



**Некоммерческое  
акционерное  
общество**

**АЛМАТИНСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ  
ЭНЕРГЕТИКИ И  
СВЯЗИ**

**Кафедра теоретических  
основ электротехники**

## **ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ**

Методические указания по выполнению лабораторных работ  
для специальности 5В081200– Энергообеспечение сельского хозяйства

Алматы 2014

СОСТАВИТЕЛИ: Болдырева Л.П., Амангалиев Е.З. Теоретические основы электротехники. Методические указания по выполнению лабораторных работ. - Алматы, АУЭС: 2014.- 32 с.

Методические указания составлены в соответствии с УМК дисциплины теоретические основы электротехники для специальности 5В081200-Энергообеспечение сельского хозяйства. Методические указания разработаны для выполнения лабораторных работ на учебно-лабораторных стендах УИЛС-2, отвечающим требованиям высшей школы и правилам техники безопасности.

Тематика лабораторных работ: а) исследование цепей постоянного тока; б) исследование линейных цепей однофазного синусоидального тока; в) исследование трёхфазных цепей.

Методические указания раскрывают цель и содержание лабораторной работы, порядок выполнения и методы обработки результатов исследований.

Методические указания предназначены студентам, обучающимся по специальности 5В081200-Энергообеспечение сельского хозяйства-бакалавриат.

Рецензент: ст.преподаватель Курпенов Б.К.

Печатается по плану издания некоммерческого акционерного общества «Алматинского университета энергетики и связи» на 2014 г.

© НАО «Алматинский университет энергетики и связи», 2014 г.

## Содержание

Введение	4
Порядок выполнения и правила оформления отчетов лабораторных работ	6
1 Лабораторная работа №1. Исследование линейной электрической цепи постоянного тока	8
2 Лабораторная работа №2. Исследование разветвленной электрической цепи постоянного тока	11
3 Лабораторная работа №3. Исследование цепей однофазного синусоидального тока	15
4 Лабораторная работа №4. Исследование трехфазной цепи при присоединении фаз источника и приемника звездой	21
5 Лабораторная работа №5. Исследование трехфазной цепи при присоединении треугольником	27
Список литературы	31

## Введение

Для повышения качества подготовки специалистов, формирования у студентов творческого мышления и инженерных навыков большое значение имеют лабораторные занятия.

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

Практическая реализация лабораторных занятий на кафедре ТОЭ обеспечивается универсальными учебно-исследовательскими лабораторными стендами УИЛС – 2.

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 по лабораторным работам.

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;
- основные теоретические положения и ответы на вопросы подготовки;
- краткие сведения об эксперименте;
- принципиальная схема исследуемой цепи;
- перечень приборов и элементов;
- 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, написанном четко и аккуратно пастой одного цвета, допускается применение только общепринятых обозначений или сокращений, расшифрованных при первом упоминании.

# 1 Лабораторная работа № 1. Исследование линейной электрической цепи постоянного тока

Цель работы: получение навыков экспериментального исследования цепей постоянного тока, используя законы Ома, Кирхгофа и метод наложения.

## 1.1 Подготовка к работе

1.1.1 Повторить раздел «Линейные электрические цепи постоянного тока».

Письменно ответить на вопросы:

1) Как записать законы Ома и Кирхгофа соответственно для схем (рисунки 1.1, 1.2)?

2) Каким образом экспериментально определить э.д.с. источника напряжения?

3) Как построить для схемы ( рисунок 1.1) потенциальную диаграмму?

4) Как для схемы (рисунок 1.2) произвести расчёт токов методом наложения?

## 1.2 Задание к выполнению работы

1.2.1 Собрать цепь (рисунок 1.1), установить ЭДС  $E_1$ ,  $E_2$  согласно заданному варианту (таблица 1.1).

Таблица 1.1

№ варианта	1	2	3	4	5	6
$E_1$	20	15	20	10	25	20
$E_2$	10	20	15	20	20	18

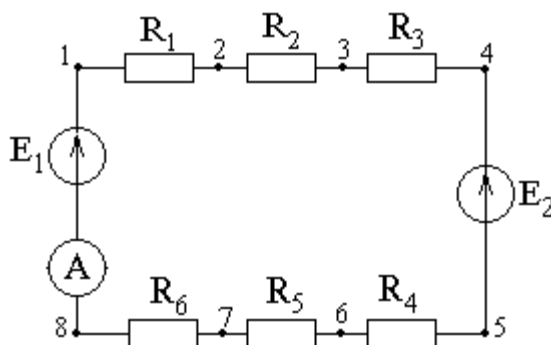


Рисунок 1.1

1.2.2 Измерить ток, ЭДС источников  $E_1$  и  $E_2$  и напряжения на резисторах. Результаты занести в таблицу 1.2.

Таблица 1.2

$I=$	$E_1=$		$E_2=$			
Резистор	$R_1$	$R_2$	$R_3$	$R_3$	$R_5$	$R_6$
Напряжения, В						
Сопротивления, Ом						
Проводимость, См						

1.2.3 Измерить потенциалы всех точек относительно одной, например,  $\varphi_1=0$ . Результаты занести в таблицу 1.3.

Таблица 1.3

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

1.2.4 Собрать цепь (рисунок 1.2) .

1.2.5 Для проверки метода наложения измерить токи в ветвях при поочередно закороченных э.д.с.  $E_1$  и  $E_2$  и при включении двух источников (рисунки 1.3, 1.4) результаты занести в таблицу 1.4.

Таблица 1.4

Вид исследований		$I_1$	$I_2$	$I_3$
Теоретический расчёт	$E_1 \neq 0; E_2 = 0$			
	$E_1 = 0; E_2 \neq 0$			
	$E_1 \neq 0; E_2 \neq 0$			
Эксперимент	$E_1 \neq 0; E_2 = 0$			
	$E_1 = 0; E_2 \neq 0$			
	$E_1 \neq 0; E_2 \neq 0$			
Расчёт по экспериментальным данным				

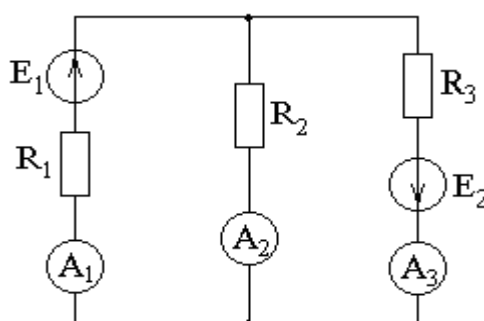


Рисунок 1.2



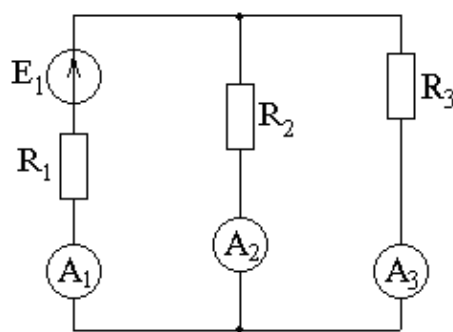


Рисунок 1.3

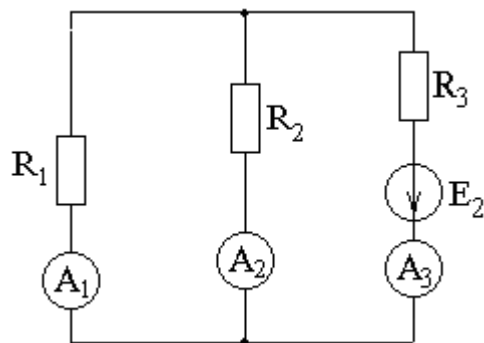


Рисунок 1.4

### 1.3 Обработка результатов экспериментов

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

1.3.2 Для схемы (рисунок 1.1) построить потенциальную диаграмму по расчётным и экспериментальным данным и определить из нее ток в цепи.

1.3.3 Для схемы (рисунок 1.2) произвести теоретический и экспериментальный расчёт токов методом наложения.

1.3.4 Проверить соблюдение законов Кирхгофа для схемы (см. рисунок 1.2).

1.3.5 Сравнить результаты экспериментов и теоретических расчётов.

### 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. Ток из потенциальной диаграммы для

неразветвленной цепи 
$$I = \frac{m_\varphi}{m_R} \operatorname{tg} \alpha,$$

где  $m_\varphi$ ,  $m_R$  - соответственно масштаб потенциалов и сопротивлений;

$\operatorname{tg} \alpha$  - тангенс угла наклона участка прямой потенциальной диаграммы к оси абсцисс.

1.4.2 Расчет токов методом наложения состоит в следующем: ток в любой ветви можно рассчитать как алгебраическую сумму токов, вызываемых в ней каждым из источников ЭДС в отдельности. При расчете токов, вызванных каким-либо источником ЭДС, остальные источники ЭДС в схеме заменяются короткозамкнутыми участками.

## Контрольные вопросы

- 1) Элементы электрических цепей постоянного тока.
- 2) Закон Ома для участка цепи с ЭДС.
- 3) I закон Кирхгофа для разветвленной схемы.
- 4) II закон Кирхгофа для разветвленной схемы.
- 5) Каким образом экспериментально определить э.д.с. источника напряжения?
- 6) Соединение измерительных приборов в электрических цепях.
- 7) Потенциальная диаграмма для неразветвленной схемы.
- 8) Расчёт токов методом наложения.

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

Цель работы: получение навыков экспериментального исследования цепей постоянного тока.

### 2.1 Подготовка к работе

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

Письменно ответить на следующие вопросы:

- 1) В чем суть метода активного двухполюсника?
- 2) Как рассчитать входное сопротивление активного двухполюсника?
- 3) Каково условие передачи максимальной мощности от активного двухполюсника к нагрузке?
- 4) Привести формулы расчета эквивалентного сопротивления при последовательном, параллельном, смешанном соединении сопротивлений, а также формулы преобразования треугольника сопротивлений в эквивалентную звезду сопротивлений и наоборот.

### 2.2 Порядок выполнения работы

Т а б л и ц а 2 . 1

№ варианта	1	2	3	4	5	6
№ схемы	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6
$E_1, В$	20	15	20	10	25	20
$E_2, В$	10	20	15	20	20	18
Ток, определяемый МЭГ	$I_1$	$I_2$	$I_3$	$I_4$	$I_5$	$I_6$

2.2.1 Согласно варианту задания (рисунки 2.1-2.6), изобразить исследуемую схему, задаться положительными направлениями токов в ветвях. Собрать цепь из резисторов и источников напряжения. При сборке

предусмотреть клеммы для подключения измерительных приборов. Ампервольтметры подключить в соответствии с выбранными направлениями токов.

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

Таблица 2.2

$I_1$ mA	$I_2$ mA	$I_3$ mA	$I_4$ mA	$I_5$ mA	$I_6$ mA	$U_{R1}$ B	$U_{R2}$ B	$U_{R3}$ B	$U_{R4}$ B	$U_{R5}$ B	$U_{R6}$ B

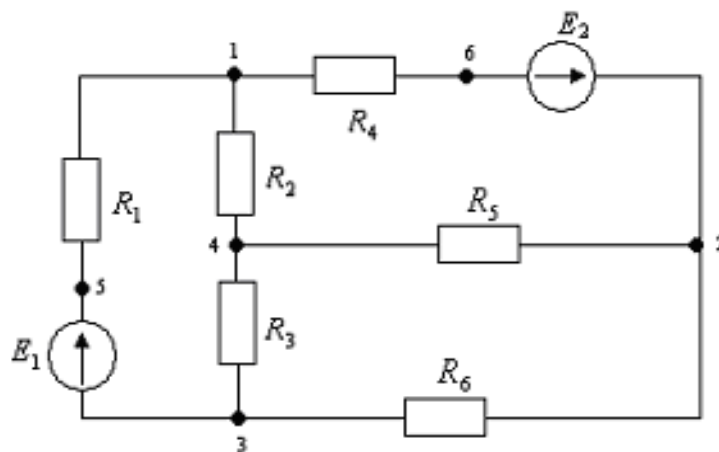


Рисунок 2.1

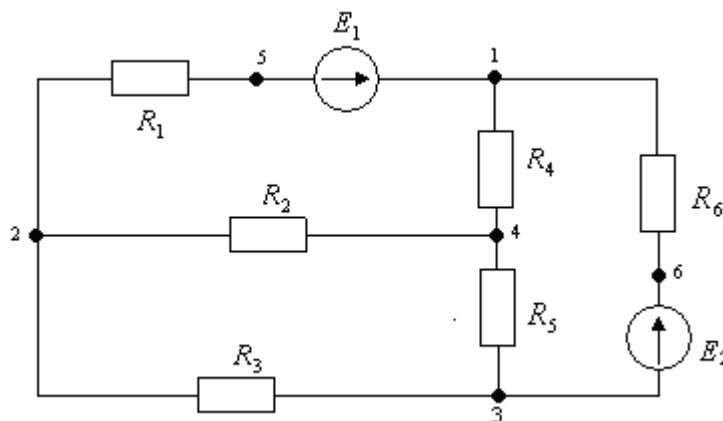


Рисунок 2.2

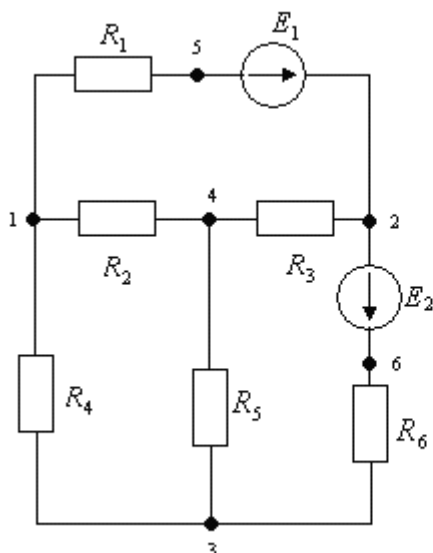


Рисунок 2.3

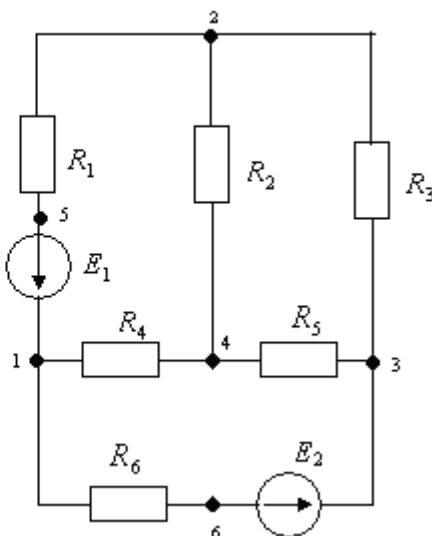


Рисунок 2.4

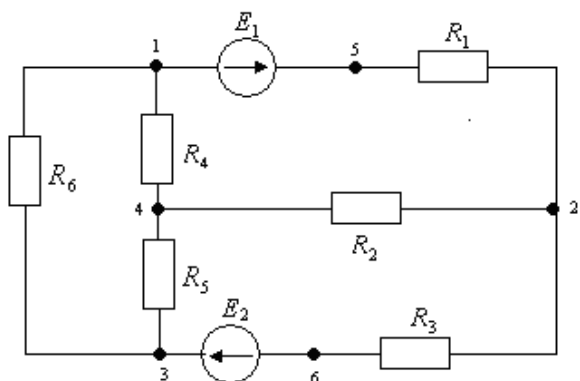


Рисунок 2.5

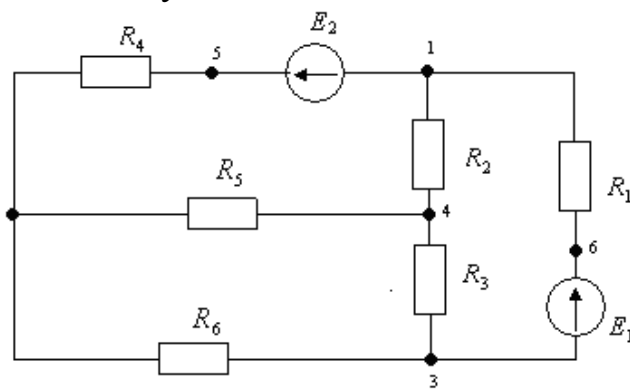


Рисунок 2.6

2.2.3 Принять условно потенциал одного из узлов за нуль. Измерить потенциалы всех точек, указанных на схеме. Результаты занести в таблицу 2.3.

Таблица 2.3

$\varphi_1, B$	$\varphi_2, B$	$\varphi_3, B$	$\varphi_4, B$	$\varphi_5, B$	$\varphi_6, B$

2.2.4 Для определения тока методом эквивалентного генератора в ветви  $I_B$  измерить напряжение холостого хода  $U_{xx}$  на зажимах разомкнутой ветви и ток  $I_{K3}$  в этой ветви при её коротком замыкании. Результаты занести в таблицу 2.4.

Т а б л и ц а 2 . 4

Вид исследования	$U_{xx}$ , В	$I_{BK3}$ , А	$R_{\text{ЭГ}}$ , Ом	$E_{\text{ЭГ}}$ , В	$I_B$ , А
Теоретический расчёт					
Экспериментальные исследования					

### 2.3 Оформление и анализ результатов работы

2.3.1 Рассчитать токи в ветвях, используя любой метод расчета цепей постоянного тока.

2.3.2 Сравнить значение тока  $I_B$ , полученное экспериментально и путём расчета методом эквивалентного генератора ( таблица 2.4).

Погрешность определить по формуле:

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

2.3.3 Сделать выводы о проделанной работе.

### 2.4 Методические указания

Определение тока методом эквивалентного генератора. Ток в искомой ветви  $I_B$  электрической цепи определяется по формуле:

$$I_B = \frac{U_{xx}}{R + R_{\text{ЭГ}}} = \frac{E_{\text{ЭГ}}}{R + R_{\text{ЭГ}}} ,$$

где  $U_{xx} = E_{\text{ЭГ}}$ ,  $U_{xx}$  - напряжение холостого хода на зажимах разомкнутой ветви;

$E_{\text{ЭГ}}$  -ЭДС эквивалентного генератора;

$R_{\text{ЭГ}}$  -внутреннее сопротивление эквивалентного генератора, равно входному сопротивлению пассивной цепи относительно зажимов разомкнутой ветви. Пассивная цепь получается из исходной схемы, в которой все источники ЭДС заменены короткозамкнутыми участками.

Сопротивление  $R_{\text{ЭГ}}$  можно рассчитать по формуле:

$$R_{\text{ЭГ}} = \frac{E_{\text{ЭГ}}}{I_{BK3}} = \frac{U_{xx}}{I_{BK3}} .$$

### Контрольные вопросы

- 1) Общие сведения о двухполюсниках.
- 2) Теорема об активном двухполюснике и ее применение для расчета разветвленных цепей.

- 3) Метод эквивалентного генератора.
- 4) Передача энергии от активного двухполюсника к пассивному.
- 5) Формулы расчета эквивалентного сопротивления при последовательном соединении сопротивлений.
- 6) Формулы расчета эквивалентного сопротивления при параллельном соединении сопротивлений.
- 7) Формулы расчета эквивалентного сопротивления при смешанном соединении сопротивлений.
- 8) Формулы преобразования треугольника сопротивлений в эквивалентную звезду сопротивлений и наоборот.

### **3 Лабораторная работа №3. Исследование цепей однофазного синусоидального тока**

Цель работы: получение навыков экспериментального исследования неразветвленных и разветвленных цепей однофазного синусоидального тока.

#### **3.1 Подготовка к работе**

При подготовке к работе необходимо изучить разделы курса ТОЭ, относящиеся к цепям однофазного синусоидального тока.

Выполнить следующее:

- 1) Записать закон Ома в комплексной форме и для действующих значений неразветвленной цепи  $R, L, C$  (рисунок 3.1).
- 2) Составить уравнения по законам Кирхгофа в комплексной форме для одной из цепей на рисунках 3.3-3.8 в соответствии с вариантом задания (по указанию преподавателя).
- 3) Построить векторные диаграммы токов и напряжений для цепей, представленных на рисунках 3.1, 3.2 и для одной из цепей рисунков 3.3 - 3.8 в соответствии с вариантом задания (по указанию преподавателя).
- 4) Построить качественно топографическую диаграмму для одной из схем рисунков 3.3-3.8 в соответствии с вариантом задания (по указанию преподавателя).
- 5) Построить круговую диаграмму токов для схемы (рисунок 3.9) при изменении сопротивления емкости  $C$  от  $\infty$  до 0.
- 6) Написать формулы для расчета активной, реактивной и полной мощностей, а также уравнение энергетического баланса в цепях синусоидального тока.

#### **3.2 Порядок выполнения работы**

3.2.1 Собрать цепь по схеме (рисунок 3.1). Установить напряжение на входе в пределах от 5 до 15 В, частоту источника  $f$  порядка 1000 Гц.

Активное сопротивление  $R_1 = 50 \div 200 \text{ Ом}$ ; индуктивность катушки  $L = 10 \div 30 \text{ мГн}$ , емкость  $C = 1 \div 3 \text{ мкФ}$ . Измерить ток и напряжения на всех элементах. Результаты измерений занести в таблицу 3.1.

Таблица 3.1

$U, \text{В}$	$f, \text{Гц}$	$R, \text{Ом}$	$L, \text{мГн}$	$C, \text{мкФ}$	$I, \text{мА}$	$U_R, \text{В}$	$U_L, \text{В}$	$U_C, \text{В}$

3.2.2 Собрать цепь по схеме (рисунок 3.2). Напряжение на входе установить в пределах от 5 до 15 В, частоту источника  $f$  порядка 1000 Гц. Активное сопротивление  $R_1 = 50 \div 200 \text{ Ом}$ ; индуктивность катушки  $L = 10 \div 30 \text{ мГн}$ , емкость  $C = 1 \div 3 \text{ мкФ}$ . Измерить ток и напряжения на всех элементах. Результаты измерений занести в таблицу 3.2.

Таблица 3.2

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

3.2.3 Собрать цепь в соответствии с вариантом задания (по указанию преподавателя) по одной из схем, представленных на рисунках 3.3-3.8. Установить напряжение на входе в пределах от 5 до 15 В, частоту источника  $f$  порядка 1000 Гц. Активное сопротивление  $R_1 = 50 \div 200 \text{ Ом}$ ; индуктивность катушки  $L = 10 \div 30 \text{ мГн}$ , емкость  $C = 1 \div 3 \text{ мкФ}$ . Измерить токи во всех ветвях, напряжения на всех элементах цепи и на параллельном участке  $U_{ab}$ . Результаты измерений представить в виде таблицы, в которой указать величину напряжения, частоту источника, параметры всех элементов (сопротивлений, индуктивностей и емкостей), величину токов во всех ветвях и напряжений на всех участках цепи.

3.2.4 Собрать цепь по схеме (рисунок 3.9). Напряжение на входе установить в пределах от 5 до 15 В, частоту источника  $f$  порядка 1000 Гц. Активное сопротивление  $R = 50 \div 200 \text{ Ом}$ ; индуктивность  $L = 10 \div 50 \text{ мГн}$ . Изменяя сопротивление емкости от 0 до  $\infty$ , снять показание амперметров и вольтметра. Напряжение на входе необходимо поддерживать неизменным. Результаты измерений для 4-5 значений емкости занести в таблицу 3.3.

Таблица 3.3

$U, \text{В}$	$f, \text{Гц}$	$R, \text{Ом}$	$L, \text{мГн}$	$C, \text{мкФ}$	$I, \text{мА}$	$I_R, \text{мА}$	$I_L, \text{мА}$	$U_C, \text{В}$

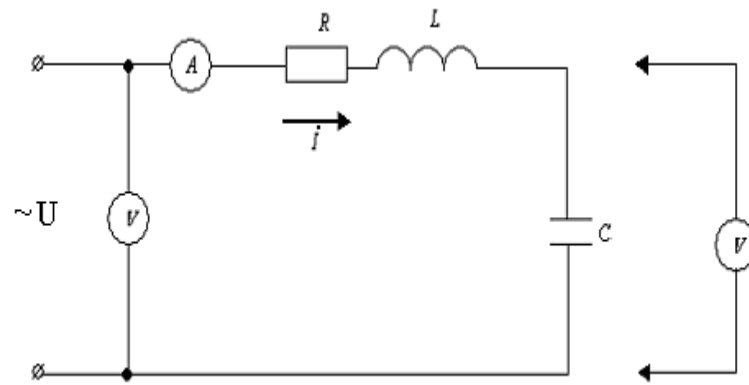


Рисунок 3.1

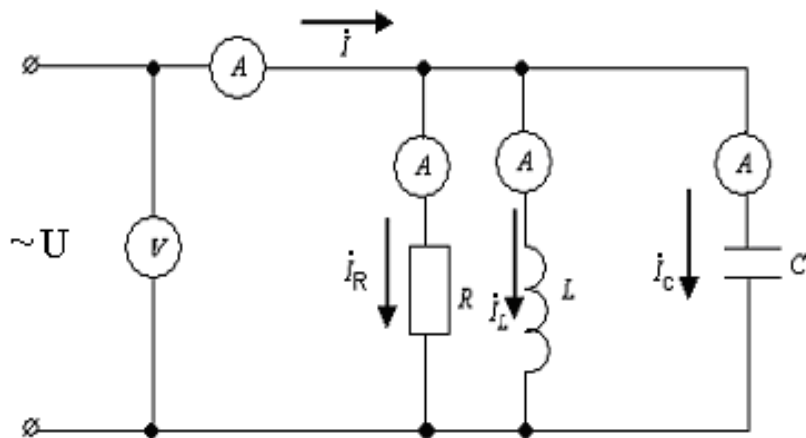


Рисунок 3.2

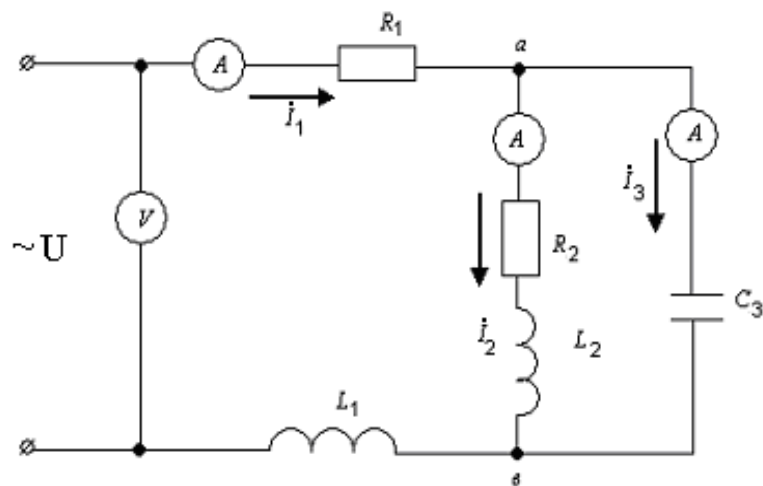


Рисунок 3.3



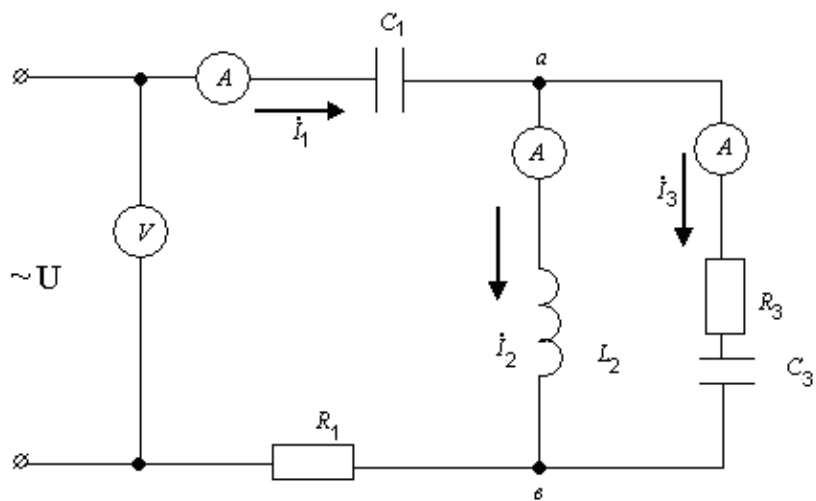


Рисунок 3.4

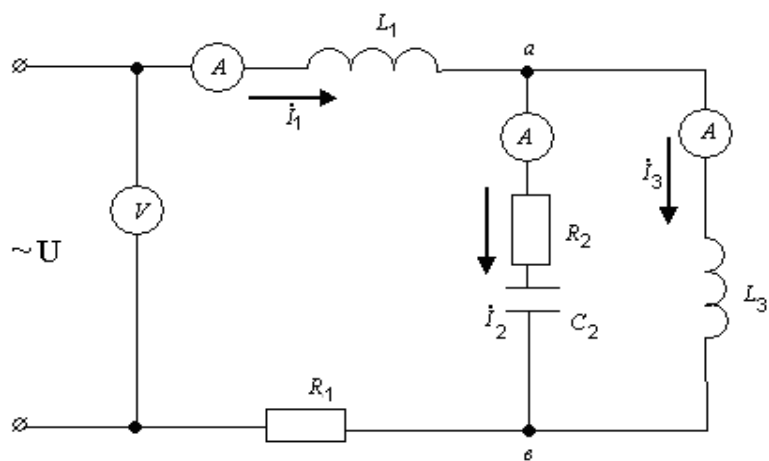


Рисунок 3.5

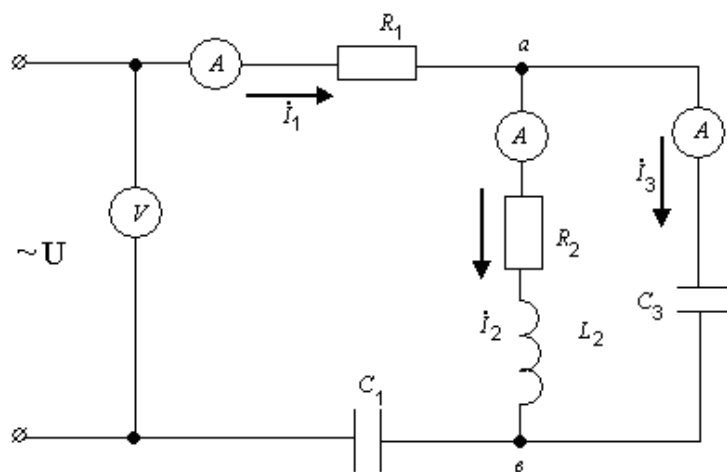


Рисунок 3.6

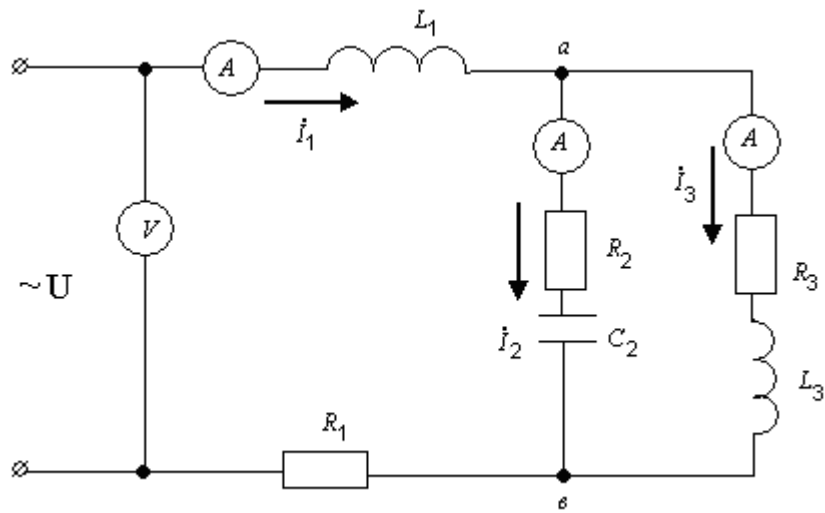


Рисунок 3.7

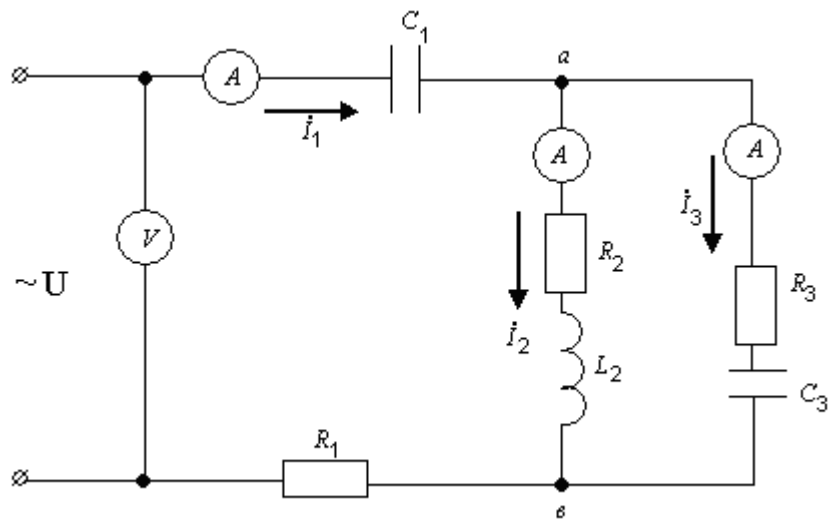


Рисунок 3.8

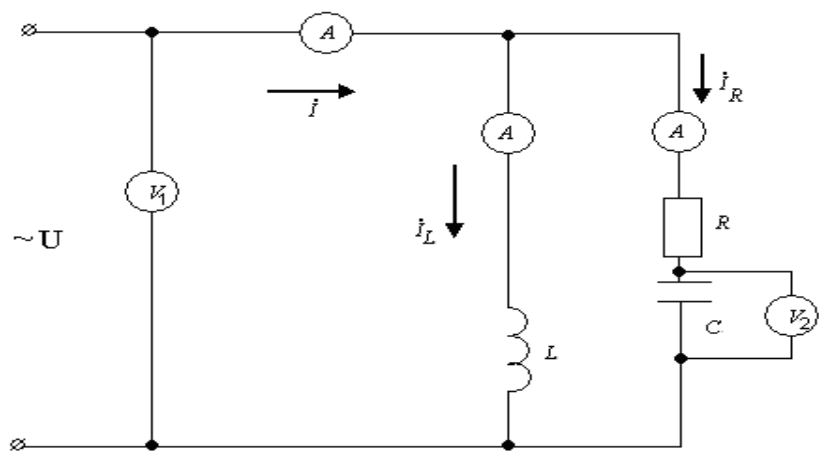


Рисунок 3.9

### 3.3 Оформление и анализ результатов работы

3.3.1 По данным таблицы 3.1 построить векторную диаграмму тока и напряжений для схемы рисунка 3.1. Проверить выполнение второго закона Кирхгофа.

3.3.2 Используя данные таблицы 3.2, построить векторную диаграмму напряжений и токов для схемы рисунка 3.2. По векторной диаграмме проверить выполнение первого закона Кирхгофа.

3.3.3 По данным пункта 3.3 построить векторную диаграмму токов и напряжений для исследуемой цепи.

Рассчитать активную, реактивную и полную мощности источника. Проверить соотношение, связывающее эти мощности.

Составить уравнение баланса активной мощности для исследуемой цепи и проверить его выполнение.

3.3.4 Используя данные таблицы 3.3, построить геометрическое место конца вектора тока  $I$  на входе цепи, представленной на рисунке 3.9, при измерении сопротивления емкости  $C$  от  $\infty$  до  $0$ . Сопоставить полученную экспериментальную диаграмму с теоретической.

#### 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) Законы Кирхгофа в комплексной форме.
- 4) Векторная диаграмма для неразветвленной цепи  $R, L, C$ .
- 5) Векторная диаграмма для разветвленной цепи.
- 6) Активная и реактивная мощности в цепях синусоидального тока.
- 7) Полная мощность в цепях синусоидального тока.
- 8) Условия передачи максимальной мощности от источника к приемнику.

### 4 Лабораторная работа №4. Исследование трехфазной цепи при соединении фаз источника и приемника звездой

Цель работы: получение навыков экспериментального исследования трехфазных цепей при соединении источника и приемника звездой, экспериментально изучить основные соотношения фазных и линейных величин в симметричных и несимметричных режимах, роль нейтрального провода.

## 4.1 Подготовка к работе

Повторить раздел курса ТОЭ «Трехфазные цепи».

Ответить на вопросы:

1) Какое соединение фаз источника и приемника называется «соединение звездой»?

2) Какие точки на схеме трехфазной цепи называют нейтральными, какой провод называют нейтральным (нулевым) проводом?

3) Какие провода называются линейными, какие величины токов и напряжений называют фазными, какие линейными?

4) Какой режим трехфазной цепи называется симметричным?

5) Какие соотношения между фазными и линейными величинами токов и напряжений при симметричном режиме, какому значению равны  $I_N$ ,  $U_{nN}$ ?

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

7) 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 согласно варианту, сопротивления двух других фаз активные и равные.

Определить по топографическим и векторным диаграммам, как изменяются токи и напряжения в аварийных режимах по сравнению с симметричным режимом.

8) Построить годограф потенциала точки  $n$  для следующих режимов:

- сопротивление  $R$  в одной из фаз согласно варианту изменяется от  $0$  до  $\infty$ , сопротивления двух других фаз активные и равные;
- емкость  $C$  в одной из фаз изменяется от  $0$  до  $\infty$ , сопротивления двух других фаз активные и равные.

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 согласно варианту, сопротивление двух других фаз активные и равные;
- неоднородная нагрузка согласно варианту.

Пользуясь топографическими и векторными диаграммами, определить, как изменяются по сравнению с симметричным режимом токи и напряжения в несимметричных режимах.

10) Нарисовать схемы трехфазной цепи при соединении «звезда-звезда» с нейтральным проводом и без нейтрального провода (рисунки 4.1-4.2).

11) Нарисовать таблицы 4.1, 4.2.

## 4.2 Порядок выполнения работы

4.2.1 Измерить параметры используемых в работе сопротивлений резисторов  $R_1, R_2, R_3$ . Подобрать равные сопротивления резисторов  $R_1=R_2=R_3$ .

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

4.2.3 Собрать трехфазную цепь при соединении фаз источника и приемника звездой с нейтральным проводом. Нейтральные точки источника и 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 4.1.

4.2.4 Экспериментально исследовать аварийный режим, возникающий в цепи с нейтральным проводом при обрыве одной из фаз приемника согласно варианту (таблица 4.3). Сопротивление двух других фаз приемника такие же, как в п. 4.2.3. Измерить токи в фазах приемника,  $I_N$ , фазные и линейные напряжения приемника. Результаты измерений занести в таблицу 4.1.

4.2.5 Экспериментально исследовать несимметричный режим в трехфазной цепи с нейтральным проводом при изменении активного сопротивления в одной из фаз приемника согласно варианту (таблица 4.3). Сопротивление двух других фаз приемника такие же, как в п. 4.2.3. Измерить токи в фазах приемника, ток  $I_N$ , фазные и линейные напряжения приемника. Результаты измерений занести в таблицу 4.1.

4.2.6 Экспериментально исследовать несимметричный режим в трехфазной электрической цепи с нейтральным проводом. Включить в фазы приемника активное сопротивление  $R$ , индуктивность  $L$ , емкость  $C$  согласно варианту (таблица 4.3). Результаты измерений занести в таблицу 4.1.

4.2.7 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. 4.2.3. Измерить токи в фазах приемника, фазные и линейные напряжения приемника, напряжение смещения нейтрали  $U_{nN}$ . Результаты измерений занести в таблицу 4.2.

4.2.8 Экспериментально исследовать аварийный режим, возникающий в трехфазной цепи без нейтрального провода при обрыве одной из фаз приемника, фаза та же, что и в п. 4.3.4 (режим «холостого хода»). Сопротивления двух других фаз нагрузки такие же, как в п.4.2.3. Измерить токи, фазные и линейные напряжения приемника, напряжение смещения нейтрали  $U_{nN}$ . Результаты измерений занести в таблицу 4.2.

4.2.9 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. 4.2.4). Сопротивление двух других фаз приемника такие же, как в п. 4.2.3. Измерить токи, фазные и линейные напряжения приемника, напряжение смещения нейтрали  $U_{nN}$ . Результаты измерений занести в таблицу 4.2.

4.2.10 Экспериментально исследовать несимметричный режим в трехфазной электрической цепи без нейтрального провода. Включить в одну из фаз (фаза та же, что и в п. 4.2.4) переменное активное сопротивление, сопротивления других фаз приемника одинаковые и такие же, как в п. 4.2.3. Измерить токи, фазные и линейные напряжения, напряжение смещения нейтрали  $U_{nN}$  для 2-х значений переменного активного сопротивления. Результаты измерений занести в таблицу 4.2.

4.2.11 Экспериментально исследовать несимметричный режим в трехфазной электрической цепи без нейтрального провода. Включить в одну из фаз (фаза та же, что и в п. 4.2.4) переменную емкость  $C$ , сопротивление двух других фаз активные и одинаковые (такие же, как в п. 4.2.3). Измерить токи, фазные и линейные напряжения, напряжение смещения нейтрали  $U_{nN}$  для 2-х значений емкости  $C$ . Результаты измерений занести в таблицу 4.2.

### 4.3 Оформление и анализ результатов работы

4.3.1 По экспериментальным данным п. 4.2.3 построить топографическую диаграмму напряжений (на топографической диаграмме указать положение нейтральной точки  $N$  источника и приемника  $n$ ), 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 4.1. Сравнить теоретические значения с экспериментальными.

4.3.2 По экспериментальным данным п. 4.2.4 построить топографическую диаграмму напряжений и векторную диаграмму токов в фазах нагрузки. Определить по векторной диаграмме ток  $I_N$ . Результат занести в таблицу 4.1 (в строку «Теоретические исследования»), определить значения напряжений и токов при обрыве одной из фаз нагрузки (фаза та же, что в п. 4.2.4). Результаты занести в таблицу 4.1.

4.3.3 По экспериментальным данным п. 4.2.5 построить топографическую диаграмму напряжений и векторную диаграмму токов. По векторной диаграмме токов определить ток в нейтральном проводе  $I_N$ .

Сравнить с током  $I_N$ , определенным экспериментально. Результаты занести в таблицу 4.1.

4.3.4 По экспериментальным данным п. 4.2.6 построить топографическую диаграмму напряжений и векторную диаграмму токов. По векторной диаграмме токов определить ток в нейтральном проводе  $I_N$ . Сравнить с током  $I_N$ , определенным экспериментально. Результаты занести в таблицу 4.1.

4.3.5 По экспериментальным данным п. 4.2.3, 4.2.4, 4.2.5 построить график зависимости  $I_N$  от тока в фазе с переменным сопротивлением.

4.3.6 По экспериментальным данным п. 4.2.7 построить топографическую диаграмму напряжений и векторную диаграмму токов, определить значения напряжений и токов. Результаты занести в таблицу 4.2 (в строку «Теоретические исследования»).

4.3.7 По экспериментальным данным п. 4.2.8 построить топографическую диаграмму напряжений и векторную диаграмму токов, определить теоретические значения напряжений и токов. Результаты занести в таблицу 4.2 (в строку «Теоретические исследования»).

4.3.8 По экспериментальным данным п. 4.2.9 построить топографическую диаграмму напряжений и векторную диаграмму токов, определить теоретические значения напряжений и токов. Результаты занести в таблицу 4.2 (в строку «Теоретические исследования»).

4.3.9 По экспериментальным данным п. 4.2.10 построить топографическую диаграмму напряжений и векторную диаграмму токов. Рассчитать напряжение смещения нейтрали  $U_{nN}$  для двух значений переменного активного сопротивления (значения сопротивлений такие, как п. 4.2.10), отложить эти напряжения на топографической диаграмме и отметить на диаграмме нейтральные точки приемника  $n$  для этих же значений сопротивлений. Определить по диаграмме теоретические значения фазных напряжений приемника  $U_{An}, U_{Bn}, U_{Cn}$ . По найденным значениям фазных напряжений приемника рассчитать токи  $I_A, I_B, I_C$ . Результаты занести в таблицу 4.2 (в строку «Теоретические исследования»). Показать, что годографом  $n$  является прямая линия.

4.3.10 По экспериментальным данным п. 4.2.11 построить топографическую диаграмму напряжений и векторную диаграмму токов. На топографической диаграмме построить годограф потенциала точки  $n$  (круговую диаграмму), определить положение точки  $n$  на круговой диаграмме для двух значений емкости  $C$  (как в п. 4.2.11) и фазные напряжения приемника  $U_{An}, U_{Bn}, U_{Cn}$ ; рассчитать токи  $I_A, I_B, I_C$ . Результаты занести в таблицу 4.2 (в строку «Теоретические исследования»).

4.3.11 Для всех исследуемых режимов работы трехфазной цепи:

- сравнить экспериментальные значения с теоретическими и сделать выводы;

- сравнить значения токов и напряжений в трехфазной цепи с нейтральным проводом и при его обрыве, сделать выводы и оценить роль нейтрального провода.

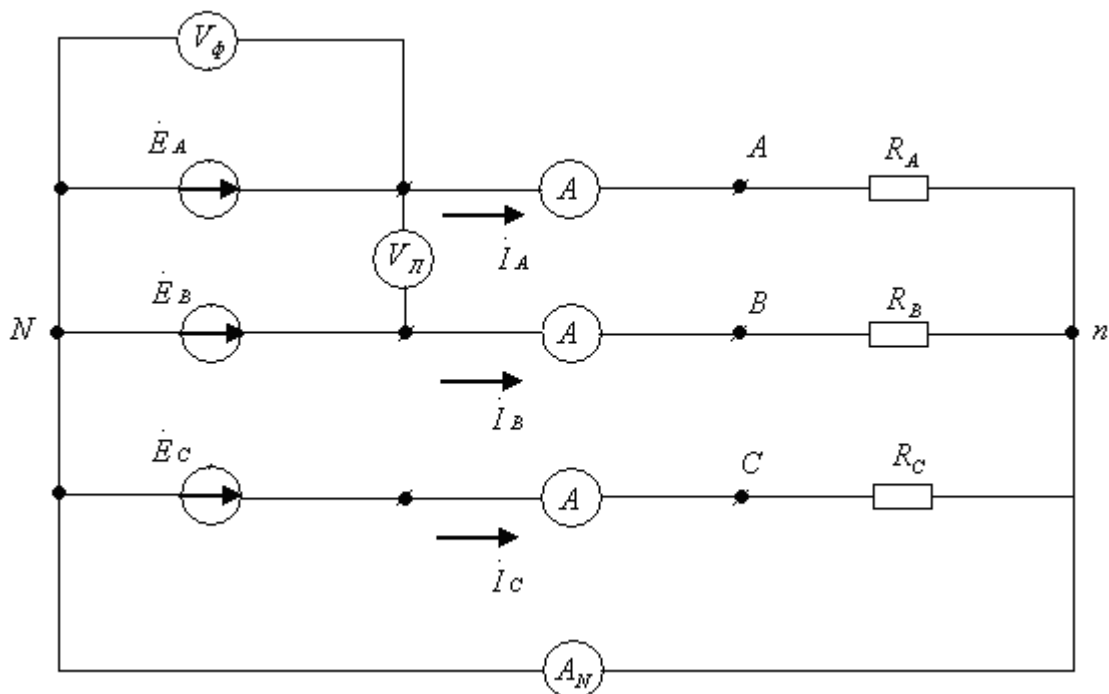


Рисунок 4.1

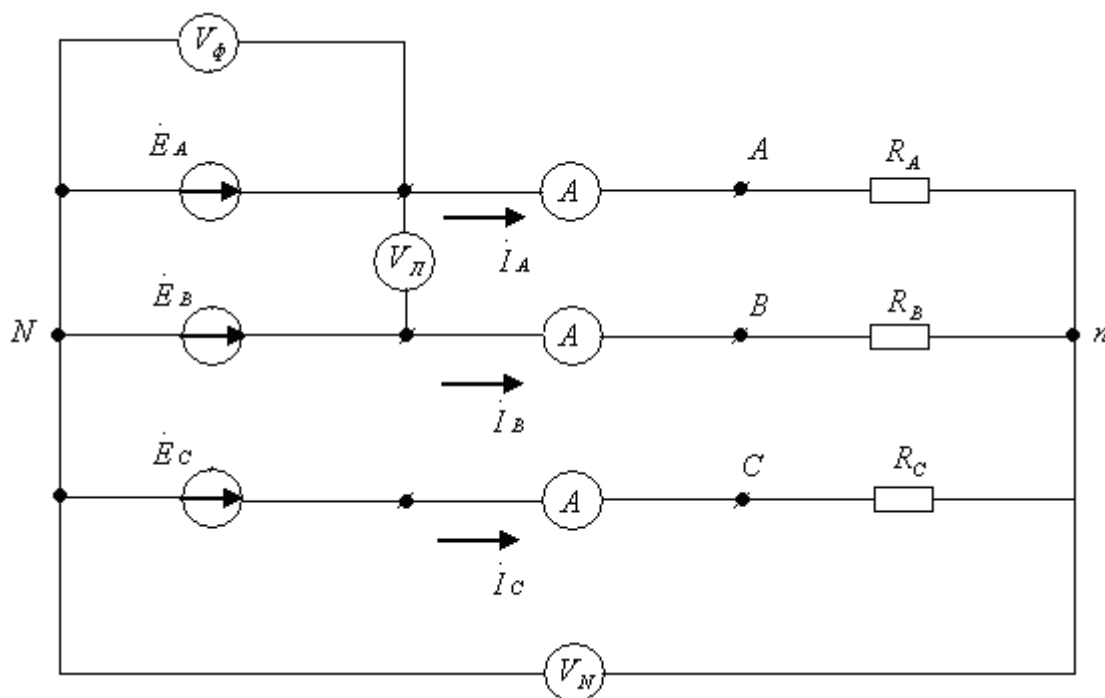


Рисунок 4.2



Таблица 4.1

Режим работы	Вид исследований	Значение напряжения, В									Значения токов, мА			
		$U_{AN}$	$U_{BN}$	$U_{CN}$	$U_{AB}$	$U_{BC}$	$U_{CA}$	$U_{An}$	$U_{Bn}$	$U_{Cn}$	$I_A$	$I_B$	$I_C$	$I_N$
	экспер.													
	теоретич.													

Таблица 4.2

Режим работы	Вид исследований	Значение напряжения, В										Значения токов, мА		
		$U_{AN}$	$U_{BN}$	$U_{CN}$	$U_{AB}$	$U_{BC}$	$U_{CA}$	$U_{An}$	$U_{Bn}$	$U_{Cn}$	$U_{nN}$	$I_A$	$I_B$	$I_C$
	экспер.													
	теоретич.													

Таблица 4.3

Вариант	Режим работы цепи					
	Обрыв и короткое замыкание	Переменное сопротивление R в фазе	Переменная емкость C в фазе	Неоднородная нагрузка		
				фаза А	фаза В	Фаза С
1	В	В	В	L	C	R
2	А	А	А	C	R	L
3	С	С	С	R	C	L
4	В	В	В	R	L	C
5	А	А	А	C	L	R
6	С	С	С	L	R	C

### **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.
- 7) Векторная диаграмма токов и напряжений в симметричном режиме трехфазной цепи, соединенной звездой.
- 8) Векторные диаграммы токов и напряжений в аварийных режимах трехфазной цепи, соединенной звездой.

### **5 Лабораторная работа №5. Исследование трехфазной цепи при соединении треугольником**

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

#### **5.1 Подготовка к работе**

Повторить раздел курса ТОЭ «Трехфазные цепи».

Нарисовать схему трехфазной цепи при соединении треугольником. На схеме указать линейные и фазные токи, напряжения (рисунок 5.1).

Ответить на вопросы:

- 1) Как связаны линейные и фазные токи, напряжения в трехфазной цепи при соединении треугольником?
- 2) Каково соотношение между линейными и фазными токами в симметричном режиме?
- 3) Построить топографическую диаграмму и векторную диаграмму токов в симметричном режиме, сопротивления нагрузки во всех фазах активные и равные ( $R_{ab} = R_{bc} = R_{ca}$ ).
- 4) Нарисовать схему и построить векторную диаграмму токов и напряжений в аварийном режиме при обрыве линейного провода согласно варианту (таблица 5.2).
- 5) Нарисовать схему и построить векторную диаграмму токов и напряжений в аварийном режиме при обрыве фазы приемника согласно варианту (таблица 5.2).
- 6) Нарисовать схему и построить топографическую диаграмму и векторную диаграмму токов трехфазной цепи с нагрузкой, соединенной треугольником, состоящей из резистора, индуктивности и емкости согласно варианту (таблица 5.2).

7) Нарисовать таблицу 5.1. Определить по диаграммам, как изменяются токи и напряжения в несимметричных режимах по сравнению с симметричным.

## 5.2 Порядок выполнения работы

5.2.1 Собрать трехфазную цепь с нагрузкой, соединенной треугольником (рисунок 5.1), состоящей из трех резисторов с одинаковыми сопротивлениями  $R_{ab}$ ,  $R_{bc}$ ,  $R_{ca}$ . Установить значения фазных ЭДС по указанию преподавателя. Предусмотреть приборы для измерения напряжений и токов. Измерить значения фазных и линейных токов и напряжений в симметричном режиме и занести их в таблицу 5.1.

5.2.2 Экспериментально исследовать аварийный режим в цепи при обрыве одного из линейных проводов согласно варианту (таблица 5.2). Сопротивления нагрузки такие же, как в п. 5.2.1. Измерить значения напряжений источника и приемника, токов в аварийном режиме и занести их в таблицу 5.1.

5.2.3 Экспериментально исследовать аварийный режим в цепи при обрыве одной из фаз нагрузки согласно варианту. Сопротивление двух других фаз нагрузки такие же, как в п. 5.2.1. Измерить значение напряжений приемника и источника, токов в аварийном режиме и занести их в таблицу 5.1.

5.2.4 Собрать трехфазную цепь, соединенную треугольником, состоящую из резистора, индуктивности и емкости согласно варианту (таблица 5.2). Измерить значения напряжений и токов и занести их в таблицу 5.1.

## 5.3 Оформление и анализ результатов работы

5.3.1 Построить по экспериментальным данным п. 5.2.1 топографическую диаграмму 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 5.1.

5.3.2 Построить по экспериментальным данным п. 5.2.2 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 5.1.

5.3.3 Построить по экспериментальным данным п. 5.2.3 топографическую диаграмму и векторную диаграмму фазных токов, найти из нее линейные токи, сравнить с измеренными значениями. Значения токов, найденные по диаграмме, занести в таблицу 5.1.

5.3.4 Построить по экспериментальным данным п. 5.2.4 топографическую диаграмму и векторную диаграмму фазных токов, найти из

нее линейные токи и сравнить с измеренными значениями. Значения токов, найденные из диаграммы, занести в таблицу 5.1.

5.3.5 По опытным данным и диаграммам сделать расчет активной и полной мощностей в симметричном и аварийных режимах, исследуемых в лабораторной работе. Сравнить эти мощности, сделать вывод.

5.3.6 Рассчитать по опытным данным и топографической диаграмме активную, реактивную и полную мощности в исследуемом несимметричном режиме п. 5.2.4.

5.3.7 Сделать выводы по работе полностью. 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 5.1

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												

Таблица 5.2

Вариант	Режим работы цепи				
	Обрыв линейного провода	Обрыв фазы	Неоднородная нагрузка		
			Фаза ав	Фаза вс	Фаза са
1	А	вс	Р	Л	С
2	В	ав	С	Р	Л
3	С	са	Л	Р	С
4	А	са	Л	С	Р
5	В	вс	С	Л	Р
6	С	ав	Р	С	Л

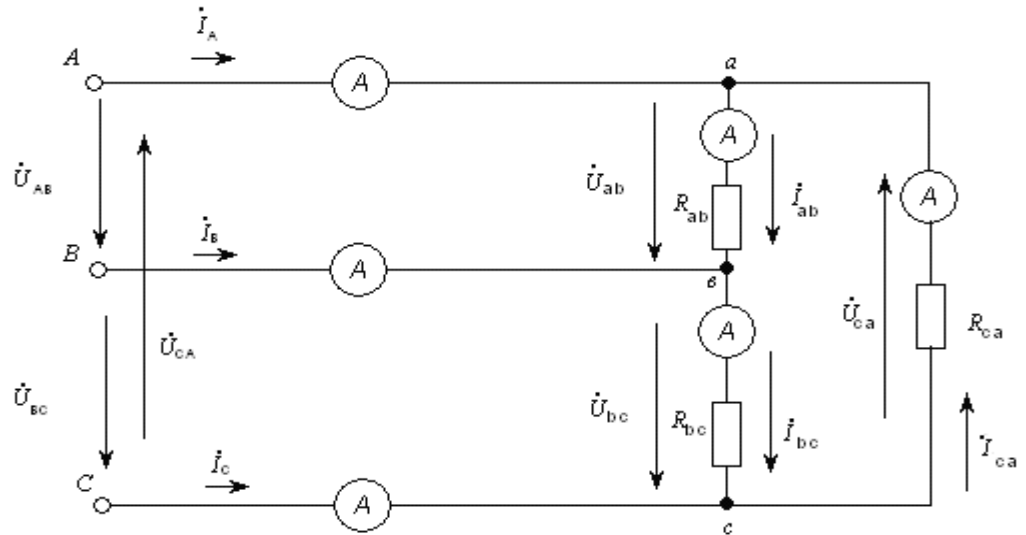


Рисунок 5.1 – Схема соединения приемника треугольником

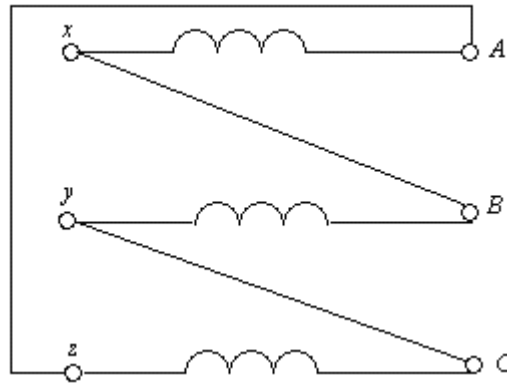


Рисунок 5.2 – Схема соединения обмоток генератора треугольником

### Контрольные вопросы

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

## Список литературы

1. Демирчян К.С., Нейман Л.Р., Коровкин Н.В., Чечурин В.Л. Теоретические основы электротехники.- т.1. - СПб.: Питер, 2009.- 463 с.
2. Атабеков Г.И. ТОЭ линейные и электрические цепи (7-е изд.). – М.: Лань, 2009. – 592 с.
3. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники.-М.: Гардарики, 2007. – 638 с.
4. Демирчян К.С., Нейман Л.Р., Н.В. Коровкин, В.Л. Чечурин. Теоретические основы электротехники. – том 2. – СПб.: Питер, 2003.-576 с.
5. Демирчян К.С., Нейман Л.Р., Коровкин Н.В., Чечурин В.Л.. Теоретические основы электротехники. – том 3. – СПб.: Питер, 2003.-377 с.
6. Денисенко В.И., Креслина С.Ю. ТОЭ 1. Конспект лекций. – Алматы: АИЭС, 2006.- 63 с.
7. Денисенко В.И., Креслина С.Ю. ТОЭ2. Конспект лекций. – Алматы: АИЭС, 2007.- 63 с.

Любовь Павловна Болдырева  
Ерлан Зингалеевич Амангалиев

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ

Методические указания по выполнению лабораторных работ  
для специальности 5В081200– Энергообеспечение сельского хозяйства

Редактор Л.Т. Сластихина  
Специалист по стандартизации Н.К. Молдабекова

Подписано в печать \_\_\_\_\_  
Тираж 50 экз.  
Объем 1,9 уч. - изд. л.

Формат 60x84 1/16  
Бумага типографская №1  
Заказ \_\_\_\_\_. Цена 950 тенге.

Копировально-множительное бюро  
Некоммерческого акционерного общества  
«Алматинский университет энергетики и связи»  
050013, Алматы, Байтурсынова 126.