

**НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**

**Инженерный институт**

# **ЭЛЕКТРОТЕХНИКА И ЭЛЕКТРОНИКА**

**Тетрадь лабораторных работ**

**Новосибирск 2023**

Кафедра техносферной безопасности и электротехнологий

УДК 621.38 (075)

Составители: Е.И. Гаршина, к.т.н., доцент.

Рецензент д-р техн. наук, проф. И.П. Добролюбов

**Электротехника и электроника:** тетрадь лабораторных работ / Новосибир. гос. аграр. ун-т. Инженер. ин-т; сост.: Е.И. Гаршина. – Новосибирск, 2023. – 23 с.

Содержится описание лабораторных установок, цели проведения и методические указания по выполнению лабораторных работ. Представлены варианты и примеры электрических схем, программы лабораторных исследований, расчетные формулы и таблицы для внесения результатов измерений и расчетов, сетки для изображения векторных диаграмм.

Предназначена для студентов очного и заочного обучения по направлениям подготовки 23.03.01 Технология транспортных процессов; 23.03.03 Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов; 35.03.06 Агроинженерия.

Утверждена и рекомендована к изданию методическим советом Инженерного института (протокол №8 от 28 марта 2023 г.)

© Новосибирский ГАУ, 2023

## **ПРАВИЛА ТЕХНИКИ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ РАБОТЕ В ЛАБОРАТОРИИ**

1. Перед сборкой схемы убедиться, что автоматический выключатель лабораторного стенда у рабочего места ОТКЛЮЧЕН.

2. Приступая к работе, следует ознакомиться с источниками электропитания, способами их включения.

3. КАТЕГОРИЧЕСКИ ЗАПРЕЩАЕТСЯ ВКЛЮЧАТЬ АВТОМАТИЧЕСКИЙ ВЫКЛЮЧАТЕЛЬ СТЕНДА БЕЗ РАЗРЕШЕНИЯ ПРЕПОДАВАТЕЛЯ ИЛИ ЛАБОРАНТА. За умышленную порчу приборов студент несет материальную ответственность.

4. Запрещается прикасаться руками к зажимам, находящимся под напряжением. Наличие напряжения на зажимах приборов или других элементов схемы следует проверять только измерительным прибором.

5. Все изменения в схеме или устранение причин ее неисправности можно производить только после отключения автоматического выключателя лабораторного стенда.

6. ЗАПРЕЩАЕТСЯ пользоваться неисправной аппаратурой, в частности, не имеющей изоляционных ручек.

7. При включении установки предварительно убедиться в том, что никто не прикасается к токоведущим элементам схемы.

8. Категорически ЗАПРЕЩАЕТСЯ облакачиваться на установку и элементы схем.

9. О всех замеченных неисправностях аппаратов, машин или оборудования немедленно сообщить преподавателю или лаборанту.

10. РАЗБОРКА СХЕМЫ ДОПУСКАЕТСЯ ТОЛЬКО ПРИ ОТКЛЮЧЕННОМ АВТОМАТИЧЕСКОМ ВЫКЛЮЧАТЕЛЕ ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДА.

11. КАТЕГОРИЧЕСКИ ЗАПРЕЩАЕТСЯ производить какие-либо операции на распределительном щите лаборатории, за исключением операции отключения питания всей лаборатории при несчастном случае, когда поблизости нет преподавателя или лаборанта.

# Лабораторная работа 1

## РЕЗИСТОР, ИНДУКТИВНАЯ КАТУШКА И КОНДЕНСАТОР В ЦЕПИ ОДНОФАЗНОГО СИНУСОИДАЛЬНОГО ТОКА

Цель работы. Изучение лабораторного стенда, измерительных приборов, определение активных и реактивных сопротивлений установленных на стенде резисторов, катушки индуктивности и конденсатора экспериментальным путем.

### *Порядок выполнения работы*

1. Изучить по учебнику и по конспекту лекций теоретический материал по следующим вопросам:

- 1.1. Какие приборы применяются для измерения сопротивления, тока, напряжения, мощности?
- 1.2. Что такое абсолютная и относительная погрешность прибора?
- 1.3. Что означает класс точности прибора?
- 1.4. Что такое предел измерения прибора и как определить цену деления многопредельного прибора?
- 1.5. Какие элементы называются идеальными и реальными?

2. Собрать на стенде схему по примеру схемы на рис. 1.1, подключая поочередно  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$ ,  $R_4$ ,  $R_L$  (реальная катушка индуктивности) и  $C$ .

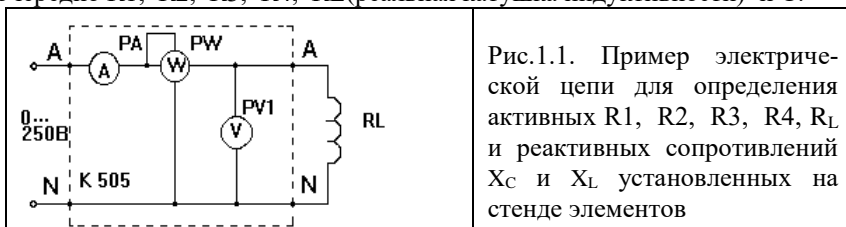


Рис.1.1. Пример электрической цепи для определения активных  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$ ,  $R_4$ ,  $R_L$  и реактивных сопротивлений  $X_C$  и  $X_L$  установленных на стенде элементов

Рис. 1.1. Схема для измерения сопротивления по показаниям приборов

**Внимание!** Напряжение на цепь подавать от клемм "А" и "N" сети. Предел измерения вольтметра измерительного комплекта К505 установить на 300 В, предел измерения амперметра – 1 А.

Измерить напряжение, ток и активную мощность. Данные измерений занести в табл. 1.1.

Таблица 1.1

Показатели	Элементы					
	R1	R2	R3	R4	RL	C
U, В						
I, А						
P, Вт						

4. По данным измерений табл. 1.1. и формулам табл.1.2. произвести расчет активных сопротивлений R1, R2, R3, R4, RL и реактивных сопротивлений XL, XC, полного сопротивления ZL, индуктивности L, емкости C, угла сдвига фаз φL катушки индуктивности RL.

Результаты расчета занести в табл. 1.2.

Таблица 1.2

Расчет по U, I						Расчет по I, P				Расчет по I, U, P				
$R1(R2,R3,R4) = U / I, \text{ Ом};$ $X_C = U_C / I_C, \text{ Ом};$ $C = 1 / (2\pi f X_C), \text{ ф}$ где $f=50$ Гц						$R = P / I^2 \text{ Ом};$				$Z_L = U_{RL} / I_{RL}, \text{ Ом};$ $R_L = P_{RL} / I_{RL}^2, \text{ Ом};$ $X_L = \sqrt{(Z_L^2 - R_L^2)}, \text{ Ом};$ $L = X_L / (2\pi f), \text{ Гн};$ $\phi_L = \arctg (X_L / R_L), \text{ град.}$				
R1, Ом	R2, Ом	R3, Ом	R4, Ом	XC, Ом	C, Ф	R1, Ом	R2, Ом	R3, Ом	R4, Ом	ZL, Ом	RL, Ом	XL, Ом	L, Гн	φL, град.

5. Изобразить в тетради (сетка для рис. 1.2) векторные диаграммы тока и напряжения для электрических цепей с подключенными R1, R2, R3, R4, катушки индуктивности и конденсатора.

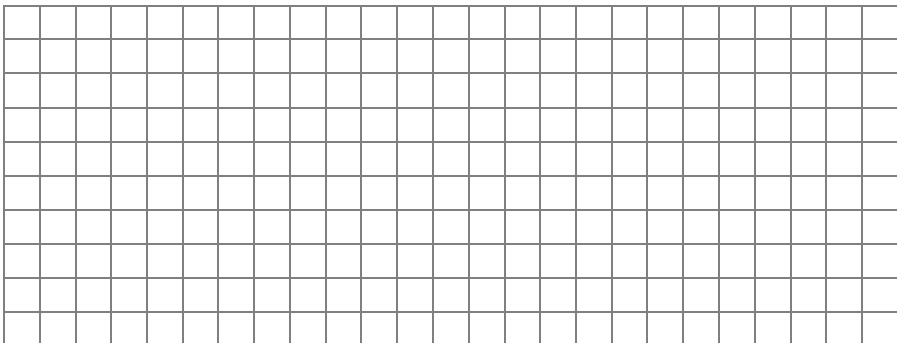


Рис. 1.2. Сетка для векторных диаграмм тока и напряжения R1...R4, RL и C

## Лабораторная работа 2

### ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОЕ И ПАРАЛЛЕЛЬНОЕ СОЕДИНЕНИЕ НАГРУЗКИ

Цель работы. Исследование режимов работы электрической цепи при последовательном и параллельном соединении активно-реактивных элементов. Экспериментальная проверка методов расчета электрической цепи.

#### *Порядок выполнения работы*

##### **Последовательное соединение активно-реактивных элементов**

1. Изучить теоретический материал по учебнику и конспекту. Ответить на следующие вопросы:

1.1. Как подсчитать полное сопротивление цепи при последовательном соединении активно-реактивных элементов?

1.2. Какой режим работы цепи называется резонансом напряжений?

1.3. При каком условии цепи возникает резонанс напряжений?

1.4. Изменением каких параметров достигают резонанса напряжений?

1.5. Как по приборам определить режим резонанса напряжений?

1.6. Что такое коэффициент мощности, от каких факторов зависит и чему он равен при резонансе?

1.7. Как определить активную, реактивную и полную мощность цепи?

1.8. Что называется треугольником сопротивлений, мощностей?

1.9. Как записать второй закон Кирхгофа для цепи с последовательным соединением R,L,C элементов?

2. По указанию преподавателя составить и изобразить в отчете (сетка для рис. 2.2) одну из схем электрической цепи, приведенных ниже:

2.1. Последовательное соединение элементов R1, R2, RL и C;

2.2. Последовательное соединение элементов R1, R3, RL и C;

2.3. Последовательное соединение элементов R2, RL и C;

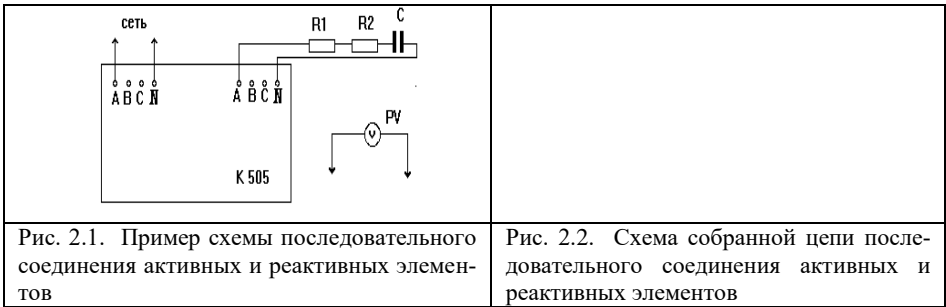
2.5. Последовательное соединение элементов R4, RL и C;

2.6. Последовательное соединение элементов R3, RL и C

2.7. Последовательное соединение элементов R1, R4, RL и C

2.8. Последовательное соединение элементов R4, R3, RL и C.

**Внимание!** Не включать последовательно RL и C без подключения последовательно активного сопротивления. Предел измерения вольтметра измерительного комплекта K505 установить на 300 В, амперметра - на 1 А.



3. **Рекомендуется** в качестве исследуемой на рис. 2.2 изобразить цепь, соответствующую варианту 2.1, т.е. представляющую последовательное соединение элементов  $R_1, R_2, RL, X_C$ .

Собрать на стенде составленную по рис.2.2 цепь, используя активные сопротивления  $R_1, R_2$ , реальная катушка индуктивности  $RL$ , конденсатор  $C$ , измерительный комплект  $K505$ , мультиметр с пределами измерения 200 В и 750 В.

Измерить параметры электрической цепи и занести значения измеренных величин тока, падений напряжения и активной мощности в табл. 2.1.

Таблица 2.1

Значения	U, В	I, А	P, Вт	$U_{RL}$ , В	$U_C$ , В	$U_{R1}$ , В	$U_{R2}$ , В	$U_{R3}$ , В	$U_{R4}$ , В
Расчетные									
Измеренные									

4. Провести расчет параметров собранной электрической цепи.

При расчете значения сопротивлений элементов  $R_1, R_2, RL, X_C, X_L, Z_L$  взять из табл. 1.2.

Расчетные формулы представлены для электрической цепи, собранной по рис.2.1. следующие:

1) Определить значения полного сопротивления цепи

$$Z_{\text{полн.}} = \sqrt{(R_1 + R_2)^2 + X_C^2}, \text{ Ом}$$

2) Определить значение полного тока и угла сдвига фаз между векторами тока и напряжения :

$$I_{\text{полн.}} = U / Z_{\text{полн.}}, \text{ А ; } \quad \varphi_{\text{полн.}} = \arctg (X_C / (R_1 + R_2)), \text{ град}$$

3) Определить значения падений напряжений на элементах цепи:

$$U_{R1} = R_1 \times I_{\text{полн}}, \text{ В}$$

$$U_{R2} = R_2 \times I_{\text{полн}}, \text{ В}$$

$$U_C = X_C \times I_{\text{полн}}, \text{ В}$$

4) Определить значение активной мощности:

$$P = (R_1 + R_2) \times I_{\text{полн}}^2, \text{ Вт}$$

Полученные расчетные значения токов, падений напряжений на отдельных элементах цепи и мощности занести также в табл. 2.1 и сравнить с измеренными. Определить погрешность расчета в процентах относительно экспериментальных данных.

4. Построить в масштабе векторную диаграмму тока и напряжений. При построении векторной диаграммы учесть, что вектор падения напряжения -  
- на активном сопротивлении совпадает с вектором тока;  
- на реактивном индуктивном сопротивлении опережает вектор тока на  $90^\circ$ ;  
- на реактивном емкостном сопротивлении отстает от вектора тока на  $90^\circ$ .


рис. 2.3. Векторная диаграмма тока и напряжений при последовательном соединении элементов электрической цепи.



## Параллельное соединение активно-реактивных элементов

6. Изучить теоретический материал по учебнику или конспекту. Ответить на следующие вопросы:

6.1. Как определить полное сопротивление цепи, состоящей из параллельно соединенных активно-реактивных элементов?

6.2. Что называется треугольником проводимостей?

6.3. Какой режим работы цепи называется резонансом токов?

6.4. При каком соотношении сопротивлений в ветвях возникает резонанс токов?

6.5. Изменением каких параметров можно достичь резонанса токов?

6.6. Как определить ток в неразветвленной части цепи с параллельным соединением активно-реактивных элементов?

6.7. Как построить векторную диаграмму для цепи с параллельным соединением активно-реактивных элементов?

6.8. Как по приборам определить режим резонанса токов?

7. По указанию преподавателя составить и изобразить в отчете (сетка для рис. 2.5) одну из схем электрической цепи или внести изменения в схему, представленной в качестве примера на рис. 2.4:

7.1. Параллельное соединение элементов  $R_2$ ,  $RL$  и  $C$  элементов.

7.2. Параллельное соединение  $R_2$ - $C$  и  $R_3$  элементов.

7.3. Параллельное соединение  $R_2$ - $C$ ,  $RL$  и  $R_1$  элементов.

7.4. Параллельное соединение  $RL$ ,  $R_1$  и  $R_4$  элементов.

7.5. Параллельное соединение  $R_2$ - $C$ ,  $R_1$ - $RL$  и  $R_3$  элементов.

8. **Рекомендуется** в качестве исследуемой на рис. 2.5 изобразить цепь, соответствующую варианту 7.5.

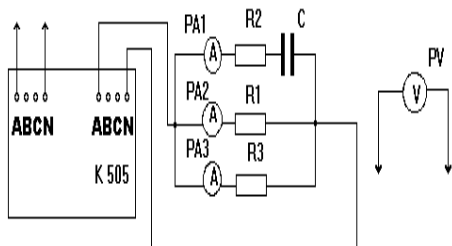


Рис. 2.4. Пример схемы параллельного соединения активных и реактивных элементов

Рис. 2.5. Схема собранной цепи параллельного соединения активных и реактивных элементов

9. Собрать составленную по рис.2.5 схему, используя элементы и приборы (амперметры) лицевой панели стенда, комплект К 505 и мультиметр.

**Внимание!** Не включать последовательно в одну ветвь элементы RL и C. Пределы измерения вольтметра комплекта K505 установить на 300 В, амперметра на 2,5 А, мультиметра на 750 В.

10. Измерить параметры электрической цепи и занести значения измеренных величин полного тока и токов в ветвях, падений напряжения и активной мощности в табл. 2.2.

11. Провести расчет параметров собранной электрической цепи.

По представленным ниже формулам провести расчет параметров составленной схемы (рис. 2.4.). При расчете значения сопротивлений элементов  $R_1, R_2, R_3, R_4, R_L, X_C, X_L, Z_L$  взять из табл. 1.2.

1) Определить значения сопротивлений первой ( $Z_1$ ), второй ( $Z_2$ ), третьей ( $Z_3$ ), ветвей и полного сопротивления ( $Z_{\text{полн}}$ ) цепи, а также угол сдвига фаз между приложенным напряжением и током в первой ветви:

$$Z_1 = \sqrt{(R_2^2 + X_C^2)}, \text{ Ом} \quad \varphi_1 = \arctg((X_C / R_2), \text{ град}$$

$$Z_2 = R_1, \text{ Ом} \quad \varphi_2 = 0, \text{ град}$$

$$Z_3 = R_3, \text{ Ом} \quad \varphi_3 = 0, \text{ град}$$

$$Z_{\text{полн.}} = (\underline{Z}_1 \times \underline{Z}_{23}) / (\underline{Z}_1 + \underline{Z}_{23}), \text{ Ом},$$

$$\text{где } Z_{23} = R_1 R_3 / (R_1 + R_3), \text{ Ом}$$

где  $Z_1, Z_2, Z_{\text{полн.}}$  – абсолютные значения сопротивлений первой, второй ветвей и полного сопротивления.

2) Определить значение полного тока и угла сдвига фаз между векторами полного тока и приложенного напряжения :

$$I_{\text{полн}} = U / Z_{\text{полн.}}, \text{ А};$$

3) Определить значения падений напряжений на элементах цепи:

$$U_{R1} = R_1 \times I_2, \text{ В}$$

$$U_{R2} = R_2 \times I_1, \text{ В}$$

$$U_C = X_C e^{-j90^\circ} \times I_1, \text{ В}$$

4) Определить активную мощность:

$$P = R_1 \times I_2^2 + R_2 \times I_1^2 + R_3 \times I_3^2, \text{ Вт}$$

Полученные расчетные данные занести в табл. 2.2.

Таблица 2.2

Значения	U, В	I, А	I <sub>1</sub> , А	I <sub>2</sub> , А	I <sub>3</sub> , А	P, Вт	U <sub>RL</sub> , В	U <sub>C</sub> , В	U <sub>R1</sub> , В	U <sub>R2</sub> , В	U <sub>R3</sub> , В	U <sub>R4</sub> , В
Измеренные												
Расчетные												

12. Сравнить экспериментальные данные с расчетными. Определить погрешность расчета в процентах относительно экспериментальных данных.

13. Построить в масштабе векторную диаграмму токов и напряжений. При построении векторной диаграммы учесть, что вектор падения напряжения

- на активном сопротивлении совпадает с вектором тока;
- на активно- индуктивном сопротивлении опережает вектор тока на  $\varphi^0$ ;
- на активно- емкостном сопротивлении отстает от вектора тока на  $\varphi^0$ .

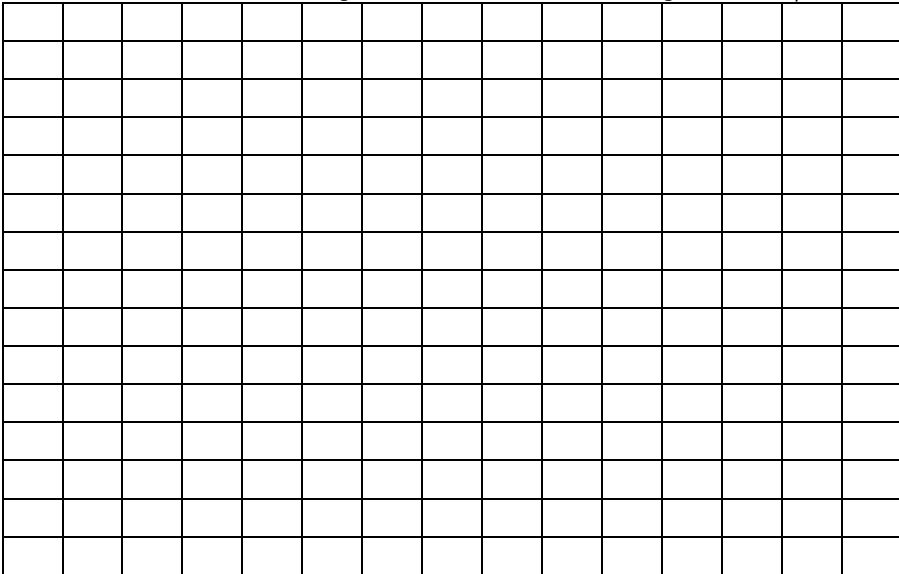


Рис. 2.6. Сетка для векторной диаграммы токов и напряжений при параллельном соединении активных и реактивных элементов

## Лабораторная работа 3

### СОЕДИНЕНИЕ ТРЕХФАЗНОЙ НАГРУЗКИ ЗВЕЗДОЙ

**Цель работы.** Исследование режимов работы трехфазной цепи при соединении нагрузки звездой. Экспериментальное подтверждение результатов расчетов трехфазной цепи.

#### *Порядок выполнения работы*

#### Соединение активной нагрузки звездой с нулевым проводом (цепь трехфазная 4-х проводная)

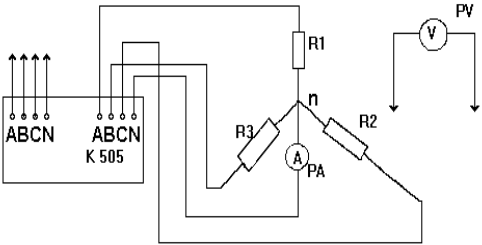
1. Изучить теоретический материал по учебнику или конспекту. Ответить на следующие вопросы:

- 1.1. Какие напряжения и токи называются фазными и линейными?
- 1.2. Какое соотношение между фазными и линейными токами и напряжениями при соединении нагрузки звездой?
- 1.3. Что такое симметричная нагрузка?
- 1.4. Какова роль нейтрального провода?
- 1.5. Как рассчитать ток в нулевом проводе?
- 1.6. Как рассчитать фазные токи при несимметричной нагрузке без нулевого провода?

2. По указанию преподавателя в схеме, представленной в качестве примера на рис.3.1, внести изменения или составить и изобразить (сетка для рис. 3.2) одну из следующих схем включения активной нагрузки в трехфазную сеть:

- 2.1. Несимметричная нагрузка (в одной из фаз включаются два сопротивления последовательно).
- 2.2. Несимметричная нагрузка (в одной из фаз обрыв провода).

Симметричная нагрузка. **не возможна.**

	
Рис. 3.1. Пример схемы соединения трехфазной нагрузки звездой с нулевым проводом	Рис. 3.2. Схема собранной 4-х проводной трехфазной цепи

В работе используются три из четырех активных сопротивления R1, R2, R3, R4, амперметр лицевой панели стенда с пределом измерения 1 А, измерительный комплект К505, мультиметр с пределом измерения 750 В.

**Внимание!** Предел измерения вольтметра измерительного комплекта К505 установить на 300 В, амперметра - на 2,5 А.

Собрать составленную схему и, основываясь на основных соотношениях трехфазной цепи, соединенной по типу «звезда»:  $U_{л} = \sqrt{3} U_{\phi}$  и  $I_{л} = I_{\phi}$ , произвести расчет параметров по следующим формулам:

1) Определить значения фазных напряжений

$$U_{\phi} (U_a, U_b, U_c) = U_{л} / \sqrt{3}, В;$$

и записать комплексные значения фазных напряжений:

$$\underline{U}_a = U_{\phi} e^{-j0^{\circ}}, В \quad \underline{U}_b = U_{\phi} e^{-j120^{\circ}}, В \quad \underline{U}_c = U_{\phi} e^{+j120^{\circ}}, В$$

2) Определить комплексные значения фазных токов при заданных значениях R1, R2, R3, R4 (см. табл.1.2) по следующей формуле:

$$\underline{I}_{\phi} = \underline{U}_{\phi} / R_{\phi}, А;$$

3) определить комплексное значение тока в нейтральном проводе

$$\begin{aligned} \underline{I}_{Nn} &= \underline{I}_a \cos(0^{\circ}) + j \underline{I}_a \sin(0^{\circ}) + \underline{I}_b \cos(-120^{\circ}) + j \underline{I}_b \sin(-120^{\circ}) + \underline{I}_c \cos(+120^{\circ}) + j \underline{I}_c \sin(+120^{\circ}) = \\ &= (\underline{I}_a \cos(0^{\circ}) + \underline{I}_b \cos(-120^{\circ}) + \underline{I}_c \cos(+120^{\circ})) + j (\underline{I}_a \sin(0^{\circ}) + \underline{I}_b \sin(-120^{\circ}) + \underline{I}_c \sin(+120^{\circ})) = \\ &= \underline{I}_{Nn} e^{+j \Phi_{vN}}, А \end{aligned}$$

4) Определить значение активной мощности

$$P = R_1 \times I_a^2 + R_3 \times I_b^2 + R_2 \times I_c^2, Вт$$

Результаты расчета занести в табл. 3.1. Сравнить экспериментальные данные с расчетными. Определить погрешность расчета в процентах относительно экспериментальных данных.

Таблица 3.1

Показатели	$U_{AB}, В$	$U_{BC}, В$	$U_{CA}, В$	$U_A, В$	$U_B, В$	$U_C, В$	$U_a, В$	$U_b, В$	$U_c, В$	P, Вт	$I_a, А$	$I_b, А$	$I_c, А$	$I_{Nn}, А$
Расчетные														
Измеренные														

4. Построить в масштабе векторную диаграмму токов и напряжений.

При построении векторной диаграммы учесть, что вектор падения напряжения

- на активном сопротивлении совпадает с вектором тока;
- на активно- индуктивном сопротивлении опережает вектор тока на  $\varphi^0$ ;
- на активно- емкостном сопротивлении отстает от вектора тока на  $\varphi^0$ .

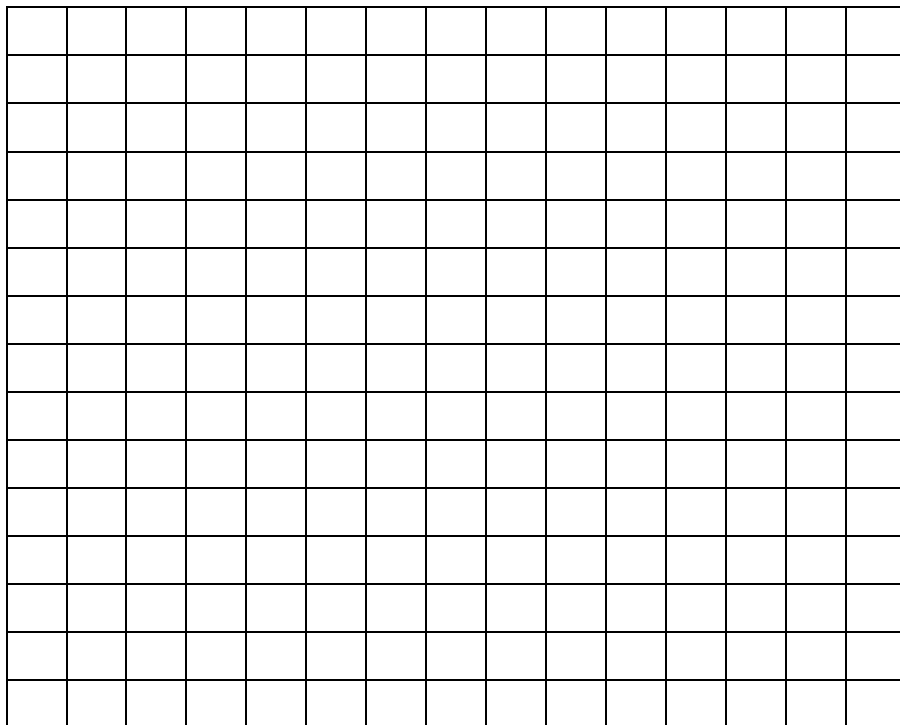


Рис. 3.3. Сетка для векторной диаграммы токов и напряжений при соединении несимметричной активной нагрузки звездой с нулевым проводом

## Соединение разнохарактерной нагрузки звездой без нулевого провода (цепь трехфазная 3-х проводная)

5. Изучить теоретический материал по учебнику или конспекту. Ответить на следующие вопросы:

5.1. Какие токи называются фазными и линейными?

5.2. Является ли разнохарактерная нагрузка одинаковой величины симметричной?

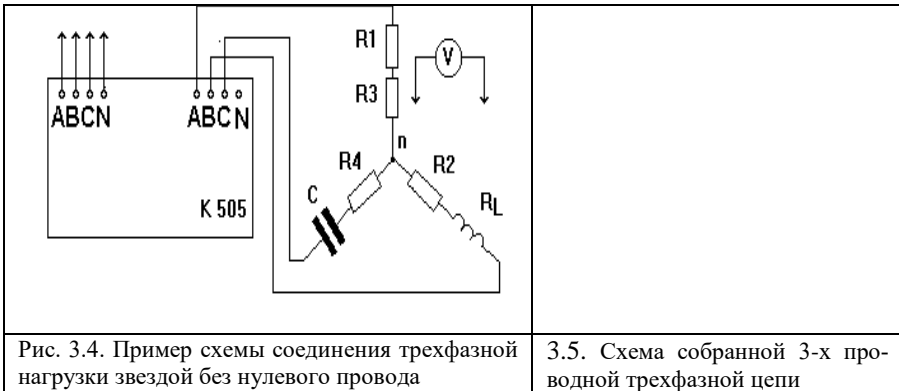
5.3. Что называется напряжением смещения нейтрали?

5.4. Как рассчитать напряжение между нейтральными точками генератора и нагрузки?

5.5. Что называется перекосом фаз?

5.6. Что такое прямая и обратная последовательность фаз?

6. Составить и изобразить в рабочей тетради (сетка для рис. 3.5) одну из разновидностей схем включения сопротивлений в трехфазную сеть или внести изменения в схеме, представленной в качестве примера на рис. 3.4.



Разновидность схемы взять по указанию преподавателя из следующего списка:

6.1. Включение цепочек: R1-R3 в фазу А; R2-RL в фазу В; R4-С в фазу С.

6.2. Включение цепочек: R1-R3 в фазу А; R4-С в фазу В; R2-RL в фазу С.

6.3. Включение цепочек: R2-RL в фазу А; R1-R3 в фазу В; R4-С в фазу С.

6.4. Включение цепочек: R4-С в фазу А; R1-R3 в фазу В; R2-RL в фазу С.

Для измерения токов и напряжений использовать измерительный комплект К505, мультиметр с пределами измерений 750 В.

**Внимание!** Предел измерения вольтметра измерительного комплекта К505 установить на 300 В, амперметра - на 2,5 А. Линейное напряжение измерять вольтметром на 500 В.

7. Собрать электрическую цепь по составленной схеме (рис.3.5) и произвести расчет параметров. Результаты расчета занести в табл. 3.2.

Таблица 3.2

Показатели	$U_{AB}, B$	$U_{BC}, B$	$U_{CA}, B$	$U_A, B$	$U_B, B$	$U_C, B$	$U_b, B$	$U_b, B$	$U_c, B$	$U_{nN}, B$	$I_a, A$	$I_b, A$	$I_c, A$	$P, Вт$
Расчетные														
Измеренные														

3. Основываясь на основных соотношениях трехфазной цепи, соединенной по типу «звезда» 3-х проводная :  $U_{л} = \sqrt{3} U_{\phi}$  и  $I_{л} = I_{\phi}$ , произвести расчет параметров по следующим формулам.

1) Определить комплексные значения фазных сопротивлений:

$$Z_a = (R_1 + R_3), \text{ Ом } \varphi_a = 0, \text{ град}$$

$$Z_b = \sqrt{(R_2 + R_L)^2 + X_L^2}, \text{ Ом } \varphi_a = \arctg(X_L / (R_2 + R_L)),$$

$$Z_c = \sqrt{R_4^2 + X_C^2}, \text{ Ом } \varphi_c = \arctg(X_C / R_4), \text{ град}$$

2) Определить комплексное значение напряжения смещения нейтрали:

$$\underline{U}_{Nn} = (Y_a \underline{U}_A + Y_b \underline{U}_B + Y_c \underline{U}_C) / (Y_a + Y_b + Y_c), \text{ В}$$

где  $Y_a = 1/Z_a$ ,  $Y_b = 1/Z_b$ ,  $Y_c = 1/Z_c$  - проводимости фазных нагрузок

3) Определить комплексные значения фазных напряжений и токов:

$$\underline{U}_a = \underline{U}_A - \underline{U}_{Nn}, \text{ В}; \quad \underline{I}_a = \underline{U}_a / Z_a, \text{ А};$$

$$\underline{U}_b = \underline{U}_B - \underline{U}_{Nn}, \text{ В}; \quad \underline{I}_b = \underline{U}_b / Z_b, \text{ А};$$

$$\underline{U}_c = \underline{U}_C - \underline{U}_{Nn}, \text{ В}. \quad \underline{I}_c = \underline{U}_c / Z_c, \text{ А}.$$

4) Определить значение полной активной мощности:

$$P = (R_1 + R_3) \times I_a^2 + (R_2 + R_L) \times I_b^2 + R_4 \times I_c^2, \text{ Вт}$$

Результаты расчета занести в табл. 3.2. Сравнить экспериментальные данные с расчетными. Определить погрешность расчета в процентах относительно экспериментальных данных.



8. Построить в масштабе векторную диаграмму токов и напряжений.

При построении векторной диаграммы учесть, что вектор падения напряжения

- на активном сопротивлении совпадает с вектором тока;
- на активно-индуктивном сопротивлении опережает вектор тока на  $\varphi^0$ ;
- на активно-емкостном сопротивлении отстает от вектора тока на  $\varphi^0$ .

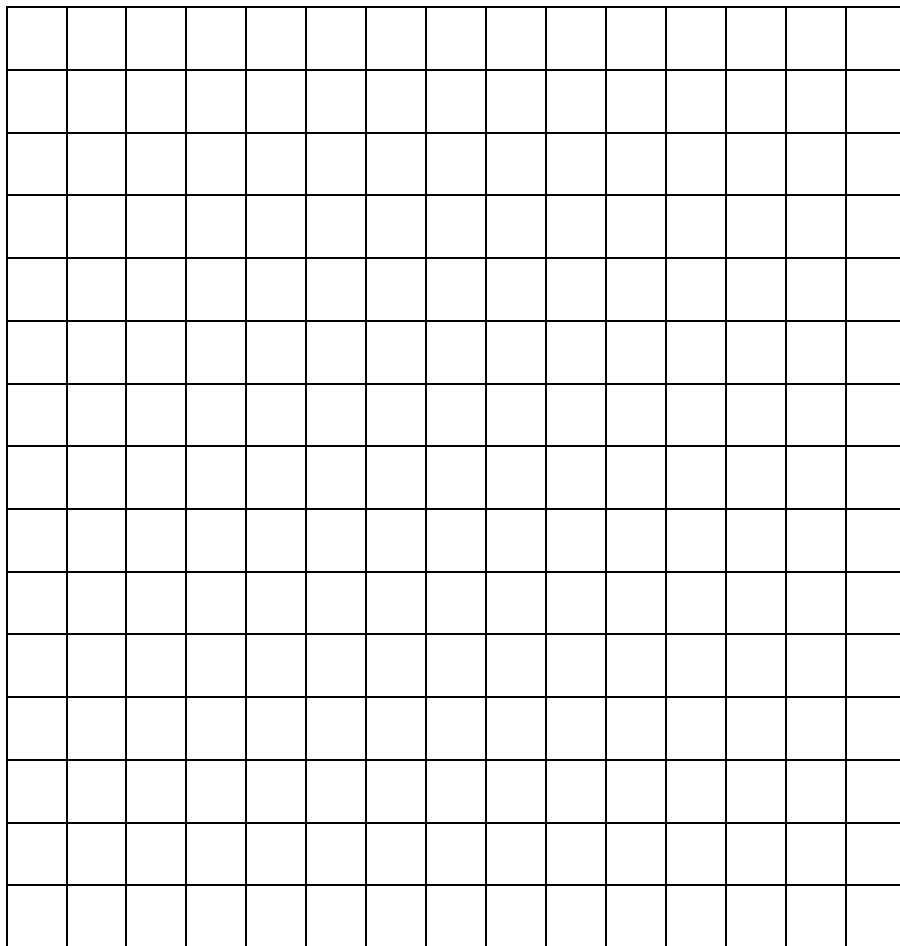


Рис. 3.6. Сетка для векторной диаграммы токов и напряжений при соединении нагрузки звездой без нулевого провода

## Лабораторная работа 4

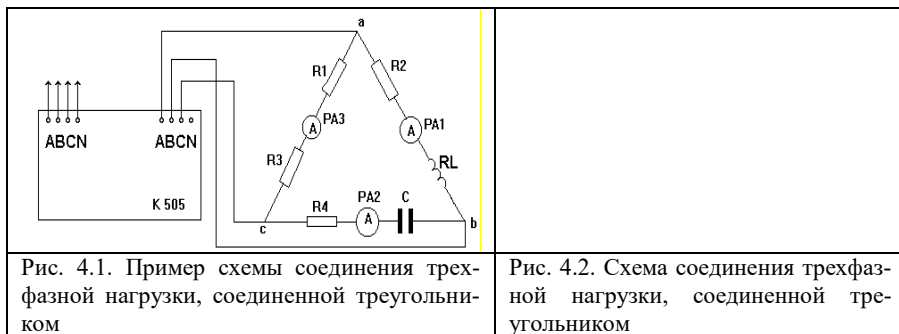
### СОЕДИНЕНИЕ ТРЕХФАЗНОЙ НАГРУЗКИ ТРЕУГОЛЬНИКОМ

**Цель работы.** Исследование режимов работы трехфазной цепи при соединении нагрузки треугольником. Экспериментальная проверка методов расчета цепи.

#### *Порядок выполнения работы*

1. Изучить теоретический материал по учебнику или конспекту. Ответить на следующие вопросы:

- 1.1. Как соединить нагрузку в треугольник?
  - 1.2. Какие соотношения между фазными и линейными напряжениями при соединении треугольником?
  - 1.3. Каковы соотношения между фазными и линейными токами при несимметричной нагрузке?
  - 1.4. Как влияет обрыв линейного провода на работу трехфазного потребителя, соединенного в треугольник?
  - 1.5. Как по векторной диаграмме определить напряжение между двумя точками электрической цепи?
2. Составить и изобразить в рабочей тетради (сетка для рис. 4.2) одну из разновидностей схем включения сопротивлений в трехфазную сеть или внести изменения в схеме, представленной в качестве примера на рис.4.1.



Разновидность схемы взять по указанию преподавателя из следующего списка:

- 2.1. Включение цепочек: R1-R3 в фазу AB, R2-RL в фазу BC, R4-C в фазу CA.
- 2.2. Включение цепочек: R2-RL в фазу AB, R1-R3 в фазу BC, R4-C в фазу CA.
- 2.3. Включение цепочек: R1-R3 в фазу AB, R4-C в фазу BC, R2-RL в фазу CA.
- 2.4. Включение цепочек: R4-C в фазу AB, R1-R3 в фазу BC, R2-RL в фазу CA.
- 2.5. Включение цепочек: R4-C в фазу AB, R2-RL в фазу BC, R1-R3 в фазу CA.
- 2.6. Включение цепочек: R2-RL в фазу AB, R4-C в фазу BC, R1-R3 в фазу CA.

Для измерения токов и напряжений использовать комплект К505, амперметры и вольтметры с пределами измерений 1 А, 300 В и мультиметр с пределом измерения 750 В.

**Внимание!** Предел измерения вольтметра измерительного комплекта К505 установить на 300 В, амперметра - на 2,5 А. Линейные напряжения измерять вольтметром на 750 В.

3. Собрать схему по рис. 4.2. на стенде, произвести измерение параметров составленной схемы и результаты измерений занести в табл.4..

Таблица 4

Режим	Значения	$U_{AB},$ В	$U_{BC},$ В	$U_{CA},$ В	$I_a,$ А	$I_b,$ А	$I_c,$ А	$I_{ab},$ А	$I_{bc},$ А	$I_{ca},$ А	Р, Вт
Трех- фазный	Расчет- ные										
	Изме- ренные										

4. Основываясь на основных соотношениях трехфазной цепи соединенной по типу «треугольник»:  $U_L = U_\phi$  и  $I_L = \sqrt{3} I_\phi$ , произвести расчет параметров по соответствующим формулам. Формулы для расчета приведены на примере электрической цепи, представленной на рис. 4.1.

1) Определить комплексные значения фазных напряжений и фазных сопротивлений:

$$U_L (U_{AB}, U_{BC}, U_{CA}) = U_\phi (U_{ab}, U_{bc}, U_{ac}), \text{ В};$$

$$Z_{ab} = \sqrt{(R_2 + R_L)^2 + X_L^2}, \text{ Ом} \quad \varphi_{ab} = + \arctg (X_L / (R_2 + R_L)), \text{ град}$$

$$Z_{bc} = \sqrt{(R_4^2 + X_C^2)}, \text{ Ом} \quad \varphi_{bc} = - \arctg (X_C / R_4), \text{ град}$$

$$Z_{ca} = (R_1 + R_3), \text{ Ом} \quad \varphi_{ca} = 0, \text{ град};$$

2) Определить комплексные значения фазных и линейных токов:

$$I_\phi (I_{ab}, I_{bc}, I_{ac}), = U_\phi / Z_\phi, \text{ А};$$

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

$$\underline{I}_a = \underline{I}_{ab} - \underline{I}_{ca}; \quad \underline{I}_b = \underline{I}_{bc} - \underline{I}_{ab}; \quad \underline{I}_c = \underline{I}_{ca} - \underline{I}_{bc}.$$

3) Определить значение полной активной мощности:

$$P = (R_2 + R_L) \times I_{ab}^2 + R_4 \times I_{bc}^2 + (R_1 + R_3) \times I_{ca}^2, \text{ Вт}$$

Результаты расчета занести в табл. 4.

Сравнить экспериментальные данные с расчетными. Определить погрешность расчета в процентах относительно экспериментальных данных.

5. Построить в масштабе векторную диаграмму напряжений и токов.

При построении векторной диаграммы учесть, что вектор падения напряжения

- на активном сопротивлении совпадает с вектором тока;
- на активно- индуктивном сопротивлении опережает вектор тока на  $\varphi^0$ ;
- на активно- емкостном сопротивлении отстает от вектора тока на  $\varphi^0$ .

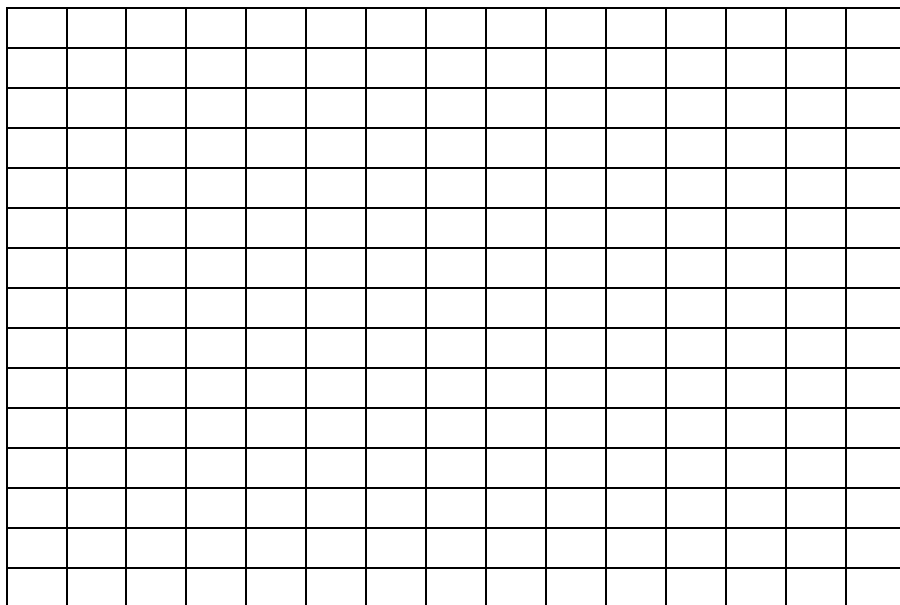


Рис. 4.3. Сетка для векторной диаграммы токов и напряжений при соединении нагрузки треугольником

## Список рекомендованной литературы

1. Иванов И.И. Электротехника и основы электроники: учебник для студентов вузов: /И.И.Иванов, Г.И.Соловьев, В.Я.Фролов. – 7-е изд., перераб. и доп. –Санкт-Петербург: Москва: Краснодар: Лань, 2012.-736 с.: ил. – (Учебник для вузов).- ISBN 978-5-8114-0523-7.

2. Новожилов О.П..Электротехника и электроника: учебник для бакалавров: /О.П.Новожилов— 2-е изд. исправ. и доп. Москва : Юрайт, 2013.-653 с.–(Бакалавр. Базовый курс).- Библиогр. : с. 632-635.- Пред.указ.: с. 636-648.- ISBN 978-5-9916-12016-1.

3. Атабеков Г.И. Теоретические основы электротехники. Линейные электрические цепи. – 8-е изд., стер.- СПб. [и др.]: Лань, 2010. – 592 с.

4. Теоретические основы электротехники. Учебник (ГРИФ)//Лоторейчук Е.А. - М.: ИД “ФОРУМ”: ИНФРА-М, 2010. - 320 с.

5. Жаворонков М.А. Электротехника и электроника: учеб. пособие для студ. Учреждений высш. проф. образования/ М.А. Жаворонков, А.В. Кузин.- 4-е изд., испр. – М.: Академия, 2011. – 400 с. – (Сер. Бакалавриат).

## Список используемой литературы

1. Гаршина Е.И. Электротехника и электроника: Учебное пособие к самостоятельной работе по выполнению контрольной работы /Новосиб. гос. аграр. ун-т. Инж. ин-т; Сост.: Е.И.Гаршина, - Новосибирск: Изд-во НГАУ, 2023. – 129 с.

2. Гаршина Е.И. Общая электротехника и электроника: методические указания к самостоятельной работе по выполнению контрольной работы ( дополненное и переработанное)/Новосиб. гос. аграр. ун-т. Инж. ин-т; Сост.: Е.И.Гаршина, - Новосибирск: Изд-во НГАУ, 2017 - 42 с.

3. Основы электротехники: Тетрадь лабораторных работ / Новосибир. гос. аграр. ун-т / Е.И. Гаршина, М.М. Федорова – 6 изд., перераб. и доп.-Новосибирск: Изд-во НГАУ, 2017. – 18 с.

Составители:  
Гаршина Елена Ивановна

## **ЭЛЕКТРОТЕХНИКА И ЭЛЕКТРОНИКА**

### **Тетрадь лабораторных работ**

Редактор Т.К. Коробкова

Компьютерная верстка Т.А. Измайлова

Подписано к печати \_\_\_\_\_ 2023 г.

Объем 2,6 уч.-изд. л. Формат 60×84<sup>1/16</sup>

Тираж 100 экз. Изд. № Заказ №

---

Отпечатано в издательском центре «Золотой колос»  
630039, Новосибирск, ул. Добролюбова, 160