



**Некоммерческое  
акционерное  
общество**

**АЛМАТИНСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ  
ЭНЕРГЕТИКИ И  
СВЯЗИ ИМЕНИ  
ГУМАРБЕКА  
ДАУКЕЕВА**

Кафедра электротехники

## **Электротехника и основы электроники**

Методические указания и задания к лабораторным работам  
по образовательной программе 5В073100 – «Теплоэнергетика»

Алматы 2023

СОСТАВИТЕЛЬ: Л. П. Болдырева. Электротехника и основы электроники. Методические указания и задания к лабораторным работам по образовательной программе 5В071700 – «Теплоэнергетика». – Алматы: АУЭС, 2023. – 32 с.

Описание включает методические указания и задания к выполнению лабораторных работ по дисциплине «Электротехника и основы электроники» по следующим разделам: электрические цепи постоянного тока, цепи однофазного синусоидального тока, трехфазные электрические цепи.

Каждая лабораторная работа содержит следующие разделы: цель работы, контрольные вопросы, подготовка к работе, порядок выполнения работы, выводы по работе. Приведены исследуемые электрические схемы, соответствующие им таблицы, где должны фиксироваться результаты расчётов и экспериментов.

Ил. 22, табл. 15, библиогр. – 7 назв.

Рецензент: PhD, доцент каф. МПИ

Абильдинова С.К.

Печатается по плану издания некоммерческого акционерного общества «Алматинский университет энергетики и связи имени Гумарбека Даукеева» на 2023 г.

©НАО «Алматинский университет энергетики и связи имени Гумарбека Даукеева», 2023 г.

## Содержание

	Введение.	4
	Порядок выполнения и правила оформления отчетов лабораторных работ	6
1	Лабораторная работа № 1. Исследование неразветвленной цепи постоянного то	7
2	Лабораторная работа № 2. Исследование разветвленной электрической цепи постоянного тока	10
3	Лабораторная работа № 3. Исследование неразветвленной электрической цепи однофазного синусоидального тока	14
4	Лабораторная работа № 4. Исследование разветвленной электрической цепи однофазного синусоидального тока	18
5	Лабораторная работа № 5. Исследование трехфазной цепи при соединении фаз источника и приемника звездой	22
6	Лабораторная работа № 6. Исследование трехфазной цепи при соединении треугольником	27
	Список литературы	32

## Введение

Данная методическая разработка содержит описание обязательных лабораторных работ по дисциплине «Электротехника и основы электроники» для студентов специальности «Теплоэнергетика». Лабораторные задания представляют собой комплекс работ экспериментального и расчетного характера по исследованию линейных электрических цепей постоянного и однофазного синусоидального токов, а также трехфазных цепей. Все лабораторные работы выполняются фронтальным методом после того, как материал данной темы изложен на лекции.

Практическая реализация лабораторных занятий на кафедре ЭТ обеспечивается универсальными учебно-исследовательскими лабораторными стендами УИЛС-2 и лабораторными стендами по электротехнике.

Стенд УИЛС-2 представляет собой стол, на котором закреплен пульт, состоящий из корпусов активных и пассивных блоков, соединенных наборным полем. В корпусах установлены соответствующие блоки. В состав стенда входят 29 наборных элементов и соединительные провода со штекерами.

Пульт представляет собой металлический корпус активных блоков, содержащий блок постоянного напряжения БПН, блок переменного напряжения БПрН, блок трехфазного напряжения БТН, корпус пассивных блоков, содержащий блок переменного сопротивления БПС, блок переменной индуктивности БПИ, блок переменной емкости БПЕ, соединенных между собой наборным полем НП.

БПН содержит:

- регулируемый источник постоянного стабилизированного напряжения с напряжением на выходе от 0 до 25 В;
- нерегулируемый источник постоянного напряжения с напряжением на выходе около 20 В;
- «электронный ключ», применяемый для исследования переходных процессов.

Оба источника напряжения снабжены схемой защиты от короткого замыкания и перегрузок. Ток срабатывания защиты  $I_{CP} = I A$ .

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

Схема снабжена электронной защитой от короткого замыкания и перегрузок. Ток срабатывания защиты  $I_{CP} = I A$ .

БТН является источником трехфазного напряжения промышленной частоты. Все фазы электрически не зависят друг от друга.

Каждая фаза снабжена электронной защитой от короткого замыкания и перегрузок. Ток срабатывания защиты  $I_{CP} = I A$ .

БПС состоит из трех нерегулируемых резисторов  $R_1, R_2, R_3$  и трех регулируемых схем резисторов  $R_4$ . Регулирование сопротивления  $R_4$  осуществляется ступенчато с помощью соответствующих переключателей.

БПИ состоит из трех нерегулируемых катушек индуктивности  $L_1, L_2, L_3$  и трех регулируемых схем индуктивности  $L_4$ . Регулирование индуктивности осуществляется ступенчато с помощью соответствующих переключателей.

БПЕ состоит из трех нерегулируемых конденсаторов  $C_1, C_2, C_3$  и трех регулируемых емкостей  $C_4$ . Регулирование емкости осуществляется ступенчато с помощью соответствующих переключателей.

На лицевых панелях блоков расположены органы сигнализации (индикаторы, лампы), органы управления (ручки переключателей, тумблеры, кнопки) и измерительные приборы.

НП представляет собой панель с 67 парами определенным образом соединенных гнезд, предназначенных для подключения и установки наборных элементов НЭ, представляющих собой элементы исследуемых цепей. НЭ выполнены в виде прозрачных пластмассовых коробочек, в торце которых имеется вилка, а внутри впаяны элементы электрических цепей.

Для включения активного блока тумблер (СЕТЬ) установить в положение ВКЛ, при этом загорится индикатор (СЕТЬ).

Измерительные приборы БПН и БПрН предназначены для контроля величины тока и напряжения регулируемых источников напряжения. Регулирование осуществляется с помощью потенциометра.

Частота в БПрН регулируется переключателем ступенчато через 1 кГц и потенциометром плавно. Когда потенциометр ЧАСТОТА ПЛАВНО находится в крайнем правом положении, то частота выходного напряжения соответствует величине, указанной на переключателе ступенчатой регулировки с точностью  $\pm 2\%$ .

Величину напряжения на выходе каждой фазы БТН можно регулировать ступенчато с помощью переключателей от 1 до 9 В и от 0 до 30 В.

При возникновении короткого замыкания либо перегрузки (неправильно собрана схема) в блоках срабатывает электронная защита, при этом загораются индикаторы ЗАЩИТА. После устранения причин возникновения короткого замыкания либо исправления ошибки в набранной схеме необходимо, нажав кнопку ЗАЩИТА, вернуть схему блока в рабочее положение; при этом индикатор гаснет.

## **Порядок выполнения и правила оформления отчетов лабораторных работ**

Задание на выполнение соответствующей лабораторной работы студент получает на предыдущем занятии (за 1–2 недели).

Каждый студент самостоятельно готовит отчет для выполнения лабораторной работы, знакомится с целью лабораторного задания, основными теоретическими положениями проводимого эксперимента.

Перед выполнением экспериментальной части студент проходит собеседование по вопросам подготовки, показывает преподавателю подготовленный отчет для выполнения лабораторной работы и получает допуск к работе.

После выполнения экспериментальной части отчет дооформляется: проводится сравнение теории с экспериментом, строятся необходимые графики, проводится анализ результатов и делаются выводы по работе.

Отчет по лабораторной работе защищается каждым студентом на текущем или на следующем лабораторном занятии или на консультации.

К выполнению следующей лабораторной работы допускается студент, выполнивший и защитивший предыдущую лабораторную работу.

Отчет содержит титульный лист и следующие разделы:

- цель работы;
- ответы на вопросы подготовки;
- краткие сведения об эксперименте;
- принципиальная схема исследуемой цепи;
- расчетные формулы, вычисления, предполагаемые графики исследуемых электрических величин и режимов цепи;
- результаты исследования (таблицы, графики, числовые значения параметров и электрических величин);
- выводы.

Отчеты оформляются на листах белой или линованной бумаги формата А4 (210x297 мм), которые заполняются с одной стороны. В тексте допускается применение только общепринятых обозначений или сокращений.

# 1 Лабораторная работа № 1. Исследование неразветвленной цепи постоянного тока

Цель работы: получение навыков экспериментального исследования цепей постоянного тока, используя закон Ома; построение потенциальной диаграммы.

## 1.1 Подготовка к работе

Повторить раздел курса ЭиОЭ «Линейные электрические цепи постоянного тока».

Письменно ответить на вопросы и выполнить задания:

1.1.1 Какой источник энергии называется источником напряжения (ЭДС) и какой источником тока? Привести электрические схемы реальных и идеальных источников напряжения и тока.

1.1.2 Каким образом экспериментально определить ЭДС источника напряжения?

1.1.3 Как с помощью вольтметра определить величину и знак потенциала любой точки цепи по отношению к точке, потенциал которой принят равным нулю?

1.1.4 Записать закон Ома для электрической цепи (рисунок 1.1).

1.1.5 Что такое потенциальная диаграмма цепи, как ее получить экспериментально?

## 1.2 Порядок выполнения работы

1.2.1 Собрать цепь (рисунок 1.1).

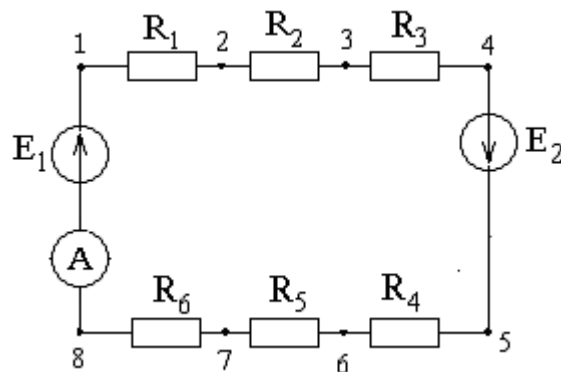


Рисунок 1.1

1.2.2 Измерить ЭДС, ток в цепи, сопротивления всех резисторов и напряжения на них. Результаты занести в таблицу 1.1.

Таблица 1.1

ЭДС $E_1=$	ЭДС $E_2=$		Ток в цепи $I=$				
Резистор		$R_1$	$R_2$	$R_3$	$R_4$	$R_5$	$R_6$
Сопротивление, Ом (эксперимент)	$R$						
Напряжение, В	$U$						
Проводимость, См	$G$						
Сопротивление, Ом (расчеты)	$R$						

1.2.3 Измерить потенциалы всех точек относительно одной, например,  $\varphi_1=0$ . Результаты занести в таблицу 1.2.

Таблица 1.2

Потенциалы	$\varphi_1$	$\varphi_2$	$\varphi_3$	$\varphi_4$	$\varphi_5$	$\varphi_6$	$\varphi_7$	$\varphi_8$
Эксперимент								
Теоретический расчёт								

### 1.3 Обработка результатов экспериментов

1.3.1 Для схемы (рисунок 1.1) по результатам экспериментов рассчитать ток по закону Ома, величины сопротивлений и их проводимости.

1.3.2 Для схемы (рисунок 1.1) по результатам экспериментов рассчитать потенциалы всех точек.

1.3.3 Для схемы (рисунок 1.1) построить потенциальную диаграмму по расчётным и экспериментальным данным.

### 1.4 Методические указания

1.4.1 Потенциальная диаграмма представляет собой график изменения потенциала при обходе цепи, начиная с одной точки, потенциал которой условно принят за нуль. На оси абсцисс графика откладываются в определенном масштабе сопротивления участков цепи, а по оси ординат – потенциалы соответствующих точек.

**Пример:** Построить график изменения потенциала вдоль цепи (рисунок 1.2).  $E_1 = 25$  В,  $E_2 = 5$  В,  $E_3 = 20$  В,  $E_4 = 35$  В,  $R_1 = 10$  Ом,  $R_2 = 30$  Ом,  $R_3 = 42$  Ом,  $R_4 = 8$  Ом.



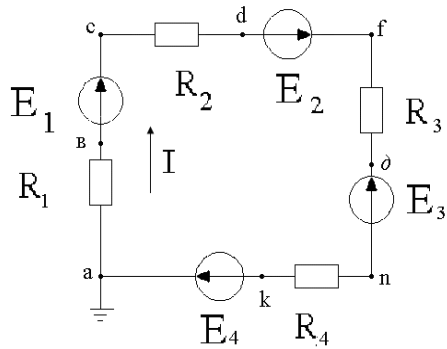


Рисунок 1.2

Задавшись положительным направлением тока, по закону Ома найдем ток:

$$I = \frac{E_1 + E_2 - E_3 + E_4}{R_1 + R_2 + R_3 + R_4} = 0,5A.$$

Вычислим потенциалы всех точек схемы.

$$\varphi_a = 0$$

$$\varphi_b = \varphi_a - R_1 I = -5B$$

$$\varphi_c = \varphi_b + E_1 = 20B$$

$$\varphi_d = \varphi_c - R_2 I = 5B$$

$$\varphi_f = \varphi_d + E_2 = 10B$$

$$\varphi_o = \varphi_f - R_3 I = -11B$$

$$\varphi_n = \varphi_o - E_3 = -31B$$

$$\varphi_k = \varphi_n - R_4 I = -35B$$

$$\varphi_a = \varphi_k + E_4 = 0$$

На рисунке 1.3 приведена потенциальная диаграмма.

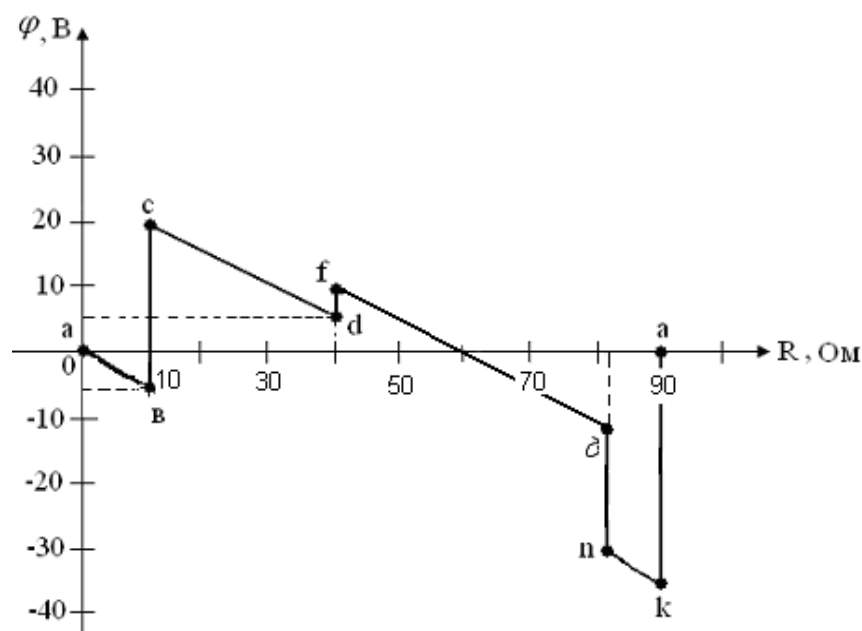


Рисунок 1.3 – Потенциальная диаграмма

Контрольные вопросы:

- 1) Элементы электрических цепей постоянного тока.
- 2) Закон Ома для участка цепи с ЭДС.
- 3) Соединение измерительных приборов в электрических цепях.
- 4) Каким образом экспериментально определить ЭДС источника напряжения?
- 5) Потенциальная диаграмма для неразветвленной схемы.

## 2 Лабораторная работа № 2. Исследование линейной электрической цепи постоянного тока

Цель работы: Экспериментальная проверка основных методов расчета цепей постоянного тока, таких как законы Кирхгофа, метод контурных токов, метод узловых потенциалов.

### 2.1 Подготовка к работе

Повторить раздел курса ЭиОЭ «Линейные электрические цепи постоянного тока».

Письменно ответить на вопросы и выполнить задания:

- 2.1.1 Как определить величину сопротивления резистора при помощи амперметра и вольтметра?
- 2.1.2 Как включить универсальный измерительный цифровой прибор для измерения тока в ветви схемы?

2.1.3 Как включить универсальный измерительный цифровой прибор для измерения напряжения на элементе схемы?

2.1.4 Для исследуемой схемы составить следующие системы уравнений:

- по законам Кирхгофа;
- по методу контурных токов;
- по методу узловых потенциалов.

2.1.5 В чём суть метода контурных токов и метода узловых потенциалов?

## 2.2 Порядок выполнения работы

Таблица 2.1

№ варианта	1	2	3	4	5	6
№ схемы	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6
$E_1, В$	20	20	18	15	12	10
$E_2, В$	10	15	10	20	20	20

2.2.1 Согласно варианту задания (таблица 2.1), изобразить исследуемую схему (рисунки 2.1–2.6), задаться положительными направлениями токов в ветвях. Собрать цепь из резисторов и источников напряжения. Установить заданные значения ЭДС  $E_1$  и  $E_2$  и резисторов. Измерить токи в ветвях и напряжения на элементах цепи. Амперметр включается в разрыв ветви таким образом, чтобы направление тока совпадало с направлением от «+» к «–» прибора. Тогда прибор покажет величину и знак тока, соответствующий выбранному направлению. Вольтметр включается параллельно элементу цепи таким образом, чтобы направление напряжения на нём совпадало с направлением от «+» к «–» прибора. Тогда прибор покажет величину и знак напряжения на этом элементе, соответствующий выбранному направлению. Необходимо помнить, что направление падения напряжения на пассивном элементе совпадает с направлением тока в нём.

Минусовая клемма прибора обычно имеет черный цвет и помечена знаком «com».

2.2.2 Измерить токи в ветвях, ЭДС источников и напряжения на всех резисторах. Результаты занести в таблицу 2.2.

Таблица 2.2

	$E_1, В$	$E_2, В$	$I_1, мА$	$I_2, мА$	$I_3, мА$	$U_{R1}, В$	$U_{R2}, В$	$U_{R3}, В$
Эксперимент								
Расчёт								

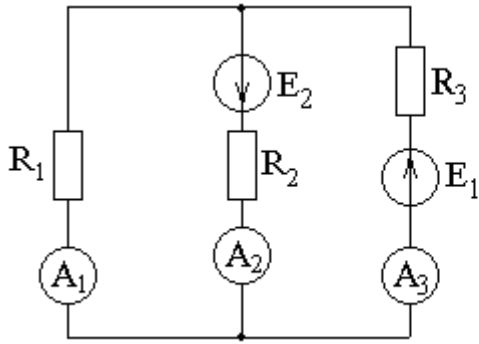


Рисунок 2.1

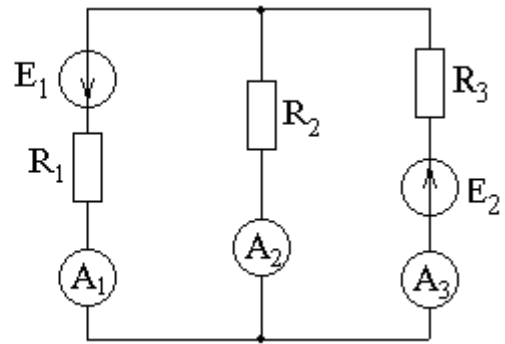


Рисунок 2.2

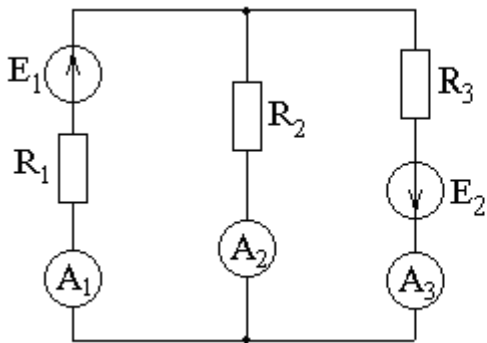


Рисунок 2.3

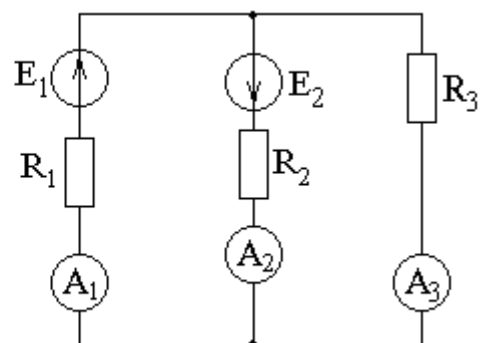


Рисунок 2.4

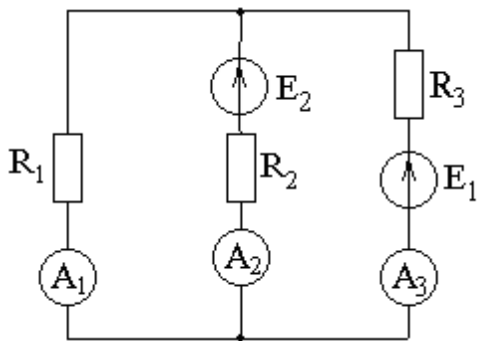


Рисунок 2.5

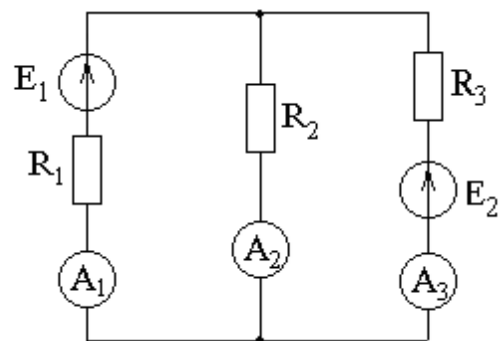


Рисунок 2.6

## 2.3 Оформление и анализ результатов работы

2.3.1 Рассчитать токи в ветвях, используя методы расчета цепей постоянного тока: метод контурных токов, метод узловых потенциалов.

2.3.2 Проверить выполнение законов Кирхгофа.

2.3.3 Сравнить значение токов, полученные экспериментально и путём расчета методами МКТ и МУП.

Погрешность определить по формуле:

$$\delta = \frac{I_{теор} - I_{экс}}{I_{теор}} \cdot 100\%.$$

2.3.4 Сделать выводы о проделанной работе, обратив внимание на причины возможных расхождений расчетных величин с экспериментальными величинами.

## 2.4 Методические указания

Первый закон Кирхгофа:

$$\sum_{k=1}^n I_k = 0.$$

Со знаком «+» записываются токи, направленные к узлу, со знаком «-» записываются токи, направленные от узла (или наоборот).

Второй закон Кирхгофа:

$$\sum_{k=1}^n R_k I_k = \sum_{k=1}^n E_k.$$

Напряжения  $R_k \cdot I_k$  записываются со знаком «+», если положительное направление тока  $I_k$  совпадает с направлением обхода контура, со знаком «-», если направление тока  $I_k$  противоположно направлению обхода контура. ЭДС  $E_k$ , направления которых совпадают с направлением обхода контура, записываются со знаком «+», а ЭДС  $E_k$ , направленные против обхода контура, – со знаком «-».

Порядок составления уравнений по законам Кирхгофа:

а) выбирают произвольно положительные направления токов в ветвях цепи и записывают уравнения для узлов цепи по первому закону Кирхгофа;

б) выбирают независимые контуры (контуры независимы, если каждый последующий контур имеет не менее одной новой ветви), произвольно выбирают направления обхода этих контуров, затем записывают уравнения для этих контуров по второму закону Кирхгофа.

Метод контурных токов основан на том, что в каждом независимом контуре электрической цепи вводится контурный ток. По любой ветви электрической цепи должен проходить хотя бы один контурный ток. Для определения контурных токов составляются уравнения по второму закону Кирхгофа. Ток в любой ветви можно представить в виде алгебраической суммы контурных токов, протекающих по этой ветви.

Метод узловых потенциалов заключается в определении потенциалов узлов электрической цепи, токи рассчитываются по закону Ома. При составлении уравнений узловых потенциалов, потенциал одного из узлов

принимают равным нулю, для определения потенциалов оставшихся узлов составляются уравнения.

Контрольные вопросы:

- 1) I закон Кирхгофа для разветвленной схемы.
- 2) II закон Кирхгофа для разветвленной схемы.
- 3) В чем суть метода контурных токов?
- 4) В чем суть метода узловых потенциалов?

### **3 Лабораторная работа № 3. Исследование неразветвленной электрической цепи однофазного синусоидального тока**

Цель работы: получение навыков экспериментального исследования неразветвленных цепей однофазного синусоидального тока, построение векторных диаграмм.

#### **3.1 Подготовка к работе**

Повторить раздел «Линейные электрические цепи однофазного синусоидального тока».

Письменно ответить на вопросы и выполнить задания:

3.1.1 Записать закон Ома и второй закон Кирхгофа в комплексной форме для схем (рисунки 3.1–3.3).

3.1.2 Как перейти от комплексного тока и комплексного напряжения к их мгновенным значениям?

3.1.3 Для схемы (рисунок 3.1) записать формулы для расчета:

а) индуктивное сопротивление  $X_L$ , полное сопротивление  $Z$ , угол сдвига фаз  $\varphi$  между напряжением на входе цепи и током;

б) комплексные значения тока в цепи и напряжений на каждом элементе.

3.1.4 Качественно построить векторную диаграмму тока и напряжений.

3.1.5 Для схемы (рисунок 3.2) записать формулы для расчета:

а) емкостное сопротивление  $X_C$ , полное сопротивление  $Z$ , угол сдвига фаз  $\varphi$  между напряжением на входе цепи и током;

б) комплексные значения тока в цепи и напряжений на каждом элементе.

3.1.6 Качественно построить векторную диаграмму тока и напряжений.

3.1.7 Для схемы (рисунок 3.3) записать формулы для расчета:

а) полное сопротивление  $Z$ , угол сдвига фаз  $\varphi$  между напряжением на входе цепи и током;

а) комплексные значения тока в цепи и напряжений на каждом элементе.

3.1.8 Качественно построить векторную диаграмму тока и напряжений.

3.1.9 Нарисовать схемы (рисунки 3.1–3.3) и таблицы 3.2–3.4.

### 3.2 Порядок выполнения работы

3.2.1 Собрать цепь по схеме (рисунок 3.1), установить параметры цепи согласно заданному варианту (таблица 3.1). Измерить ток, напряжения на входе цепи и на каждом элементе. Результаты измерений занести в таблицу 3.2.

Таблица 3.1

Вариант	1	2	3	4	5	6
$R$ , Ом	200	150	100	250	150	300
$C$ , мкФ	2	3	4	5	1,5	2
$L$ , мГн	20	25	30	40	10	25
$f$ , Гц	350	400	300	450	500	450
$U$ , В	5	5	5	5	5	5

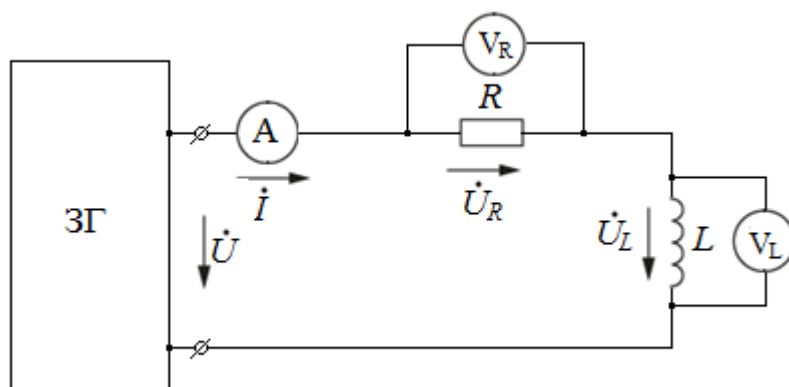


Рисунок 3.1

Таблица 3.2

$U$ , В	$f$ , Гц	$R$ , Ом	$L$ , мГн	$X_L$ , Ом	$Z$ , Ом	$I$ , мА	$U_R$ , В	$U_L$ , В

3.2.2 Собрать цепь по схеме (рисунок 3.2), установить параметры цепи согласно заданному варианту (таблица 3.1). Измерить ток, напряжения на входе цепи и на каждом элементе. Результаты измерений занести в таблицу 3.3.

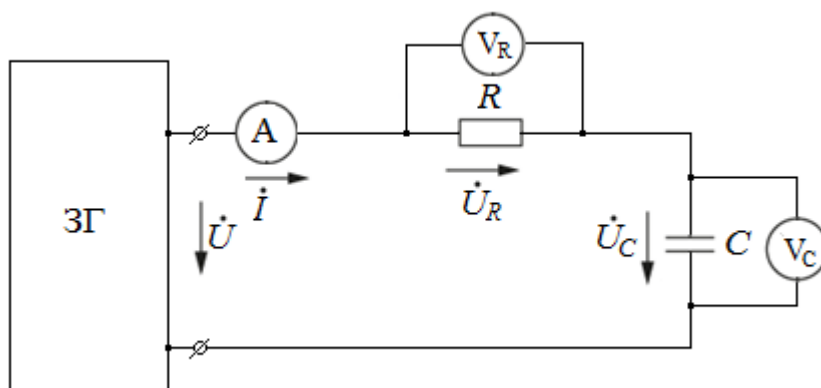


Рисунок 3.2

Таблица 3.3

$U, В$	$f, Гц$	$R, Ом$	$C, мкФ$	$X_C, Ом$	$Z, Ом$	$I, мА$	$U_R, В$	$U_C, В$

3.2.3 Собрать цепь по схеме (рисунок 3.3), установить параметры цепи, согласно заданному варианту (таблица 3.1). Измерить ток, напряжения на входе цепи и на каждом элементе. Результаты измерений занести в таблицу 3.4.

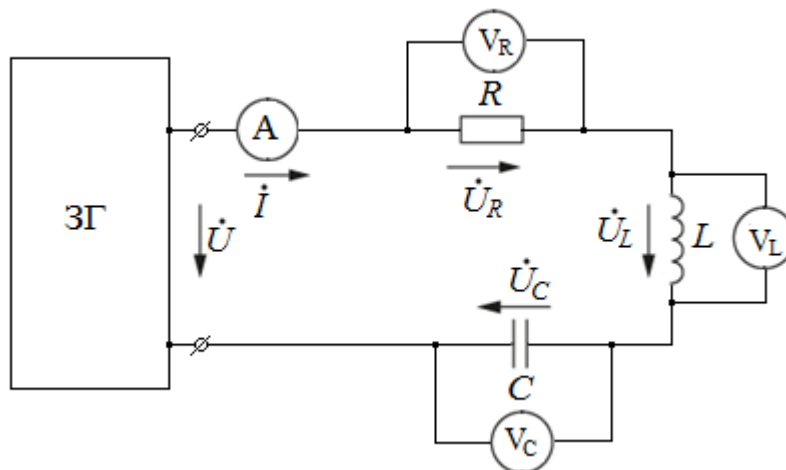


Рисунок 3.3

Таблица 3.4

$U, В$	$f, Гц$	$R, Ом$	$L, мГн$	$C, мкФ$	$X_L, Ом$	$X_C, Ом$	$Z, Ом$	$I, мА$	$U_R, В$	$U_L, В$	$U_C, В$



### 3.3 Оформление и анализ результатов работы

3.3.1 Для схем (рисунки 3.1–3.3) по результатам экспериментов рассчитать реактивные сопротивления  $X_C$ ,  $X_L$  и полное сопротивление  $Z$ . Результаты расчета записать в таблицы 3.2–3.4. Нарисовать в масштабе треугольники сопротивлений для схем (рисунки 3.1–3.3).

3.3.2 По данным таблицы 3.2 построить векторную диаграмму тока и напряжений для схемы (рисунок 3.1). Проверить выполнение второго закона Кирхгофа.

3.3.3 Используя данные таблицы 3.3, построить векторную диаграмму напряжений и токов для схемы (рисунок 3.2). По векторной диаграмме проверить выполнение второго закона Кирхгофа.

3.3.4 Используя данные таблицы 3.4, построить векторную диаграмму напряжений и токов для схемы (рисунок 3.3). По векторной диаграмме проверить выполнение второго закона Кирхгофа.

### 3.4 Методические указания

Комплексное сопротивление цепи для схемы 3.3 определяется по формуле:

$$\underline{Z} = R + j(X_L - X_C).$$

Комплексное значение тока рассчитывается по формуле:

$$\dot{i} = \frac{\dot{U}}{\underline{Z}} A.$$

Комплексы падений напряжений на участках:

$$\dot{U}_R = R \dot{i};$$

$$\dot{U}_L = jX_L \dot{i};$$

$$\dot{U}_C = -jX_C \dot{i}.$$

Аналогично выполняются расчеты для схем 3.1 и 3.2.

Построим векторную диаграмму (рисунок 3.4). Для этого нужно выбрать масштаб для тока и напряжений:  $m_I$ ,  $m_U$ .

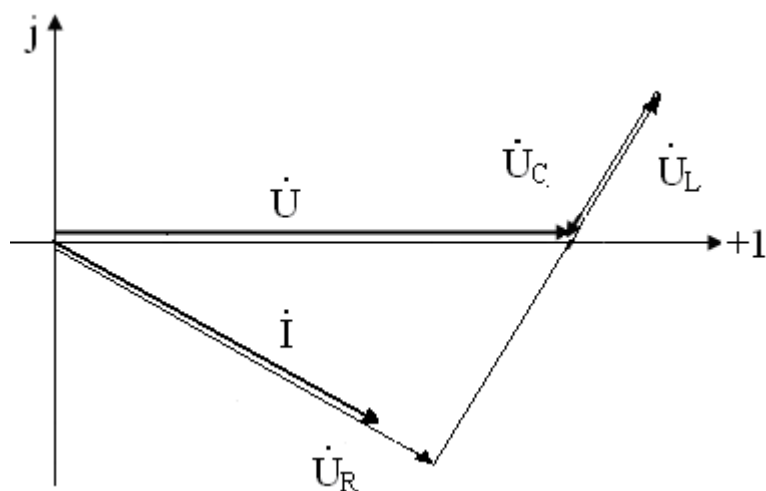


Рисунок 3.4

Треугольник, образованный векторами напряжений, называется треугольником напряжений.

Треугольник сопротивлений подобен треугольнику напряжений и приведен на рисунке 3.5, где:  $X = X_L - X_C$ .

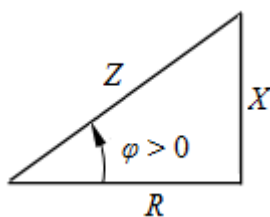


Рисунок 3.5

Контрольные вопросы:

- 1) Закон Ома в комплексной форме для неразветвленной цепи R, L, C.
- 2) Последовательное соединение сопротивления, индуктивности, емкости в цепях синусоидального тока.
- 3) Как перейти от комплексного тока и комплексного напряжения к их мгновенным значениям?
- 4) -----Второй закон Кирхгофа в комплексной форме для неразветвленной цепи R,L,C.

#### 4 Лабораторная работа № 4. Исследование разветвлённой электрической цепи однофазного синусоидального тока

Цель работы: получение навыков экспериментального исследования разветвленных цепей однофазного синусоидального тока, построение векторных диаграмм.

## 4.1 Подготовка к работе

Повторить раздел «Линейные электрические цепи однофазного синусоидального тока».

Письменно ответить на вопросы и выполнить задания:

4.1.1 Записать закон Ома в комплексной форме для параллельной цепи  $R, L, C$  (рисунок 4.1).

4.1.2 Рассчитать комплексные значения токов в каждой ветви схемы (рисунок 4.1).

4.1.3 Построить векторную диаграмму токов для (рисунок 4.1).

4.1.4 Составить уравнения по законам Кирхгофа в комплексной форме для цепи (рисунок 4.2).

4.1.5 Рассчитать комплексные значения токов в каждой ветви схемы и комплексные значения напряжений на каждом элементе схемы (рисунок 4.2).

4.1.6 Построить векторную диаграмму токов и напряжений для цепи (рисунок 4.2).

4.1.7 Нарисовать схемы (рисунки 4.1, 4.2) и таблицы 4.2, 4.3.

## 4.2 Порядок выполнения работы

4.2.1 Собрать цепь по схеме (рисунок 4.1), установить параметры цепи, согласно заданному варианту (таблица 4.1).

Таблица 4.1

№ варианта	1	2	3	4	5	6
$R_1$ , Ом	150	100	200	100	75	200
$R_2$ , Ом	200	300	100	250	150	150
$C$ , мкФ	2	1	3	1,25	1,5	2
$L$ , мГн	20	30	25	40	25	20
$f$ , Гц	300	400	500	350	450	400
$U$ , В	5	5	5	5	5	5

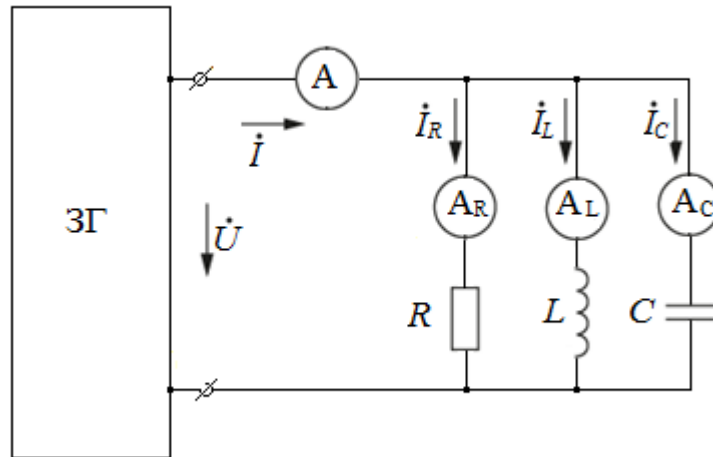


Рисунок 4.1

4.2.2 Измерить напряжение на входе цепи, токи в каждой ветви. Результаты измерений занести в таблицу 4.2.

Таблица 4.2

$U, В$	$f, Гц$	$R, Ом$	$L, мГн$	$C, мкФ$	$I, мА$	$I_R, мА$	$I_L, мА$	$I_C, мА$

4.2.3 Собрать цепь по схеме (рисунок 4.2), установить параметры цепи, согласно заданному варианту (таблица 4.1).

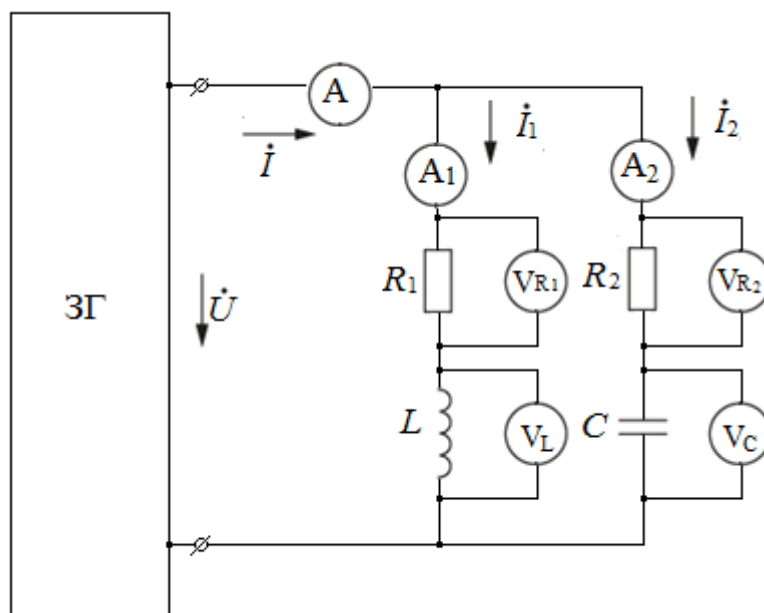


Рисунок 4.2

4.2.4 Измерить токи во всех ветвях, напряжения на всех элементах цепи. Результаты измерений занести в таблицу 4.3.

Таблица 4.3

$U, B$	$f, Гц$	$I, mA$	$I_1, mA$	$I_2, mA$	$U_{R1}, B$	$U_{R2}, B$	$U_L, B$	$U_C, B$

### 4.3 Оформление и анализ результатов работы

4.3.1 Рассчитать комплексные значения токов в каждой ветви схемы (рисунок 4.1).

4.3.2 Используя данные таблицы 4.2, построить векторную диаграмму напряжений и токов для исследуемой цепи. По векторной диаграмме проверить выполнение первого закона Кирхгофа.

4.3.3 Рассчитать комплексные значения токов в каждой ветви схемы и комплексные значения напряжений на каждом элементе схемы (рисунок 4.2).

4.3.4 Используя данные таблицы 4.2, построить векторную диаграмму напряжений и токов для исследуемой цепи.

### 4.4 Методические указания

4.4.1 Рассчитаем токи и построим векторную диаграмму токов для схемы (рисунок 4.1).

$$\dot{I} = \frac{\dot{U}}{R} A,$$

Векторная диаграмма построена для случая, когда ток в ветви с емкостью больше тока в ветви с индуктивностью  $\dot{I}_C > \dot{I}_L$  (рисунок 4.3).

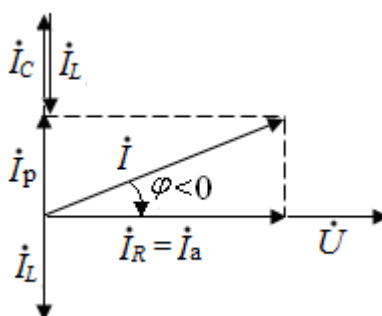


Рисунок 4.3

Первый закон Кирхгофа для схемы 4.1 можно проверить по формуле:

$$I = \sqrt{I_R^2 + (I_L - I_C)^2} = \sqrt{I_a^2 + I_p^2},$$

где  $I_a = I_R$  – активная составляющая тока  $I$ ;

$I_p = I_L - I_C$  – реактивная составляющая тока  $I$ .

Контрольные вопросы:

- 1) Закон Ома в комплексной форме для параллельной цепи R, L, C.
- 2) Параллельное соединение сопротивления, индуктивности, емкости в цепях синусоидального тока.
- 3) Законы Кирхгофа в комплексной форме для разветвленной цепи.

## 5. Лабораторная работа № 5. Исследование трехфазной цепи при соединении фаз источника и приемника звездой

Цель: получение навыков теоретического и экспериментального исследования трехфазной цепи при соединении фаз источника и приемника звездой с нулевым проводом и без нулевого провода.

### 5.1 Подготовка к работе

Повторить раздел «Трехфазные электрические цепи»

Письменно ответить на вопросы и выполнить задания:

5.1.1 Какое соединение фаз источника и приемника называется «соединение звездой»?

5.1.2 Какая трехфазная система ЭДС называется симметричной? Для симметричной системы ЭДС записать мгновенные и комплексные действующие значения.

5.1.3 Какие точки на схеме трехфазной цепи называют нейтральными? Какой провод называют нейтральным (нулевым) проводом?

5.1.4 Какие напряжения называются фазными и какие линейными? Какие токи называются фазными и какие линейными?

5.1.5 Какой режим трехфазной цепи называется симметричным?

5.1.6 Какие соотношения между фазными и линейными величинами токов и напряжений при симметричном режиме?

5.1.7 Как определяется ток в нейтральном проводе? Чему равен ток в нейтральном проводе  $I_N$  в симметричном режиме?

5.1.8 Записать формулу для расчета напряжений  $U_{nN}$  по методу двух узлов.

5.1.9 Построить векторные диаграммы токов и топографические диаграммы напряжений для трехфазной цепи с нейтральным проводом при следующих режимах:

- симметричный режим (во всех фазах приемника активные сопротивления);

- аварийный режим – обрыв одной из фаз нагрузки по указанию преподавателя, сопротивление двух других фаз активные и равные.

5.1.10 Построить векторные диаграммы токов и топографические диаграммы напряжений для трехфазной цепи без нейтрального провода при следующих режимах:

- симметричный режим (во всех фазах активные сопротивления);
- аварийные режимы – обрыв и короткое замыкание одной из фаз приемника по указанию преподавателя, сопротивления двух других фаз активные и равные.

5.1.11 Нарисовать схемы трехфазной цепи при соединении «звезда-звезда» с нейтральным проводом и без нейтрального провода (рисунок 5.1, 5.2). Нарисовать таблицы 5.1, 5.2.

## 5.2 Порядок выполнения работы

5.2.1 Подобрать равные сопротивления резисторов  $R_1=R_2=R_3$ .

5.2.2 Включить блок трехфазных напряжений и установить значение фазных ЭДС в соответствии с заданием преподавателя. Собрать фазы источника звездой.

5.2.3 Собрать трехфазную цепь при соединении фаз источника и приемника звездой с нейтральным проводом (рисунок 5.1). Нейтральные точки источника приемника соединить накоротко через амперметр. Сопротивления всех фаз приемника активные и равные:  $R_A=R_1$ ,  $R_B=R_2$ ,  $R_C=R_3$  (симметричный режим). Измерить токи в фазах приемника, ток в нейтральном проводе  $I_N$ , фазные и линейные напряжения приемника. Результаты измерений занести в таблицу 5.1.

5.2.4 Экспериментально исследовать аварийный режим, возникающий в цепи с нейтральным проводом при обрыве одной из фаз приемника по указанию преподавателя. Сопротивление двух других фаз приемника такие же, как в п. 5.2.3. Измерить токи в фазах приемника, ток в нейтральном проводе  $I_N$ , фазные и линейные напряжения приемника. Результаты измерений занести в таблицу 5.1.

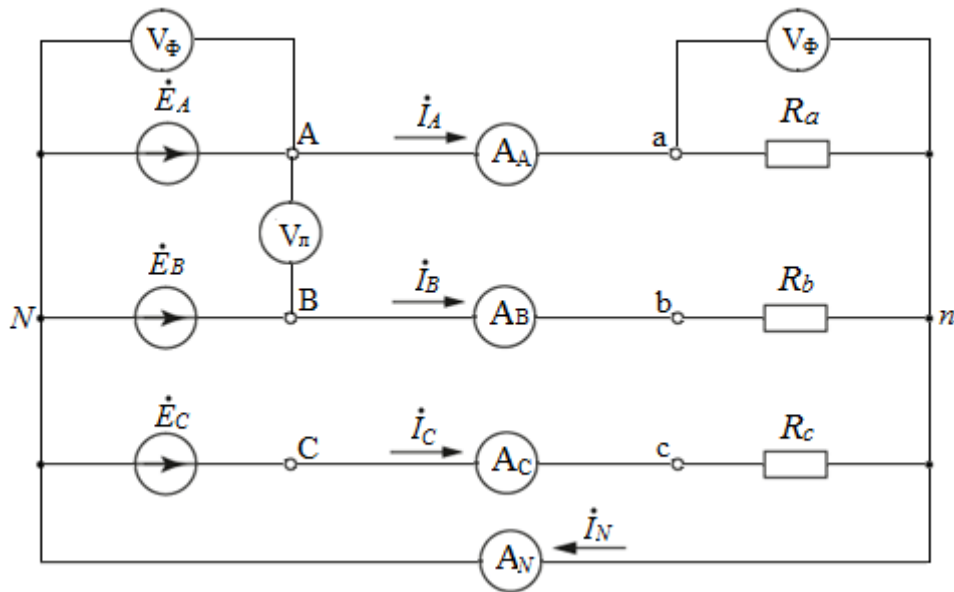


Рисунок 5.1

Таблица 5.1

Режим работы	$U_{AN},$ $B$	$U_{BN},$ $B$	$U_{CN},$ $B$	$U_{AB},$ $B$	$U_{BC},$ $B$	$U_{CA},$ $B$	$U_{an},$ $B$	$U_{bn},$ $B$	$U_{cn},$ $B$	$I_A,$ $mA$	$I_B,$ $mA$	$I_C,$ $mA$	$I_N,$ $mA$
Экспериментальные данные													
Симметричный режим													
Обрыв в фазе приемника													
Теоретический расчет													
Симметричный режим													
Обрыв в фазе приемника													

5.2.5 Собрать симметричную трехфазную цепь при соединении фаз источника и приемника звездой. Оборвать нейтральный провод. Между нейтральными точками источника и приемника подключить вольтметр. Сопротивление всех фаз приемника такие же, как в п. 5.2.3. Измерить токи в фазах приемника, фазные и линейные напряжения приемника, напряжение смещения нейтрали  $U_{nN}$ . Результаты измерений занести в таблицу 5.2.

5.2.6 Экспериментально исследовать аварийный режим, возникающий в трехфазной цепи без нейтрального провода при обрыве одной из фаз приемника, фаза та же, что и в п. 5.2.4 (режим «холостого хода»). Сопротивления двух других фаз нагрузки такие же, как в п. 5.2.3. Измерить токи, фазные и линейные напряжения приемника, напряжение смещения нейтрали  $U_{nN}$ . Результаты измерений занести в таблицу 5.2.



5.2.7 Экспериментально исследовать аварийный режим, возникающий в трехфазной электрической цепи без нейтрального провода при коротком замыкании одной из фаз нагрузки (фаза та же, что и в п. 5.2.4). Сопротивление двух других фаз приемника такие же, как в п. 5.2.3. Измерить токи, фазные и линейные напряжения приемника, напряжение смещения нейтрали  $U_{nN}$ . Результаты измерений занести в таблицу 5.2.

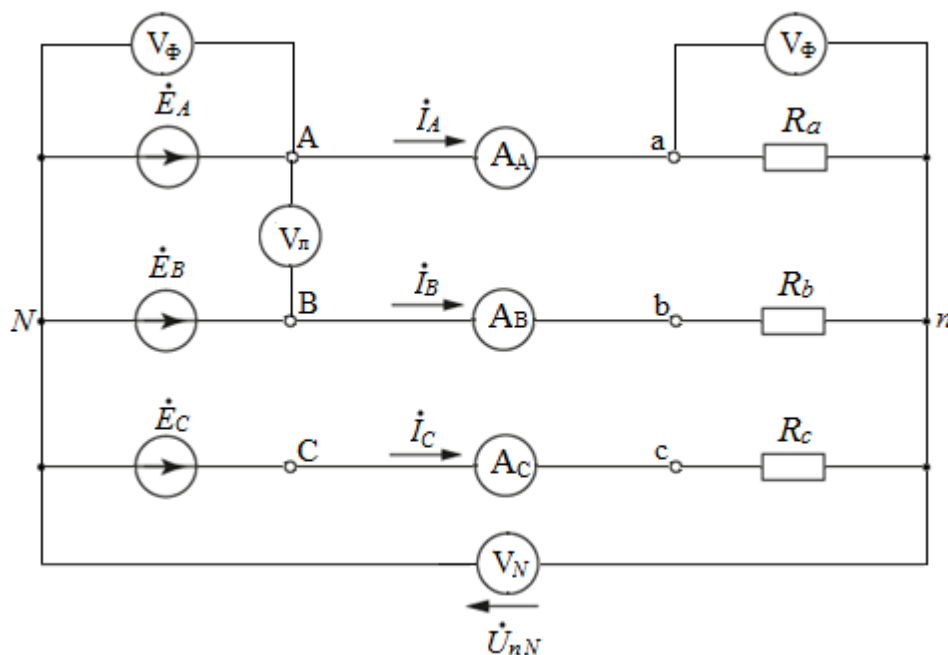


Рисунок 5.2

Таблица 5.2

Режим работы	$U_{AN}$ , В	$U_{BN}$ , В	$U_{CN}$ , В	$U_{AB}$ , В	$U_{BC}$ , В	$U_{CA}$ , В	$U_{an}$ , В	$U_{bn}$ , В	$U_{cn}$ , В	$I_A$ , мА	$I_B$ , мА	$I_C$ , мА	$U_{nN}$ , В
Экспериментальные данные													
Симметричный режим													
Обрыв в фазе приемника													
К.З. в фазе приемника													
Теоретический расчет													
Симметричный режим													
Обрыв в фазе приемника													
К.З. в фазе приемника													

### 5.3 Оформление и анализ результатов работы

5.3.1 По экспериментальным данным п. 5.2.3 построить топографическую диаграмму напряжений и векторную диаграмму токов.

Проверить соотношение между линейными и фазными напряжениями в симметричном режиме.

По известным значениям фазных напряжений и сопротивлений фаз нагрузки рассчитать действующее значение токов в фазах нагрузки. Ток в нейтральном проводе  $I_N$  определить из векторной диаграммы, убедиться, что в симметричном режиме ток  $I_N = 0$ . Результаты расчета занести в таблицу 5.1. Сравнить теоретические значения с экспериментальными.

5.3.2 По экспериментальным данным п. 5.2.4 построить топографическую диаграмму напряжений и векторную диаграмму токов в фазах нагрузки. Определить по векторной диаграмме ток  $I_N$ . Результат занести в таблицу 5.1 (в строку «Теоретический расчет»), определить значения напряжений и токов при обрыве одной из фаз нагрузки (фаза та же, что в п. 5.2.4). Результаты занести в таблицу 5.1.

5.3.3 По экспериментальным данным п. 5.2.5 построить топографическую диаграмму напряжений и векторную диаграмму токов, определить значения напряжений и токов. Результаты занести в таблицу 5.2.

5.3.4 По экспериментальным данным п. 5.2.6 построить топографическую диаграмму напряжений и векторную диаграмму токов. Определить значения напряжений и токов. Результаты занести в таблицу 5.2.

5.3.5 По экспериментальным данным п. 5.2.7 построить топографическую диаграмму напряжений и векторную диаграмму токов. Определить значения напряжений и токов. Результаты занести в таблицу 5.2.

5.3.6 Сравнить результаты теоретических и экспериментальных исследований в трехфазной цепи с нейтральным проводом и без нейтрального провода в симметричном режиме и при обрыве одной из фаз и короткого замыкания приемника. Сделать выводы и оценить роль нейтрального провода.

### 5.4 Методические указания

5.4.1 Система с тремя синусоидальными ЭДС одинаковой частоты, с равными амплитудами и сдвинутыми по фазе относительно друг друга на угол  $120^\circ$  называется симметричной трехфазной системой ЭДС.

Мгновенные и комплексные действующие значения симметричной системы ЭДС записываются в виде:

$$e_A = E_m \sin \omega t; \quad e_B = E_m \sin(\omega t - 120^\circ); \quad e_C = E_m \sin(\omega t + 120^\circ);$$

$$E_A = \frac{E_m}{\sqrt{2}} = E; \quad E_B = \frac{E_m}{\sqrt{2}} e^{-j120^\circ} = E e^{-j120^\circ}; \quad E_C = \frac{E_m}{\sqrt{2}} e^{j120^\circ} = E e^{j120^\circ}.$$

Линейные ( $U_{AB} = U_{ab}$ ,  $U_{BC} = U_{bc}$ ,  $U_{CA} = U_{ca}$ ) и фазные ( $U_{AN} = U_{an}$ ,  $U_{BN} = U_{bn}$ ,  $U_{CN} = U_{cn}$ ) напряжения в симметричном режиме для трехфазной цепи с нейтральным и без нейтрального одинаковы. Векторная (топографическая) диаграмма линейных и фазных напряжений, совмещенная с векторной диаграммой токов в симметричном режиме для трехфазной цепи с нейтральным и без нейтрального провода, показана на рисунке 5.3.

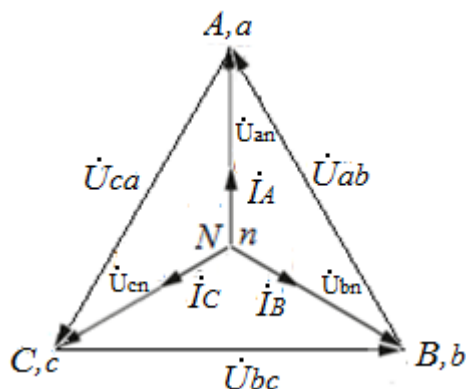


Рисунок 5.3

Из векторной диаграммы токов следует, что ток в нейтральном проводе в схеме с нейтральным проводом (рисунок 5.1) равен нулю:

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

Контрольные вопросы:

- 1) Основные схемы соединения трехфазных цепей.
- 2) Схема соединения фаз источника и приемника звездой.
- 3) Симметричный режим трехфазной цепи, соединенной звездой.
- 4) Аварийные режимы трехфазной цепи, соединенной звездой.
- 5) Симметричный режим трехфазной цепи, соединенной звездой с нейтралью.
- 6) Аварийные режимы трехфазной цепи, соединенной звездой с нейтралью.

## 6 Лабораторная работа № 6. Исследование трехфазной цепи при соединении треугольником

Цель работы: получение навыков экспериментального исследования трехфазных электрических цепей при соединении треугольником.

## 6.1 Подготовка к работе

Повторить раздел «Трёхфазные электрические цепи».

Письменно ответить на вопросы и выполнить задания:

6.1.1 Как связаны линейные и фазные токи, напряжения в трёхфазной цепи при соединении треугольником?

6.1.2 Нарисовать схему трёхфазной цепи при соединении треугольником. На схеме указать линейные и фазные токи, напряжения (рисунок 6.1).

6.1.3 Построить векторную диаграмму токов и напряжений в симметричном режиме, сопротивления нагрузки во всех фазах активные и равные ( $R_{ab} = R_{bc} = R_{ca}$ ).

6.1.4 Нарисовать схему и построить векторную диаграмму токов и напряжений в аварийном режиме при обрыве линейного провода согласно варианту (таблица 6.1).

6.1.5 Нарисовать схему и построить векторную диаграмму токов и напряжений в аварийном режиме при обрыве фазы приемника согласно варианту (таблица 6.1).

## 6.2 Порядок выполнения работы

6.2.1 Собрать трёхфазную цепь с нагрузкой, соединённой треугольником (рисунок 6.1), состоящей из трех резисторов с одинаковыми сопротивлениями  $R_{ab}$ ,  $R_{bc}$ ,  $R_{ca}$ . Установить значения фазных ЭДС и сопротивления согласно варианту (таблица 6.1). Предусмотреть приборы для измерения напряжений и токов. Измерить значения фазных и линейных токов и напряжений в симметричном режиме и занести их в таблицу 6.2.

6.2.2 Экспериментально исследовать аварийный режим в цепи при обрыве одного из линейных проводов согласно варианту (таблица 6.1). Сопротивления нагрузки такие же, как в п. 6.2.1. Измерить значения напряжений источника и приемника, токов в аварийном режиме и занести их в таблицу 6.2.

6.2.3 Экспериментально исследовать аварийный режим в цепи при обрыве одной из фаз нагрузки согласно варианту (таблица 6.1). Сопротивление двух других фаз нагрузки такие же, как в п. 6.2.1. Измерить значение напряжений приемника и источника, токов в аварийном режиме и занести их в таблицу 6.2.

## 6.3 Оформление и анализ результатов работы

6.3.1 Построить по экспериментальным данным п. 6.2.1 векторную диаграмму напряжений и векторную диаграмму токов. Проверить соотношение между линейными и фазными токами в симметричном режиме. По известным

значениям фазных напряжений и сопротивлений фаз приемника рассчитать токи. Результаты расчета занести в таблицу 6.2.

6.3.2 Построить по экспериментальным данным п. 6.2.2 топографическую диаграмму фазных напряжений источника и приемника. Построить векторную диаграмму фазных токов и найти из нее линейные токи. Значения, найденные по топографической и векторной диаграммам, занести в таблицу 6.2.

6.3.3 Построить по экспериментальным данным п. 6.2.3 топографическую диаграмму напряжений и векторную диаграмму фазных токов, найти из нее линейные токи, сравнить с измеренными значениями. Значения токов, найденные по диаграмме, занести в таблицу 6.2.

6.3.4 Сделать выводы по работе. Сравнить экспериментальные значения с расчетными и полученными из векторных диаграмм. Обратит внимание на изменение напряжений на отдельных фазах приемника, фазных и линейных токов в аварийных режимах.

Таблица 6.1

№ варианта	Фазные напряжения генератора $U_{AN} = U_{BN} = U_{CN} = U_{\phi}$	Сопротивления фаз приемника $R_{ab} = R_{bc} = R_{ca} = R$	Режим работы цепи	
			Обрыв линейного провода	Обрыв фазы
1	5	200	A	ca
2	6	100	C	bc
3	7	150	B	ab
4	8	100	A	bc
5	9	200	B	ab
6	10	150	C	ca

Таблица 6.2

Режим работы	Вид исследований	Значение напряжения						Значения токов					
		$U_{AB}$ В	$U_{BC}$ В	$U_{CA}$ В	$U_{ab}$ В	$U_{bc}$ В	$U_{ca}$ В	$I_A$ , мА	$I_B$ , мА	$I_C$ , мА	$I_{ab}$ мА	$I_{bc}$ мА	$I_{ca}$ мА
	эксп.												
	теор												

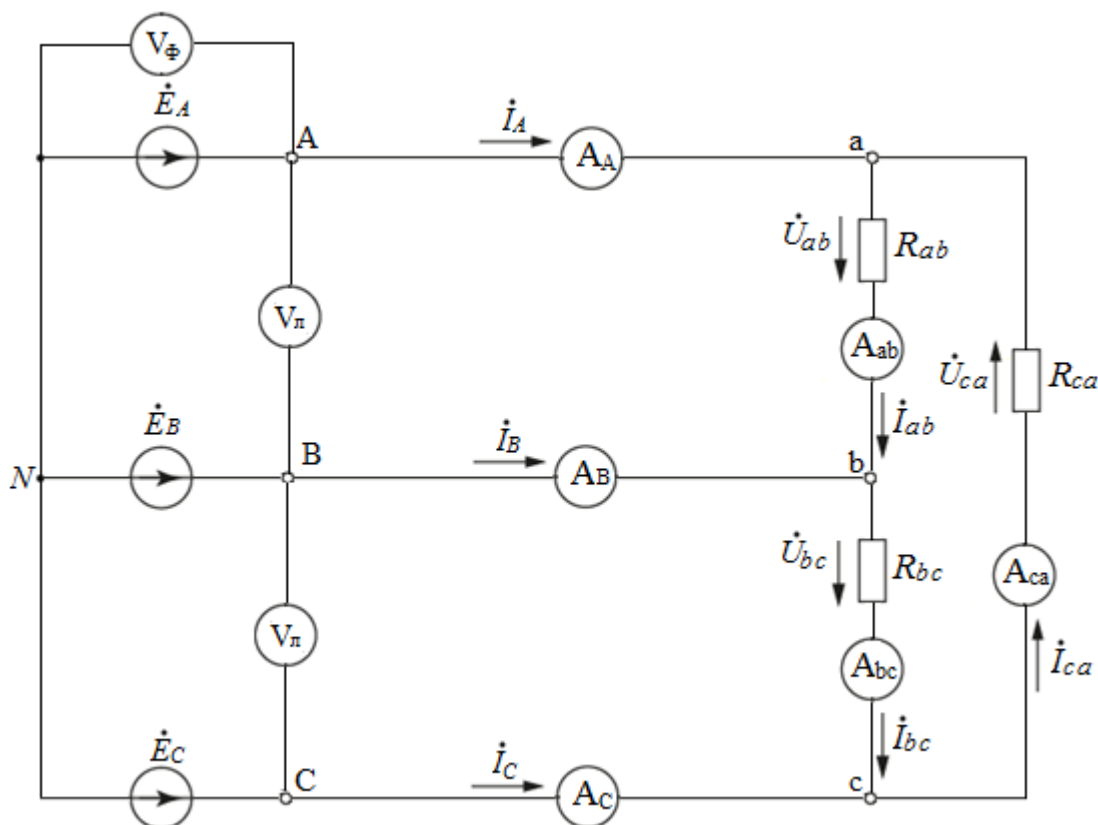


Рисунок 6.1 – Схема соединения приемника треугольником

#### 6.4 Методические указания

6.4.1 К трехфазному приемнику, соединенному треугольником, приложена симметричная система линейных напряжений генератора, обмотки которого соединены звездой (рисунок 6.1). Линейные напряжения генератора связаны с фазными напряжениями генератора соотношением:

$$U_{л} = \sqrt{3}U_{\phi}.$$

Значение фазного напряжения генератора  $U_{\phi}$  задано в таблице 6.1.

Так как фазы приемника соединены треугольником, то линейные напряжения  $U_{л}$  равны фазным напряжениям на фазах приемника:  $U_{ab} = U_{bc} = U_{ca} = U_{л}$ . Примем начальную фазу напряжения  $\dot{U}_{ab}$  равной нулю, получим:

$$\dot{U}_{ab} = U_{л}e^{j0^{\circ}}; \quad \dot{U}_{bc} = U_{л}e^{-j120^{\circ}}; \quad \dot{U}_{ca} = U_{л}e^{j120^{\circ}}$$

Токи в фазах приемника определяются по закону Ома. Так как режим в трехфазной цепи симметричный ( $R_{ab} = R_{bc} = R_{ca} = R$ ), достаточно рассчитать ток только в одной фазе:

$$I_{ab} = \frac{U_{ab}}{R_{ab}}$$

Фазные токи приемника  $I_{ab}$ ,  $I_{bc}$ ,  $I_{ca}$  имеют одинаковые значения и совпадают по фазе с соответствующими напряжениями.

Линейные токи  $I_A$ ,  $I_B$ ,  $I_C$  определяются как разность фазных токов:

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

В симметричном режиме фазные и линейные токи связаны соотношением:

$$I_l = \sqrt{3}I_\phi.$$

Векторная диаграмма напряжений и токов показана на рисунке 6.2.

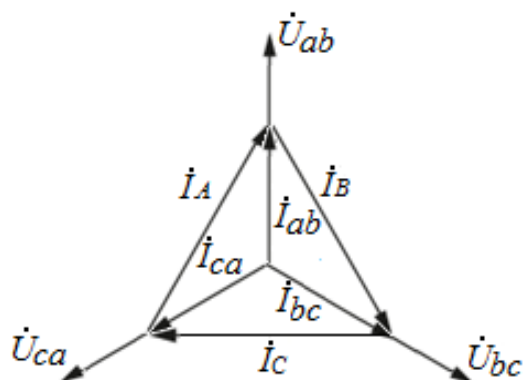


Рисунок 6.2 – Векторная диаграмма напряжений и токов для трехфазной цепи при соединении фаз приемника треугольником

Контрольные вопросы:

- 1) Схема соединения фаз источника и приемника треугольником.
- 2) Симметричный режим трехфазной цепи, соединенной треугольником.
- 3) Обрыв линии трехфазной цепи, соединенной треугольником.
- 4) Обрыв фазы трехфазной цепи, соединенной треугольником.
- 5) Векторная диаграмма токов и напряжений в симметричном режиме трехфазной цепи, соединенной треугольником.
- 6) Векторные диаграммы токов и напряжений при обрыве линии или фазы трехфазной цепи, соединенной треугольником.

## Список литературы

### Основная

1. Л. П. Болдырева, Н.М. Айтжанов. Основы электротехники и электроники. Учебное пособие для студентов ОП 6В11201 – «Безопасность жизнедеятельности и защита окружающей среды». – Алматы: НАО «АУЭС имени Гумарбека Даукеева», 2021. – 80 с.
2. Иванов И.И. Электротехника и основы электроники. – СПб.: Лань, 2012. – 730 с.
3. Белов Н.В. Электротехника и основы электроники. – СПб.: Лань, 2012. – 432 с.
4. Подкин Ю.Г. Электротехника и электроника. – М.: Академия, 2011. – 520 с.
5. Петленко А.Я. Электротехника и электроника. – М.: Академия, 2010. – 340 с.

### Дополнительная

6. Герасимов Г.Г. Электротехника и электроника. – М.: Энергоатомиздат, 1998, 432 с.
7. Герасимов Г.Г. Сборник задач по электронике и основам электротехники. – М.: Высшая школа, 1998. – 288 с.

### Дополнительные источники:

10. Казахстанская национальная электронная библиотека <http://kazneb.kz/>
11. Online курсы <https://www.coursera.org/>
12. Бесплатные онлайн-курсы от 140 ведущих университетов мира <https://www.edx.org/>
13. Библиографическая и реферативная база данных <https://www.elsevier.com/>, <https://www.elsevier.com/solutions/scopus>
14. Независимая от издателей глобальная база данных о цитировании публикаций и исследовательская аналитическая платформа <https://clarivate.com/webofsciencelgroup/solutions/web-of-science/>
15. Национальный открытый Университет России «ИНТУИТ» <https://www.intuit.ru/>



Сводный план 2023 г., поз. 29.

Болдырева Любовь Павловна

## Электротехника и основы электроники

Методические указания и задания к лабораторным работам по образовательной программе 5В071700 – «Теплоэнергетика»

Редактор:

Жанабаева Е.Б.

Специалист по стандартизации:

Ануарбек Ж.А.

Подписано в печать \_\_\_\_\_

Формат 60×84 1/16

Тираж 50 экз.

Бумага типографская № 1

Объем 2.0 уч.-изд. л.

Заказ \_Цена 1000 тенге

Копировально-множительное бюро  
некоммерческого акционерного общества  
«Алматинский университет энергетики и связи  
имени Гумарбека Даукеева»  
050013, Алматы, Байтурсынова, 126/1