$														

- 3) Собрать схему согласно рис. 26. Установить заданное значение $RP3=20K$.

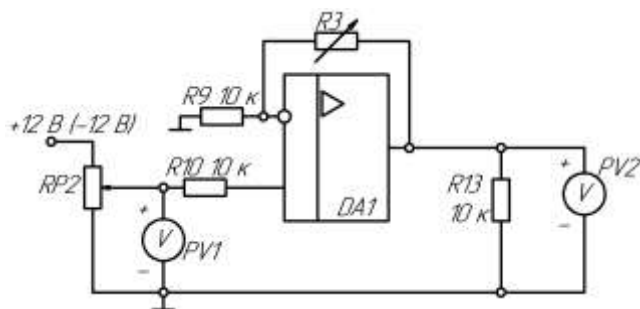


Рисунок 26 - Схема неинвертирующего усилителя

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

Таблица 34 – Результаты измерений (неинвертирующий усилитель)

Упит, В	+12В							-12В						
U_{BX}, B	0	0,5	1	1,5	2	2,5	3	0	-0,5	-1	-1,5	-2	-2,5	-3
$U_{BЫX}, B$														

- 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:

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

Критерии оценки:

Оценка «отлично» ставится, если эксперимент проведен, 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 проведен, приведено неполное выполнение заданий.

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

Лабораторное занятие №21 Исследование мультивибратора

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

Выполнив работу, Вы будете:

уметь:

- измерять параметры электрической, электронной цепи;
- определять и анализировать основные параметры электрических, электронных схем.

Выполнение лабораторной работы способствует формированию:

ПК 3.1. Диагностировать электронное оборудование и системы автоматического управления.

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

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

Материальное обеспечение: стенды «Основы электроники».

Порядок выполнения работы

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

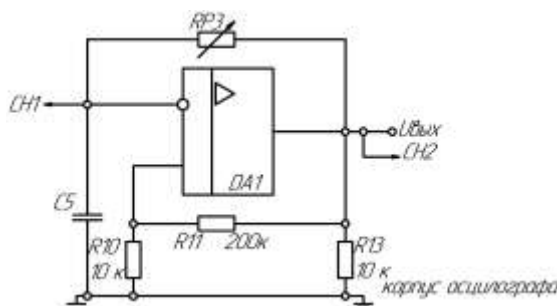


Рисунок 27 – Схема мультивибратора

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

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

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

где T – период, определяется как

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

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

Форма представления результата:

Отчет по работе должен содержать:

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

Критерии оценки:

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

Оценка «хорошо» ставится, если были 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.