

Министерство образования и науки Челябинской области  
Государственное бюджетное профессиональное образовательное учреждение  
«Южно-Уральский государственный технический колледж»

**Методические рекомендации  
по выполнению практических работ**

по дисциплине  
«Электротехника и электроника»

для студентов

специальности 08.02.04 Водоснабжение и водоотведение  
(Учебный план 2020)

**Челябинск 2020**

## АКТ СОГЛАСОВАНИЯ

на Методические рекомендации по выполнению практических работ  
по учебной дисциплине «Электротехника и электроника»,  
разработанные преподавателем ПЦК ВВ Лир С.В.,  
для студентов специальности

08.02.04 Водоснабжение и водоотведение (базовая подготовка)

ГБПОУ СПО «Южно-Уральский государственный технический колледж»

Методические рекомендации по выполнению практических работ по учебной дисциплине «Электротехника и электроника» предназначены для обучающихся базовой подготовки специальности 08.02.04 Водоснабжение и водоотведение.

В процессе выполнения практических работ обучающиеся систематизируют и закрепляют полученные теоретические знания, развивают интеллектуальные и профессиональные умения, формируют элементы компетенций будущих специалистов.

Методические рекомендации содержат Пояснительную записку, Правила техники безопасности при проведении практических работ, Перечень и содержание практических работ, литературу (Основные и дополнительные источники, Интернет-ресурсы), Приложение – образец титульного листа, Отчета по практической работе.

В результате выполнения практических работ студент должен уметь использовать программное обеспечение в профессиональной деятельности; применять компьютерные и телекоммуникационные средства; знать состав информационных и телекоммуникационных технологий; функции и возможности использования информационных технологий в профессиональной деятельности.

Указанные Методические рекомендации по выполнению практических работ по учебной дисциплине «Электротехника и электроника» предлагается использовать для обучающихся специальности 08.02.04 Водоснабжение и водоотведение (базовая подготовка) ЮУрГТК очной формы обучения.

Генеральный директор ООО «Архитектурная Мастерская»  
Маркштетер А.А. Маркштетер



## Оглавление

Пояснительная записка.....	5
Перечень практических работ.....	10
Критерии оценивания практических работ.....	11
Практические работы.....	12
Приложение А .....	68
Список литературы .....	69

## **Пояснительная записка**

Методические рекомендации по выполнению практических работ по дисциплине Электротехника и электроника для обучающихся по специальности 08.02.04 Водоснабжение и водоотведение.

Практические занятия являются важным элементом учебной дисциплины. В процессе выполнения практических работ обучающиеся систематизируют и закрепляют полученные теоретические знания, развивают интеллектуальные и профессиональные умения, формируют элементы компетенций будущих специалистов.

Методические рекомендации предназначены для организации выполнения практических работ по Электротехнике и электронике.

Программой предусмотрено выполнение 10 практических работ, направленных на достижение следующих результатов:

### **Уметь:**

- использовать электротехнические законы для расчета электрических цепей постоянного и переменного тока;
- использовать электротехнические законы
- выполнять электрические измерения для расчета магнитных цепей.

### **Знать:**

- методы составления и расчета простых электрических и магнитных цепей;
- основные электротехнические законы, основы электроники;
- основные виды и типы электронных приборов.

Описание каждой лабораторно-практической работы содержит номер, название и цель работы, формируемые в процессе выполнения работы знания, умения и элементы компетенций, теоретическое изложение необходимого материала, варианты заданий, описание алгоритма выполнения работы и контрольные вопросы (с целью выявить и устранить недочеты в освоении материала).

Для получения дополнительной, более подробной информации по основным вопросам учебной дисциплины в конце методических рекомендаций приведен перечень информационных источников.

Отчеты студентов по лабораторно-практическим работам должны содержать номер, название и цель работы, выполненные задания и их результаты, ответы на контрольные вопросы и выводы по проделанной работе.

#### ПРАВИЛА ТЕХНИКИ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

1. До начала выполнения работы необходимо внешним осмотром проверить исправность элементов стенда. Об обнаруженных неисправностях немедленно сообщить преподавателю.

2. Включать стенд после сборки схемы разрешается только после ее проверки преподавателем или лаборантом и в их присутствии.

3. При сборке схемы недопустимо использование проводов без наконечников и с поврежденной изоляцией.

4. По окончании сборки схемы необходимо удалить лишние провода и предметы (книги, портфели и т.д.) с рабочего места. Проходы вокруг рабочего места должны быть свободны.

5. Запрещается переключать что-либо на стенде, находящемся под напряжением.

6. При несчастном случае немедленно оказать первую помощь и вызвать врача.

7. Знание настоящих правил обязательно для всех, и ознакомление с ними оформляется росписью в журнале по технике безопасности.

## ПРАВИЛА ВЫПОЛНЕНИЯ, ОФОРМЛЕНИЯ И СДАЧИ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

1. Студент должен явиться в лабораторию подготовленным теоретически к выполнению предстоящей работы. Для чего необходимо:

а) изучить материал, относящийся к содержанию лабораторной работы;

б) подготовить ответы на контрольные вопросы, содержащиеся в данном руководстве по выполняемой работе;

в) заготовить бланк отчета со схемами исследуемых цепей и таблицами для записи результатов измерений и расчетов.

2. Готовность студентов к выполнению лабораторной работы проверяется преподавателем. Неподготовленные студенты к работе не допускаются.

3. При выполнении лабораторных работ необходимо строго соблюдать правила техники безопасности.

4. Сборка исследуемых цепей, проведение измерений и экспериментов выполняется бригадами в составе 2÷4 человек. Обработка результатов экспериментов выполняется каждым студентом самостоятельно.

5. Отчет по каждой лабораторной работе оформляется отдельно. На титульном листе отчета должны быть указаны наименование работы, академическая группа, фамилии и инициалы студентов и дата выполнения лабораторной работы. Допускается по разрешению преподавателя составление одного отчета на бригаду.

6. Схемы, диаграммы и графики должны быть выполнены в отчете с помощью чертежных инструментов, условные графические обозначения элементов электрических схем должны соответствовать ЕСКД. В отчете

должны быть приведены расчетные формулы, а также выводы по результатам проведенных исследований.

7. Сдача работы состоит из проверки отчета преподавателем и собеседования, по результатам которых проводится аттестация выполненной работы.

9. Студент допускается к выполнению следующей по плану лабораторной работы при условии сдачи всех предыдущих работ.

10. Пропущенная лабораторная работа выполняется студентом в часы занятий других академических групп.

Каждая отчетная работа должна быть аккуратно оформлена и вложена в папку с файлами. Отчет можно выполнять в рукописном варианте или с применением ПК. Первый файл в папке должен содержать титульный лист установленного образца (приложение А). Каждая отчетная работа подписывается преподавателем после её защиты и хранится в папке у студента до конца учебного года. В конце I семестра студент обязан сдать папку со всеми, подписанными преподавателем, работами и получить зачет по лабораторно-практическим работам за год. Зачет по лабораторно-практическим работам ставится при наличии в папке всех отчетных работ, проведенных в группе.

## Перечень практических работ

по дисциплине «Электротехника и электроника»

для специальности 08.02.04 Водоснабжение и водоотведение

№ работы	Наименование	Кол-во часов
Лабораторная работа №1	Исследование соединений резисторов	2
Лабораторная работа №2,3	Исследование неразветвленной цепи переменного тока с активным, емкостным сопротивлением и разветвленной цепи переменного тока с активным, индуктивным, емкостным сопротивлением.	4
Лабораторная работа №4	Исследование трехфазной цепи при соединении потребителей энергии звездой и треугольником.	2
Практическая работа №1	Исследование измерительных приборов.	2
Практическая работа №2	Работа с однофазным трансформатором.	2
Практическая работа №3	Определение параметров асинхронного двигателя по паспортным данным.	2
Практическая работа №4	Действие генератора постоянного тока.	2
Практическая работа №5	Управление трехфазным асинхронным двигателем.	2
Практическая работа №6	Определение потери напряжения и мощности в линии электропередачи.	2
Итого:		20



## Критерии оценки отчетных работ

Критерии	Оценка
Результаты практических занятий посчитаны, сделан необходимый анализ, правильно даны письменные ответы на контрольные вопросы, правильно зарисованы схемы и сделан вывод	Отлично
Результаты практических занятий посчитаны, не сделан анализ, не точно даны письменные ответы на контрольные вопросы, правильно зарисованы схемы и сделан вывод	Хорошо
Результаты практических занятий посчитаны, не сделан анализ, не точно даны письменные ответы на контрольные вопросы, не правильно зарисованы схемы и не точно сделан вывод	Удовлетворительно
Результаты практических занятий не посчитаны, не сделан анализ, не даны письменные ответы на контрольные вопросы, не правильно зарисованы схемы и не сделан вывод	Неудовлетворительно

# ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №1

## ИССЛЕДОВАНИЕ СОЕДИНЕНИЙ РЕЗИСТОРОВ

### ЦЕЛЬ РАБОТЫ

*Задачей* работы является экспериментальное определение параметров активного двухполюсника, определение сопротивления резистора методом вольтметра-амперметра, экспериментальная проверка законов Кирхгофа для цепи постоянного тока.

*Продолжительность работы – 2 часа*

### КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Совокупность источников электрической энергии и нагрузок, по которым может протекать электрический ток, называют *электрической цепью*.

*Постоянным током* называют ток, неизменный во времени.

Для получения тока в электрической цепи необходим *источник энергии*. При расчете и анализе электрических цепей его заменяют расчетным эквивалентом – источником ЭДС с последовательно включенным сопротивлением  $R_0$ , равным внутреннему сопротивлению реального источника (выделенная часть рис. 1).

Выделенная часть схемы представляет собой *активный двухполюсник*.

Направление тока и направление падения напряжения принимают от точки с более высоким потенциалом к точке с более низким потенциалом.

Напряжение источника ЭДС или активного двухполюсника  $U = E - I R_0$  изменяется от значения  $U_x = E$  при холостом ходе (сопротивление внешней цепи  $R = \infty$ ) до нуля при коротком замыкании ( $R=0$ ,  $I = I_k = E / R_0$ ).

Зависимость напряжения источника электроэнергии от силы тока, выдаваемого им во внешнюю цепь, называется *внешней характеристикой*.

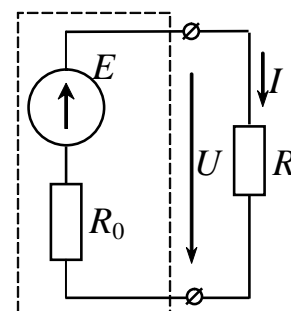


Рис. 1

По внешней характеристике можно определить параметры источника: ЭДС  $E$  и внутреннее сопротивление  $R_0$ . Для многих источников внешняя характеристика представляет собой прямую линию (рис. 2, а).

В случаях, когда можно пренебречь внутренним сопротивлением источника ( $R_0 \ll R$ ), то, считая  $R_0 = 0$ , получим  $U = E$ , т.е. напряжение источника не зависит от силы тока  $I$ . Такой источник ЭДС называется *идеальным*. На практике источник ЭДС можно считать

идеальным, если во всем диапазоне рабочего тока падение напряжения на внутреннем сопротивлении источника мало по сравнению с ЭДС: ( $U_0 = I \cdot R_0$ )  $\ll E$ . Внешняя характеристика идеального источника ЭДС изображена на рис. 2, б.

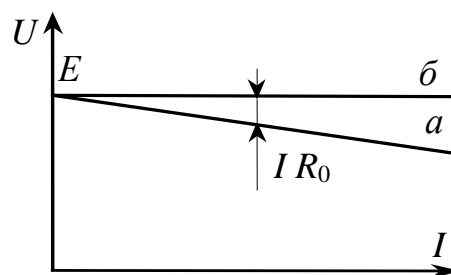


Рис. 2

Одним из распространенных методов измерения сопротивления является *метод вольтметра-амперметра*. Из закона Ома следует, что, измерив падение напряжения  $U_R$  на резисторе и силу тока  $I$  в нем, можно найти сопротивление резистора  $R$ :

$$R = \frac{U_R}{I} \quad (1)$$

Для такого измерения можно собрать два варианта схемы включения измерительных приборов (рис. 3, 4).

Надо иметь в виду, что реальные вольтметр и амперметр обладают определенным внутренним сопротивлением, соответственно  $R_V$  и  $R_A$  (у идеальных приборов  $R_V = \infty$ ,  $R_A = 0$ ).

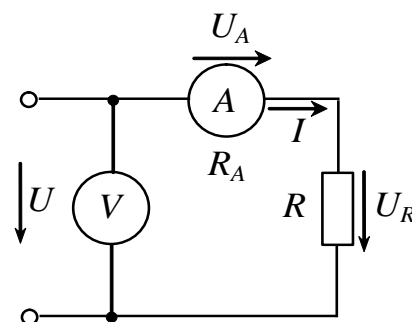


Рис. 3

При использовании схемы рис. 3 следует

учитывать, что вольтметр измеряет напряжение  $U = U_A + U_R$  и найденное по

формуле (1) сопротивление  $R' = R + R_A$ . Отсюда  $R = \frac{U}{I} - R_A$ . Если  $R_A \ll R$ ,

то сопротивлением амперметра можно пренебречь и считать  $R' = R$ .

При измерении сопротивления по схеме рис. 4

амперметр будет измерять силу тока  $I_A = I + I_V$ . Поэтому при расчете сопротивления  $R$  надо учитывать ток через

вольтметр:  $R = \frac{U_R}{I_A - I_V}$ . Если  $R_V \gg R$ , то током

вольтметра можно пренебречь.

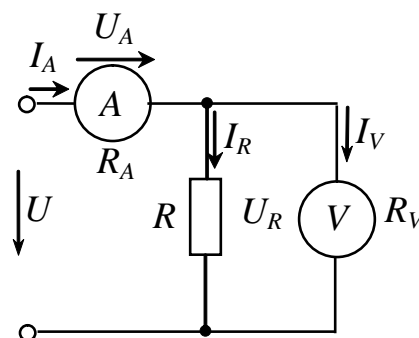


Рис. 4

Все электрические цепи подчиняются законам Кирхгофа.

*Первый закон Кирхгофа:* алгебраическая сумма токов в узле электрической цепи равна нулю:

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

где  $n$  – количество ветвей, образующих узел.

*Второй закон Кирхгофа:* алгебраическая сумма падений напряжений в замкнутом контуре равняется алгебраической сумме ЭДС этого контура:

$$\sum_{i=1}^n U_i = \sum_{j=1}^m E_j,$$

где  $n$  – количество сопротивлений,  $m$  – количество ЭДС в контуре.

## ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ

1. Лабораторная работа выполняется на универсальном стенде ЭВ4.

2. Необходимые амперметры и резисторы расположены на панели № 6.

Для измерения напряжения используется цифровой вольтметр В7-38 в режиме измерения *постоянного* напряжения.

3. Клеммы источника постоянного тока ( $\pm 0-220$  В) и кнопки включения питания стенда расположены на горизонтальной панели стенда.

4. Для подачи напряжения питания необходимо:

- включить автоматический выключатель, расположенный под откидной крышкой стенда;

- нажать кнопку “Вкл” общего включения стенда;
- нажать кнопку включения источника постоянного тока, расположенную под вольтметром “Постоянное”;
- установить заданное напряжение на зажимах цепи, *плавно* вращая рукоятку ЛАТРа.

## ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Ознакомиться с описанием лабораторной установки.
2. Собрать схему (рис. 5). Предварительно выбрать амперметр с необходимым пределом измерения, полагая напряжение  $U=70$  В.

3. Подать напряжение на схему и при максимальном сопротивлении переменного резистора  $R_p$  установить напряжение источника питания  $U = 60-70$  В (по указанию преподавателя).

4. Снять внешнюю характеристику  $U = f(I)$  источника, изменяя сопротивление  $R_p$ .  
Результаты измерений занести в табл. 1.

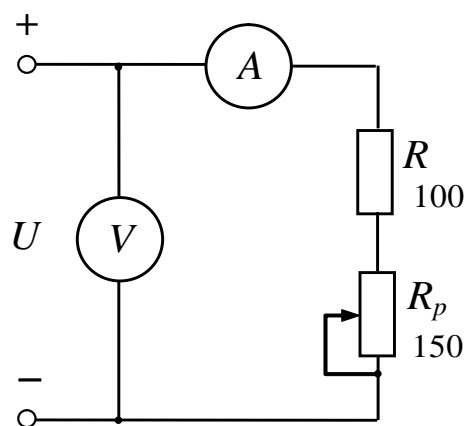


Рис. 5

Таблица 1

$U, \text{В}$						
$I, \text{А}$						

По данным табл. 1 изобразить внешнюю характеристику источника. Считая ее линейной, определить величину ЭДС  $E$  и внутреннее сопротивление  $R_0$  источника, начертить схему замещения источника.

5. Для схемы (рис. 5) при рассчитанных параметрах источника определить сопротивление резистора  $R_p$  и ток в цепи, при котором напряжение на нем равно  $U_{R_p} = 20\text{В}$ .

Изменением сопротивления  $R_p$  установить рассчитанное значение тока, экспериментально проверить правильность выполнения второго закона Кирхгофа. Результаты расчетов и измерений занести в табл. 2.

Параметры	$I, \text{А}$	$R_p, \text{Ом}$	$R+R_p, \text{Ом}$	$U, \text{В}$	$U_R, \text{В}$	$U_{R_p}, \text{В}$
расчетные						
опытные						

Таблица 2

6. Определить величину сопротивления  $R + R_p$  при неизменном сопротивлении резистора  $R_p$  методом вольтметра-амперметра, считая измерительные приборы идеальными. Сравнить расчетное (из п. 5) и измеренное значения сопротивления резистора  $R_p$ .

7. Изобразить схему замещения цепи (рис. 6) и рассчитать токи в ней при заданных значениях ЭДС и сопротивления  $R + R_p$ , считая приборы идеальными.

8. Собрать схему (рис. 6), выбрав амперметры с соответствующими пределами измерений. Расчетные и измеренные значения токов занести в табл.

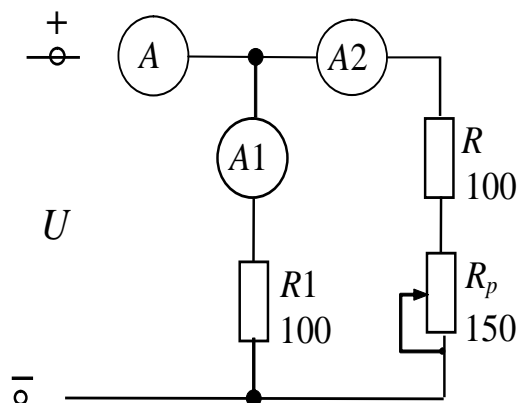


Рис. 6

3. Проверить правильность выполнения первого закона Кирхгофа.

Таблица 3

Параметры	$I, \text{А}$	$I_1, \text{А}$	$I_2, \text{А}$
расчетные			
опытные			

## СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

Отчет по лабораторной работе должен включать:

- схемы исследуемых электрических цепей;
- таблицы с опытными и расчетными данными;
- схему замещения и внешнюю характеристику источника ЭДС;
- схему замещения цепи и расчетные формулы по п. 7;
- выводы по результатам работы.

## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что называется внешней характеристикой источника ЭДС? Приведите ее уравнение.
2. Почему напряжение на зажимах ненагруженного аккумулятора больше, чем под нагрузкой?
3. Определить отношение  $R/R_0$  и КПД источника энергии (рис. 7) с ЭДС  $E=100\text{В}$ , если напряжение  $U=95\text{В}$ .
4. Для схемы (рис. 7) определить ток короткого замыкания источника, если при КПД  $\eta = 50\%$  ток  $I=2\text{А}$ , а напряжение  $U=10\text{В}$ .
5. Как изменятся показания амперметров в схеме (рис. 5) при перемещении движка реостата вверх?
6. Приведите схему, позволяющую регулировать напряжение на нагрузке от нуля до напряжения источника.
7. Назовите методы измерения сопротивления. Укажите достоинства и недостатки метода вольтметра-амперметра.

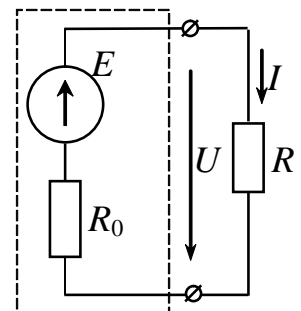


Рис. 7

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2,3

### ИССЛЕДОВАНИЕ НЕРАЗВЕТВЛЕННОЙ ЦЕПИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА АКТИВНЫМ, ЕМКОСТНЫМ СОПРОТИВЛЕНИЕМ И РАЗВЕТВЛЕННОЙ ЦЕПИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА С АКТИВНЫМ, ИНДУКТИВНЫМ, ЕМКОСТНЫМ СОПРОТИВЛЕНИЕМ.

#### ЦЕЛЬ РАБОТЫ

*Задачей работы является проверка опытным путем уравнений, описывающих параметры неразветвленной цепи переменного синусоидального тока, выявление условий резонанса и его проявлений в этой электрической цепи.*

*Продолжительность работы – 4 часа*

#### КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

В цепях синусоидального переменного тока различают *актив-ное*  $R$ , *индуктивное*  $X_L = \omega L = 2\pi fL$  и *емкостное*  $X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi fC}$  сопротивления.

Активное сопротивление характеризует необратимый процесс преобразования электрической энергии в другие виды энергии, а индуктивность  $L$  и емкость  $C$  – обратимый процесс преобразования энергии электромагнитного поля.

Ток в активном элементе совпадает по фазе с напряжением, ток в индуктивном сопротивлении отстает по фазе от напряжения на  $90^\circ$ , а в емкостном сопротивлении – опережает напряжение на  $90^\circ$ .

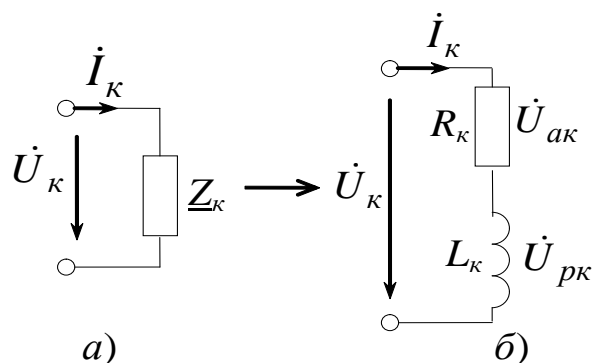


Рис.1



Реальную катушку индуктивности можно представить в виде схемы замещения последовательно включенных активного и индуктивного сопротивлений (рис.1 а, б).

Полное сопротивление катушки  $Z_k = \sqrt{R_k^2 + X_k^2}$

Векторная диаграмма напряжений реальной катушки индуктивности показана на рис. 2.

Составляющие напряжения на катушке:

- активная:  $U_{\dot{a}\dot{e}} = U_{\dot{e}} \cdot \cos \varphi_{\dot{e}};$

- реактивная:  $U_{\dot{\delta}\dot{e}} = U_{\dot{e}} \cdot \sin \varphi_{\dot{e}}.$

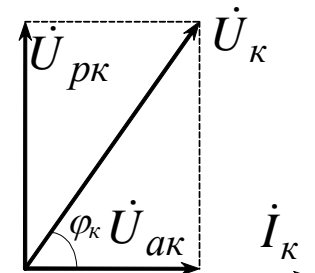


Рис. 2

Для неразветвленной электрической цепи переменного тока (рис. 3)

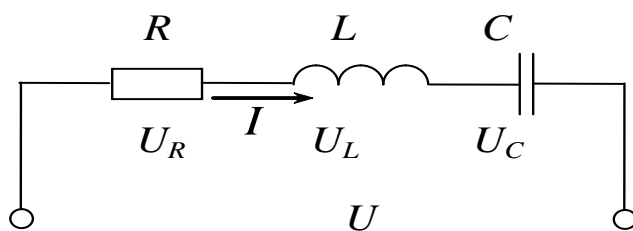


Рис. 3

действующее напряжение цепи равно геометрической сумме напряжений на последовательно включенных элементах, т.е.

$$\dot{U} = \dot{U}_L + \dot{U}_R + \dot{U}_C.$$

Векторная диаграмма (рис. 4)

для неразветвленной электрической цепи является геометрическим толкованием второго закона Кирхгофа. Из векторной диаграммы следует, что модуль напряжения цепи равен

$$U = \sqrt{U_R^2 + (U_L - U_C)^2} = I \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} = IZ. \quad (1)$$

В уравнении (1) величина

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$$

называется *полным сопротивлением* цепи, в комплексной форме

$$\underline{Z} = R + j(X_L - X_C) \quad (2)$$

По выражению (2) можно построить треугольник сопротивлений (рис. 5), из которого следует, что  $\cos \varphi = R / Z$ . При  $X_L > X_C$  угол сдвига фаз между током и напряжением цепи положителен ( $\varphi > 0$ ), т.е. ток в цепи отстает по фазе от напряжения сети (нагрузка имеет индуктивный характер). При  $X_L < X_C$  угол сдвига фаз между током и напряжением отрицателен ( $\varphi < 0$ ), т.е. ток опережает по фазе напряжение (нагрузка имеет емкостной характер).

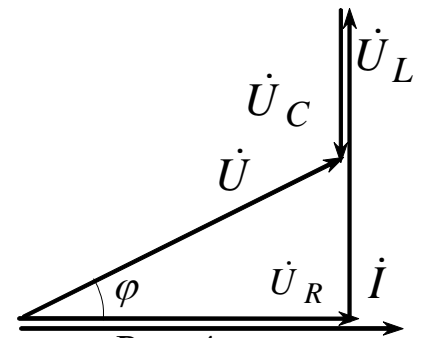


Рис. 4

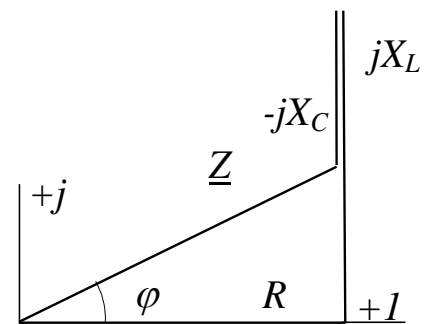


Рис. 5

При  $X_L = X_C$  наступает *резонанс напряжений*. Из формулы (1) видно, что в этом случае полное сопротивление цепи  $Z$  равно активному сопротивлению ( $Z = R$ ) и ток при этом достигает максимального значения, равного  $I = U / R$ . При  $X_L \gg R$  и  $X_C \gg R$  резонанс напряжений приводит к значительному увеличению напряжений на индуктивности

$$\left( U_L = \frac{X_L}{R} U \right) \text{ и емкости } \left( U_C = \frac{X_C}{R} U \right), \text{ что может привести к выходу из}$$

строя электротехнического оборудования.

Векторная диаграмма для неразветвленной цепи, содержащей реальную катушку индуктивности, резистор и конденсатор, приведена на рис. 6. Из векторной диаграммы можно определить действующее значение напряжения на зажимах цепи:

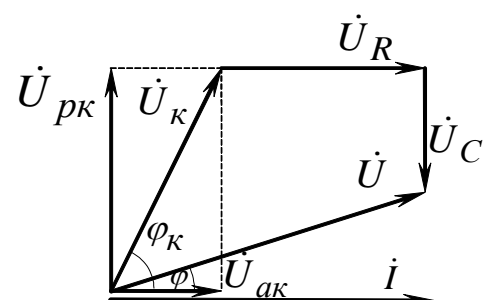


Рис. 6

$$U = \sqrt{(U_R + U_{ак})^2 + (U_{рк} - U_C)^2}.$$

В цепи переменного синусоидального тока различают три вида мощности:

– активную:  $P = UI \cos \varphi = I^2 R = \frac{U_R^2}{R}$

– реактивную:  $Q = UI \sin \varphi = I^2 (X_L - X_C)$

– полную:  $S = UI = I^2 Z = \frac{U^2}{Z} = \sqrt{P^2 + Q^2}.$

## ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ

1. Лабораторная работа выполняется на универсальном стенде ЭВ4.

2. Необходимые для проведения опытов элементы: катушка индуктивности и батарея подключаемых конденсаторов расположены на панели № 4, резистор переменного сопротивления  $\square$  на панели № 3.

3. Напряжение на зажимах цепи, сила тока и мощность измеряются с помощью переносного измерительного комплекта К540.

*Перед проведением очередного опыта необходимо проверять правильность установки пределов измерения комплекта К540.*

4. На горизонтальной панели стенда расположен источник переменного тока ( $\sim 0-220$  В), ЛАТР для регулирования напряжения на зажимах цепи и кнопки включения питания стенда.

5. Для подключения напряжения питания к исследуемой цепи необходимо:

- повернуть рукоятку ЛАТРа против часовой стрелки до упора;
- включить автоматический выключатель, расположенный под откидной крышкой стенда;

- нажать кнопку общего включения стенда “Вкл.”;
- нажать кнопку, расположенную под вольтметром “Переменное”;

## ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Ознакомиться с лабораторным стендом ЭВ4 и измерительным комплектом К540. На панели К540 нажать кнопку  $U_{\phi}\uparrow$  для измерения напряжения на нагрузке.

Установить на измерительном комплекте К540 следующие пределы измерения: по напряжению – 30 В, по току – 1 А.

2. Определить параметры катушки индуктивности (панель № 4), подключив ее к измерительному комплекту К540 (рис. 7). Установить ЛАТРоМ напряжение питания  $U = 20...25$  В (по указанию преподавателя). Результаты измерений занести в табл. 1.

Изобразить последовательную схему замещения реальной катушки индуктивности, по данным табл. 1 построить в масштабе векторную диаграмму.

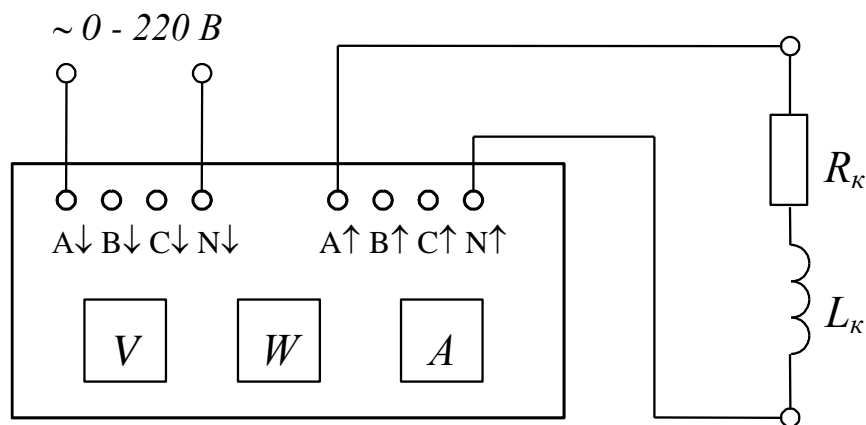


Рис. 7

Таблица 1

Параметры										
опытные			расчетные							
$U_K,$ В	$I_K,$ А	$P_K,$ Вт	$Z_K,$ Ом	$R_K,$ Ом	$X_K,$ Ом	$L_K,$ Гн	$\cos \varphi_K$	$\varphi_K,$ град	$U_{ак},$ В	$U_{рк},$ В

3. Подключить к комплекту К540 электрическую цепь, состоящую из последовательно соединенных катушки индуктивности, резистора (панель № 3) и конденсатора (панель № 4) емкостью  $C = 40\text{--}60\text{ мкФ}$  (по указанию преподавателя).

Установить на комплекте К540 следующие пределы измерения: по напряжению – 75 В, по току – 1 А.

Установить ЛАТРоМ значение тока в цепи  $I = I_k$  (из табл. 1), результаты измерений занести в табл. 2.

Таблица 2

Параметры												
опытные			расчетные									
$U$ , В	$I$ , А	$P$ , Вт	$Z$ , Ом	$R$ , Ом	$X$ , Ом	$R_R$ , Ом	$X_C$ , Ом	$C$ , мкФ	$U_C$ , В	$U_R$ , В	$U_k$ , В	$\cos \varphi$

По данным табл. 2 построить в масштабе векторную диаграмму напряжений.

4. Подключить к комплекту К540 цепь, состоящую из последовательно соединенных катушки индуктивности и конденсатора.

По данным табл. 1 рассчитать емкость конденсатора  $C_p$ , при котором в рассматриваемой цепи наблюдается резонанс напряжений.

Установить на К540 пределы измерения по напряжению – 15 В, по току – 2,5 А.

Исследовать работу цепи при напряжении питания  $U = 12\text{--}14\text{ В}$  (по указанию преподавателя) и изменении емкости конденсатора в пределах  $(C_p - 50) < C < (C_p + 130)\text{ мкФ}$  (снять не менее десяти точек).

При изменении емкости конденсатора  $C$  напряжение питания необходимо поддерживать постоянным с помощью ЛАТРа. Результаты измерений занести в табл. 3.

Таблица 3

Параметры									
опытные			расчетные						
$C$ , мкФ	$I$ , А	$P$ , Вт	$X_C$ , Ом	$U_C$ , В	$U_K$ , В	$U_{ак}$ , В	$U_{рк}$ , В	$\cos \varphi$	$\varphi$ , град

При расчетах принять параметры катушки постоянными.

По данным табл. 3 на одном графике изобразить зависимости:  $X_K = f(C)$ ,  $X_C = f(C)$ ,  $I = f(C)$ ,  $\cos \varphi = f(C)$ ,  $\varphi = f(C)$ , на другом графике:  $U = f(C)$ ,  $U_{ак} = f(C)$ ,  $U_{рк} = f(C)$ ,  $U_C = f(C)$ .

На графиках отложить значение резонансной емкости и отметить характерные точки на резонансных кривых.

Построить в масштабе векторные диаграммы напряжений для  $C = C_p$ ,  $C < C_p$  и  $C > C_p$ .

## СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

Отчет должен содержать:

- электрические схемы опытов, выполняемые с соблюдением ГОСТа
- таблицы с опытными, расчетными данными и расчетные формулы к ним;
- векторные диаграммы напряжений и тока (табл. 1, 2);
- резонансные кривые (табл. 3);
- векторные диаграммы напряжений при  $C < C_p$ ,  $C = C_p$  и  $C > C_p$ ;
- выводы по результатам проведенной работы.

## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какими параметрами характеризуется индуктивная катушка и как определить их опытным путем?

2. Написать выражение для закона Ома для неразветвленной цепи переменного тока, содержащего резистор, катушку индуктивности и конденсатор.
3. Пояснить порядок построения векторной диаграммы для неразветвленной цепи переменного тока.
4. Назвать условия, при которых наступает резонанс в цепи переменного тока. Чем характеризуется этот режим?
5. Какие виды мощности различают в цепях переменного тока? Как определить их опытным путем?
6. Что понимают под коэффициентом мощности цепи переменного тока? Приведите его зависимость от параметров цепи.

## **ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №4**

### **ИССЛЕДОВАНИЕ ТРЕХФАЗНЫХ ЦЕПЕЙ ПРИ СОЕДИНЕНИИ НАГРУЗКИ В ЗВЕЗДУ**

#### **ЦЕЛЬ РАБОТЫ**

*Задачей работы является экспериментальное исследование четырехпроводной и трехпроводной трехфазных цепей при соединении нагрузки звездой.*

*Продолжительность работы – 2 часа*

#### **КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ**

Совокупность трех ЭДС одинаковой частоты и амплитуды, сдвинутых по фазе относительно друг друга на треть периода, называется *трехфазной системой ЭДС*.

Выражения для мгновенных значений ЭДС симметричного трехфазного источника имеют следующий вид:

$$e_A = E_m \sin ut, \quad e_B = E_m \sin(ut - 120^\circ), \quad e_C = E_m \sin(ut + 120^\circ).$$

В комплексной форме ЭДС записываются в виде

$$\dot{E}_A = E_\phi; \quad \dot{E}_B = E_\phi e^{-j120^\circ}; \quad \dot{E}_C = E_\phi e^{j120^\circ}.$$

Электрическая цепь, в которой действует трехфазная система ЭДС, называется *трехфазной цепью*.

Термин «фаза» в электротехнике имеет два значения: с одной стороны — это аргумент синусоидальной функции времени, с другой — часть многофазной цепи, по которой протекает один и тот же ток.

На рис. 1 показана схема трехфазной цепи, в которой фазы источника и приемника соединены звездой. Зажимы  $A, B, C$  источника и зажимы  $a, b, c$  приемника называют *линейными зажимами*. Провода, соединяющие линейные зажимы источника и приемника, называются *линейными проводами*. Точки  $N$  и  $n$  называются *нейтральными точками* источника и приемника, а провод, соединяющий эти точки, — *нейтральным*.

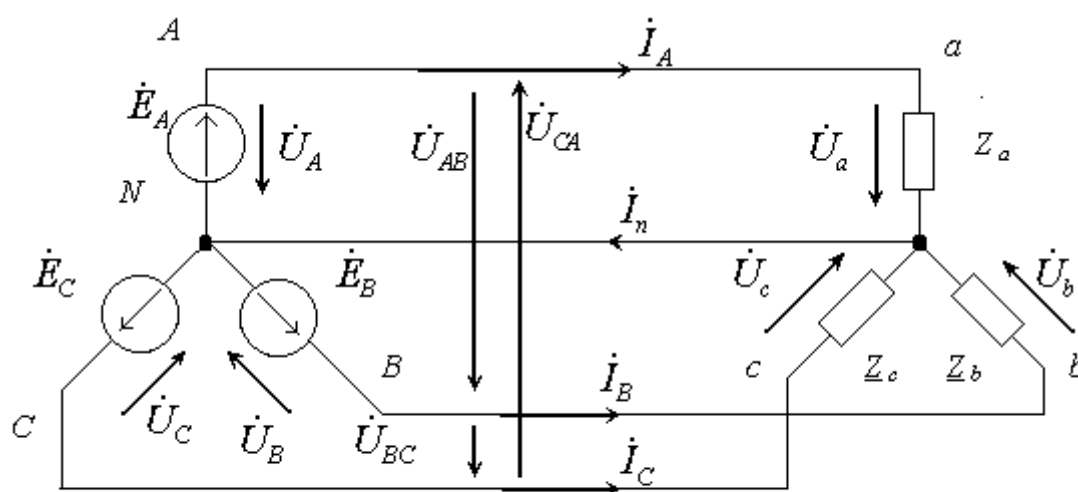


Рис. 1

Напряжения между линейными зажимами называются *линейными*, а напряжения между линейными и нейтральными зажимами — *фазными*.

Фазные напряжения источника равны соответствующим ЭДС.



При наличии нейтрального провода трехфазная цепь называется *четырёхпроводной* (рис. 1). В четырёхпроводной цепи, при пренебрежении сопротивлениями линейных и нейтрального проводов, линейные и фазные напряжения приемника равны соответствующим напряжениям источника и остаются неизменными независимо от величины и характера сопротивлений фаз приемника ( $U_{ab} = U_{AB}$ ;  $U_{bc} = U_{BC}$ ;  $U_{ca} = U_{CA}$ ;  $U_a = U_A$ ;  $U_b = U_B$ ;  $U_c = U_C$ ).

Принятые положительные направления ЭДС, линейных и фазных напряжений и токов показаны на рис. 1.

Комплексные значения линейных напряжений равны разности комплексных значений соответствующих фазных напряжений. Для линейных напряжений приемника можно записать

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

Из векторной диаграммы (рис. 2) видно, что в этом случае действующее значение линейного напряжения  $U_L = \sqrt{3}U_\phi$ .

Токи в фазах источника и приемника называются *фазными*, токи в линейных проводах — *линейными*. Как видно из рис. 1, при соединении звездой фазный ток является одновременно линейным:  $I_\phi = I_L$ .

При наличии нейтрального провода комплексные значения токов определяются из выражений

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

В соответствии с первым законом Кирхгофа ток в нейтральном проводе

$$\dot{I}_n = \dot{I}_a + \dot{I}_b + \dot{I}_c.$$

На рис. 2 показана векторная диаграмма для четырехпроводной цепи при несимметричном приемнике: в фазе  $a$  нагрузка – активно-индуктивная ( $\varphi_a > 0$ ), в фазе  $b$  – активно-емкостная ( $\varphi_b < 0$ ), в фазе  $c$  – активная ( $\varphi_c = 0$ ).

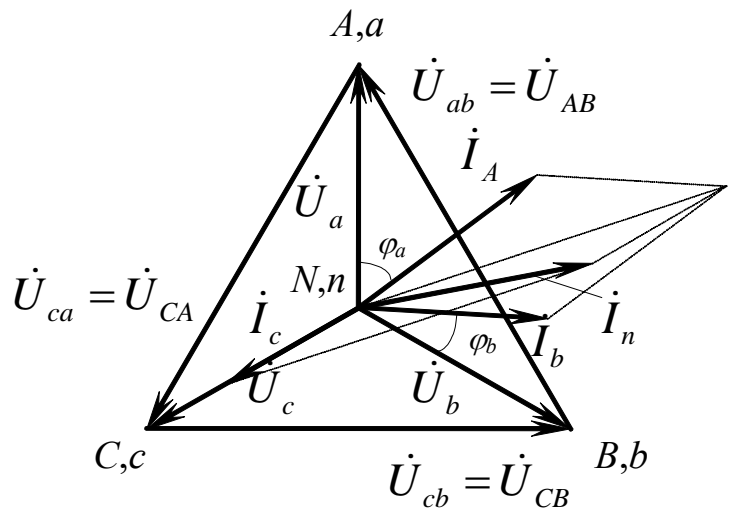


Рис. 2

Вектор тока  $\dot{I}_n$  в нейтральном проводе определен путем суммирования векторов линейных токов.

При симметричном приемнике ( $\underline{Z}_a = \underline{Z}_b = \underline{Z}_c$ ) сумма комплексных значений линейных токов равна нулю  $\dot{I}_a + \dot{I}_b + \dot{I}_c = 0$ , и необходимость в нейтральном проводе отпадает.

На рис. 3 показана векторная диаграмма для четырехпроводной цепи при симметричном режиме для активного характера нагрузки ( $\varphi = 0$ ).

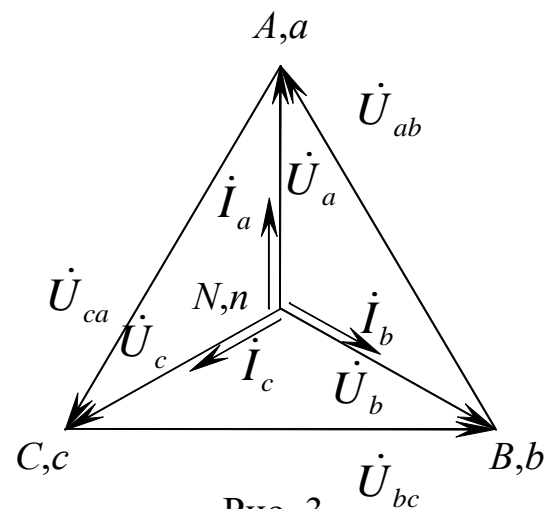


Рис. 3

При отсутствии нейтрального провода (трехпроводная цепь) напряжение на фазах приемника зависит от величины и характера сопротивлений фаз. Поэтому соединение звездой без нейтрального провода применяется только для симметричных приемников.

Напряжение  $\dot{U}_{nN}$  между нейтральными точками приемника и источника (напряжение смещения нейтрали) определяется по формуле узлового напряжения (по методу двух узлов)

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

где  $\underline{Y}_a = 1/\underline{Z}_a$ ;  $\underline{Y}_b = 1/\underline{Z}_b$ ;  $\underline{Y}_c = 1/\underline{Z}_c$  – комплексные проводимости фаз.

Комплексные значения токов

$$\dot{I}_a = \dot{U}_a \underline{Y}_a = (\dot{U}_A - \dot{U}_{nN}) \underline{Y}_a;$$

$$\dot{I}_b = \dot{U}_b \underline{Y}_b = (\dot{U}_B - \dot{U}_{nN}) \underline{Y}_b;$$

$$\dot{I}_c = \dot{U}_c \underline{Y}_c = (\dot{U}_C - \dot{U}_{nN}) \underline{Y}_c.$$

На рис. 4 показана векторная

диаграмма напряжений и токов при активной неравномерной нагрузке ( $R_a > R_b > R_c$ ).

Построение векторной диаграммы для трехпроводной цепи по экспериментальным данным целесообразно проводить в следующем порядке:

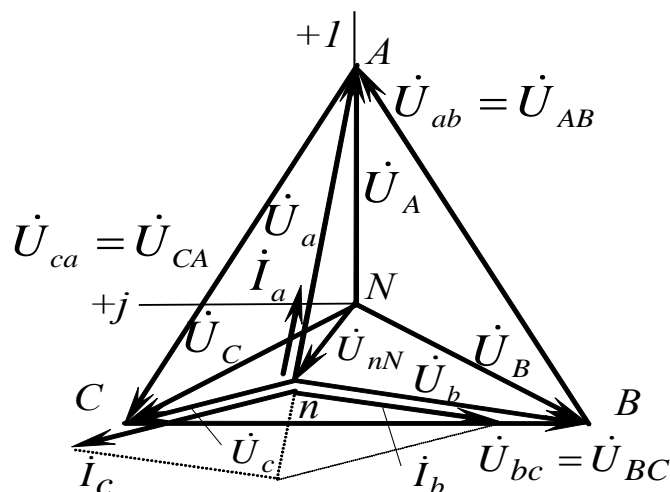


Рис. 4

– в выбранном масштабе

построить векторную диаграмму

напряжений источника  $(\dot{U}_A, \dot{U}_B, \dot{U}_C, \dot{U}_{AB}, \dot{U}_{BC}, \dot{U}_{CA})$ ; – засечками,

по измеренным фазным напряжениям приемника  $U_a, U_b, U_c$ , из точек  $A, B, C$  соответственно, определить положение нейтральной точки  $n$  приемника;

– построить вектор напряжения  $\dot{U}_{nN}$  смещения нейтрали, соединив нейтральные точки источника  $N$  и приемника  $n$ ;

– соединить нейтраль приемника  $n$  с вершинами треугольника линейных напряжений  $A, B, C$  (эти отрезки образуют векторы соответствующих фазных напряжений приемника  $\dot{U}_a, \dot{U}_b, \dot{U}_c$ );

– построить в выбранном масштабе векторы токов, совместив их начала с нейтралью приемника  $n$  (ориентация векторов токов относительно

соответствующих векторов фазных напряжений приемника определяется характером нагрузки фаз приемника).

Правильность построения векторной диаграммы следует проверить по первому закону Кирхгофа:  $\dot{I}_a + \dot{I}_b + \dot{I}_c = 0$ .

Мощности в трехфазных цепях определяются как алгебраические суммы мощностей отдельных фаз:

– активная мощность  $P = P_a + P_b + P_c$ ;

– реактивная мощность  $Q = Q_a + Q_b + Q_c$ ,

где мощности отдельной фазы:  $P_\phi = U_\phi I_\phi \cos \varphi_\phi = I_\phi^2 R_\phi$ ;

$$Q_\phi = U_\phi I_\phi \sin \varphi_\phi = I_\phi^2 X_\phi.$$

Полная мощность трехфазной цепи  $S = \sqrt{P^2 + Q^2}$ .

При симметричной нагрузке

$$P = \sqrt{3}UI \cos \varphi; \quad Q = \sqrt{3}UI \sin \varphi; \quad S = \sqrt{3}UI.$$

## ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ

1. Лабораторная работа выполняется на универсальном стенде ЭВ4.
2. На панелях № 2, 3 расположены необходимые для проведения работы резисторы и амперметры.
3. Фазные напряжения, линейные токи и активные мощности для каждой фазы измеряются с помощью переносного измерительного комплекта.
4. На горизонтальной панели стенда расположены линейные зажимы  $A, B, C$  и зажим нейтральной точки  $O$  трехфазной системы ЭДС  $\sim 3 \times 220$  В.
5. Для подачи напряжения на зажимы трехфазной системы ЭДС необходимо:

- включить автоматический выключатель, расположенный под откидной крышкой стенда;
- нажать кнопку общего включения стенда “Вкл.”.

## ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. С помощью цифрового вольтметра В7-38 измерить фазное  $U_\phi$  и линейное  $U_\Delta$  напряжения трехфазного источника.

2. Исследовать трехфазную цепь при соединении нагрузки в звезду с нейтральным проводом.

Собрать схему в соответствии с рис. 5, сопротивления нагрузки фаз ( $R_a$ ,  $R_b$ ,  $R_c$ ) — последовательно соединенные переменный резистор сопротивлением 150 Ом, постоянный резистор сопротивлением 100 Ом и лампа накаливания  $EL$  (панель № 2); амперметры в фазах нагрузки и нейтральном проводе – с пределом измерения 1 А (панели № 2, 3).

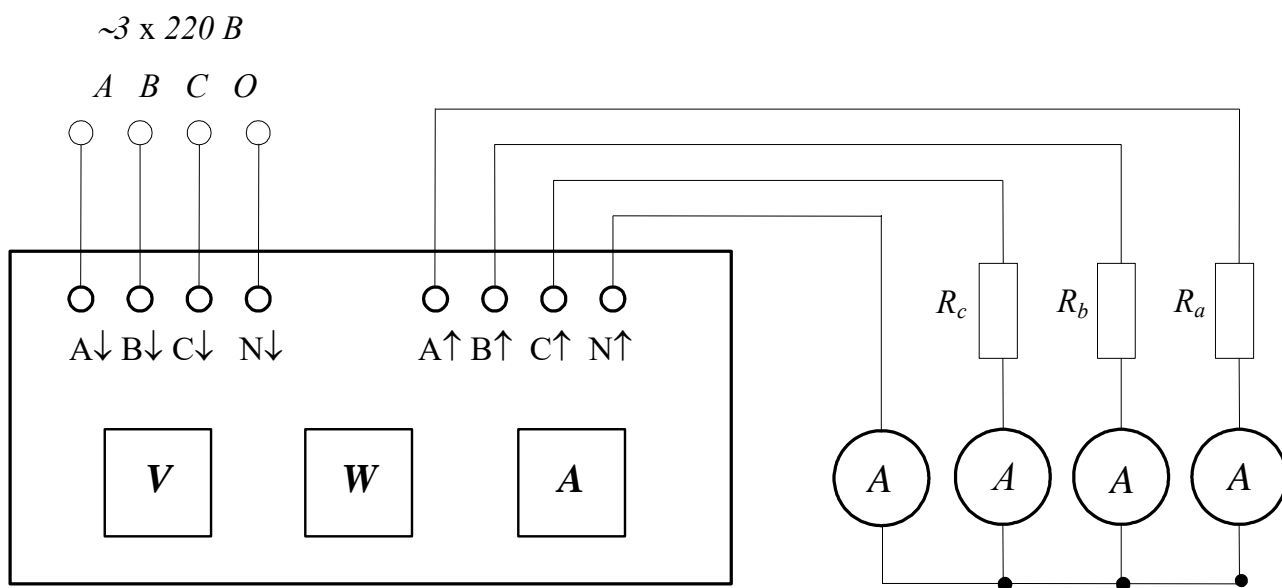


Рис. 5. Электрическая схема четырехпроводной линии

Установить на измерительном комплекте К540 пределы измерения по напряжению – 150 В, по току – 1 А:

- установить с помощью переменных резисторов сопротивлением 150 Ом симметричную нагрузку в фазах приемника (по показаниям комплекта К540), результаты занести в табл. 1;

- оборвать одну из фаз (по указанию преподавателя), отключив соответствующую кнопку, результаты измерений занести в табл. 1;

- установить неравномерную нагрузку в фазах приемника, для чего в одной из фаз в качестве нагрузки включить резисторы сопротивлениями 150 Ом и 100 Ом, в двух других оставить нагрузку неизменной, результаты измерений занести в табл. 1.

Таблица 1

Вид нагрузки	Параметры										
	опытные							расчетные			
	$U_a$ , В	$U_b$ , В	$U_c$ , В	$I_a$ , А	$I_b$ , А	$I_c$ , А	$I_n$ , А	$P_a$ , Вт	$P_b$ , Вт	$P_c$ , Вт	$P$ , Вт
Симметричная											
Обрыв фазы											
Неравномерная											

Построить в масштабе векторные диаграммы напряжений и токов при исследованных нагрузках по данным табл. 1.

3. Исследовать трехфазную цепь при соединении нагрузки в звезду без нейтрального провода.

Собрать цепь в соответствии с рис. 6, выполнив необходимые переключения в схеме рис. 5. Для измерения напряжения смещения  $U_{nN}$  использовать цифровой вольтметр В7-38.

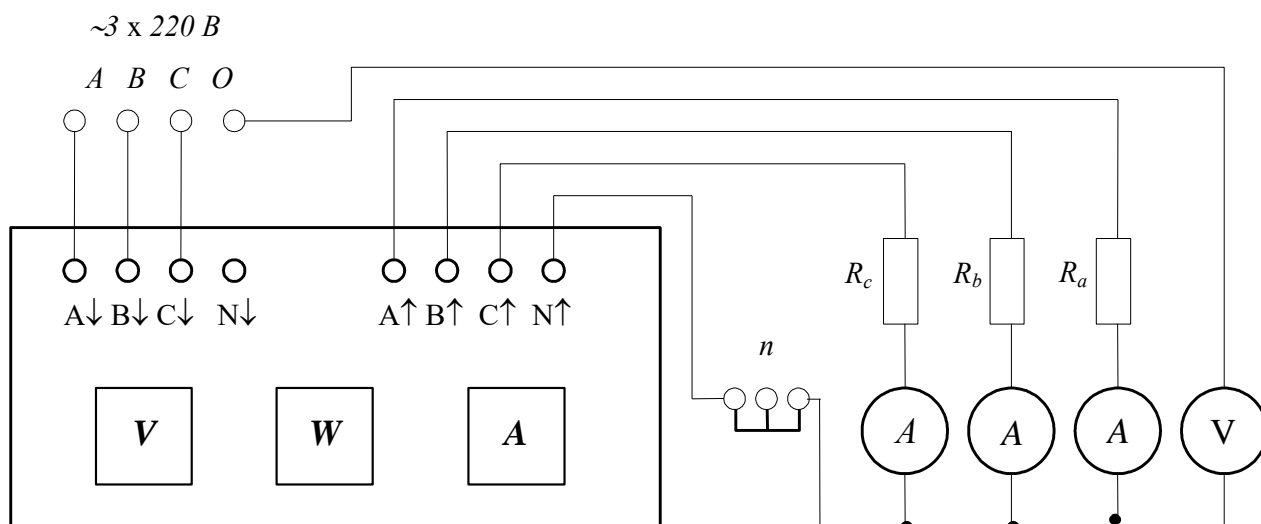


Рис. 6. Электрическая схема трехпроводной линии

Установить на комплекте К540 пределы измерения по напряжению – 300 В, по току – 2,5 А.

Выполнить необходимые измерения при нагрузках в соответствии с табл. 2.

Для проведения опыта короткого замыкания необходимо одну из фаз  $A \uparrow$ ,  $B \uparrow$ ,  $C \uparrow$  (по указанию преподавателя) соединить с нейтральной точкой приемника  $n$ .

Таблица 2

Вид нагрузки	Параметры										
	опытные							расчетные			
	$U_a$ , В	$U_b$ , В	$U_c$ , В	$I_a$ , А	$I_b$ , А	$I_c$ , А	$U_{nN}$ , В	$P_a$ , Вт	$P_b$ , Вт	$P_c$ , Вт	$P$ , Вт
Симметричная											
Обрыв фазы											
Неравномерная											
К. з. фазы											

По данным табл. 2 построить в масштабе векторные диаграммы напряжений и токов для исследованных нагрузок.

## **СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА**

Отчет по лабораторной работе должен включать:

- схемы исследуемых электрических цепей;
- таблицы с опытными и расчетными данными;
- векторные диаграммы напряжений и токов для исследованных нагрузок, построенные в масштабе;
- выводы по результатам выполненной работы.

## **КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ**

1. Каковы преимущества трехфазных цепей по сравнению с однофазными?
2. Какие приемники называются симметричными? Какая нагрузка называется равномерной, какая – однородной?
3. В чем преимущества четырехпроводной цепи по сравнению с трехпроводной?
4. Почему не ставится предохранитель в нейтральный провод?
5. Каково соотношение между линейными и фазными напряжениями симметричного приемника, соединенного звездой, при симметричной системе линейных напряжений?
6. Как определяются токи в фазах несимметричного приемника, соединенного звездой, в трехпроводной цепи?



# ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №1

## ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ.

### ЦЕЛЬ РАБОТЫ

*Задача* работы — построение вольт-амперных характеристик на основании экспериментальных данных и приобретение навыков работы с приборами электрических цепей постоянного тока

*Продолжительность работы – 2 часа*

### КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

В электрические цепи могут входить элементы, сопротивление которых не является величиной постоянной, а зависит от напряжения и силы тока. Вольт-амперная характеристика (ВАХ) такого элемента имеет нелинейный вид, поэтому элемент называется *нелинейным* (НЭ). Электрическая цепь, в которую входит хотя бы один нелинейный элемент, называется нелинейной. К нелинейным элементам относятся полупроводниковые приборы, лампы накаливания и др.

Это сопротивление называется *статическим* и представляет собой сопротивление элемента постоянному току. Кроме статического сопротивления НЭ для каждой точки характеристики можно определить так называемое *дифференциальное* сопротивление  $R_{диф}$ , которое равно отношению приращения напряжения  $\Delta U$  к приращению тока  $\Delta I$ , стремящегося к нулю:

$$R_{диф} = \frac{dU}{dI} = \frac{\Delta U}{\Delta I} = \frac{m_U}{m_I} \operatorname{tg} \beta,$$

т.е. пропорционально тангенсу угла наклона касательной в данной точке характеристики к оси токов. Дифференциальное сопротивление характеризует НЭ при малых изменениях напряжения и тока. При расчете

нелинейной цепи с последовательным соединением линейного и нелинейного элемента часто используют метод нагрузочной характеристики.

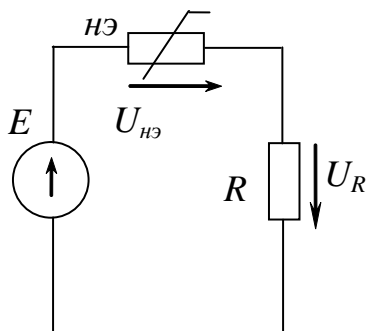


Рис. 2

Для цепи, показанной на рис. 2, согласно второму закону Кирхгофа можно записать:

$$E = U_{нэ} + U_R = U_{нэ} + IR,$$

откуда 
$$I = \frac{E - U_{нэ}}{R} \quad (1)$$

При постоянных значениях  $E$  и  $R$  из (1) следует, что между током  $I$  и напряжением на нелинейном элементе  $U_{нэ}$  существует линейная зависимость  $I = f(U_{нэ})$ , которая называется нагрузочной характеристикой.

Нагрузочная характеристика проходит через две точки :

$E = U_{нэ}$  при  $I = 0$  (обрыв в цепи) и  $I_K = E/R$ , при  $U_{нэ} = 0$  (короткое замыкание на нелинейном элементе).

## ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ

1. Лабораторная работа выполняется на универсальном стенде ЭВ4.
2. На панели № 6 расположены амперметры, резисторы сопротивлением 100 Ом, лампа накаливания, на панели № 7 расположен амперметр с пределом измерения 300 мА. Для измерения напряжения используется цифровой вольтметр В7-38.
3. На горизонтальной панели стенда расположен источник постоянного тока ( $\pm 0-220$  В) и кнопки включения питания стенда.
4. Для подключения напряжения питания к исследуемой цепи необходимо:
  - повернуть рукоятку ЛАТРа против часовой стрелки до упора;
  - включить автоматический выключатель, расположенный под откидной крышкой стенда;

- нажать кнопку общего включения стенда “Вкл”;
- нажать кнопку, расположенную под вольтметром “Постоянное”;

## ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Ознакомиться с описанием лабораторной установки.
2. Составить и согласовать с преподавателем электрическую схему установки для снятия вольт-амперных характеристик нелинейных элементов.
3. Снять ВАХ лампы накаливания. Данные измерений занести в табл.1.

*Таблица 1*

$I, \text{mA}$							
$U, \text{V}$							

4. Построить на одном координатном поле вольт-амперные характеристики: лампы накаливания (по данным табл. 1), резистора сопротивлением 100 Ом и их последовательного соединения.
5. По заданному преподавателем значению одного из параметров определить графически остальные параметры последовательной цепи. Сравнить расчетные и опытные данные, результаты представить в виде табл.
6. Построить на одном координатном поле ВАХ лампочки (по табл. 1), резистора ( $R = 100 \text{ Ом}$ ) и ВАХ эквивалентного нелинейного элемента, получающегося при параллельном их соединении.
7. Определить графически недостающие параметры последовательной цепи, состоящей из лампы накаливания ( $EL$ ) и резистора ( $R = 100 \text{ Ом}$ ), по заданному преподавателем значению одного из параметров (табл. 3, заданный параметр подчеркнуть) и проверить полученные результаты опытным путем. Перед проведением опыта выбрать предел измерения амперметров. Результаты расчетов и измерений занести в табл. 3.

*Таблица*

Параметры	$U, \text{V}$	$I, \text{mA}$	$I_R, \text{mA}$	$I_L, \text{mA}$
Расчетные				
Опытные				

## **СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА**

Отчет по лабораторной работе должен включать:

- схемы исследуемых электрических цепей;
- таблицы с опытными и расчетными данными;
- вольт-амперные характеристики (п.п. 4, 6) с необходимыми построениями при расчете параметров цепей (п.п. 5, 7, 8);
- выводы по результатам проведенных исследований.

## **КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ**

1. Что называется нелинейным элементом, нелинейной электрической цепью?
2. Приведите примеры НЭ и область их применения.
3. В чем принципиальное отличие НЭ от линейного?
4. Что такое статическое и дифференциальное сопротивления НЭ? В чем их различие?
5. Какими методами и на основании какого закона рассчитывается цепь с последовательным соединением НЭ?
6. Что такое нагрузочная характеристика и как ее построить?
7. Каков порядок расчета цепи с параллельным соединением НЭ? На основании какого закона основан расчет данной цепи?

## **ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №2**

### **РАБОТА С ОДНОФАЗНЫМ ТРАНСФОРМАТОРОМ.**

#### **ЦЕЛЬ РАБОТЫ**

*Задача работы* — построение вольт-амперных характеристик нелинейных элементов на основании экспериментальных данных и приобретение навыков

расчета электрических цепей постоянного тока, содержащих нелинейные элементы.

*Продолжительность работы – 2 часа*

## КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

В электрические цепи могут входить элементы, сопротивление которых не является величиной постоянной, а зависит от напряжения и силы тока. Вольт-амперная характеристика (ВАХ) такого элемента имеет нелинейный вид, поэтому элемент называется *нелинейным* (НЭ). Электрическая цепь, в которую входит хотя бы один нелинейный элемент, называется нелинейной. К нелинейным элементам относятся полупроводниковые приборы, лампы накаливания и др.

На рис.1 приведена ВАХ нелинейного элемента.

Каждой точке ВАХ НЭ соответствует определенное сопротивление

$$R = \frac{U}{I} = \frac{m_U}{m_I} \operatorname{tg} \alpha,$$

пропорциональное тангенсу угла наклона прямой  $CN$  к оси токов. Это сопротивление

называется *статическим* и представляет собой сопротивление элемента постоянному току. Кроме статического сопротивления НЭ для каждой точки характеристики можно определить так называемое *дифференциальное* сопротивление  $R_{диф}$ , которое равно отношению приращения напряжения  $\Delta U$  к приращению тока  $\Delta I$ , стремящегося к нулю:

$$R_{диф} = \frac{dU}{dI} = \frac{\Delta U}{\Delta I} = \frac{m_U}{m_I} \operatorname{tg} \beta,$$

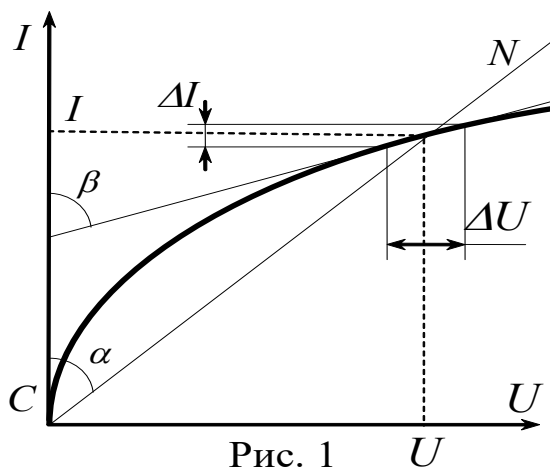


Рис. 1

т.е. пропорционально тангенсу угла наклона касательной в данной точке характеристики к оси токов. Дифференциальное сопротивление характеризует НЭ при малых изменениях напряжения и тока. При расчете нелинейной цепи с последовательным соединением линейного и нелинейного элемента часто используют метод нагрузочной характеристики.

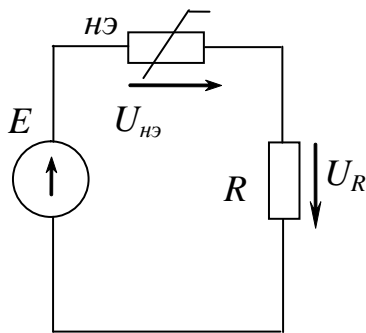


Рис. 2

Для цепи, показанной на рис. 2, согласно второму закону Кирхгофа можно записать:

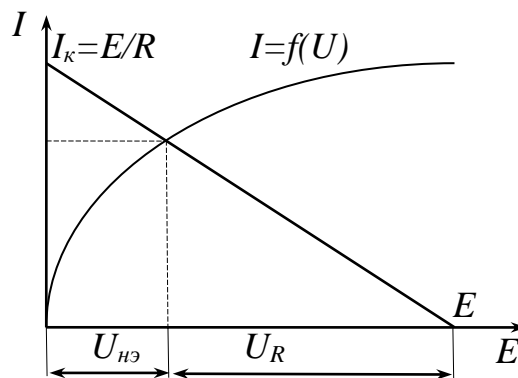
$$E = U_{НЭ} + U_R = U_{НЭ} + IR,$$

откуда 
$$I = \frac{E - U_{НЭ}}{R} \quad (1)$$

При постоянных значениях  $E$  и  $R$  из (1) следует, что между током  $I$  и напряжением на нелинейном элементе  $U_{НЭ}$  существует линейная зависимость  $I = f(U_{НЭ})$ , которая называется нагрузочной характеристикой.

Нагрузочная характеристика проходит через две точки  $E = U_{НЭ}$  при  $I = 0$  и  $I_K = E/R$ , при

(короткое замыкание на нелинейном элементе).



называется

проходит

(рис. 3):

(обрыв в цепи)

$U_{НЭ} = 0$

## ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ

1. Лабораторная работа выполняется на универсальном стенде ЭВ4.
2. На панели № 6 расположены амперметры, резисторы сопротивлением 100 Ом, лампа накаливания, на панели № 7 расположен

амперметр с пределом измерения 300 мА. Для измерения напряжения используется цифровой вольтметр В7-38.

3. На горизонтальной панели стенда расположен источник постоянного тока ( $\pm 0-220$  В) и кнопки включения питания стенда.

4. Для подключения напряжения питания к исследуемой цепи необходимо:

- повернуть рукоятку ЛАТРа против часовой стрелки до упора;
- включить автоматический выключатель, расположенный под откидной крышкой стенда;
- нажать кнопку общего включения стенда “Вкл”;
- нажать кнопку, расположенную под вольтметром “Постоянное”;

### ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Ознакомиться с описанием лабораторной установки.
2. Составить и согласовать с преподавателем электрическую схему установки для снятия вольт-амперных характеристик нелинейных элементов.
3. Снять ВАХ лампы накаливания. Данные измерений занести в табл.1.

*Таблица 1*

$I$ , мА							
$U$ , В							

4. Построить на одном координатном поле вольт-амперные характеристики: лампы накаливания (по данным табл. 1), резистора сопротивлением 100 Ом и их последовательного соединения.

5. По заданному преподавателем значению одного из параметров (табл.2) определить графически остальные параметры последовательной цепи. Сравнить расчетные и опытные данные, результаты представить в виде табл.

Таблица 2

Параметры	$U, B$	$U_R, B$	$U_{\lambda}, B$	$I, mA$
Расчетные				
Опытные				

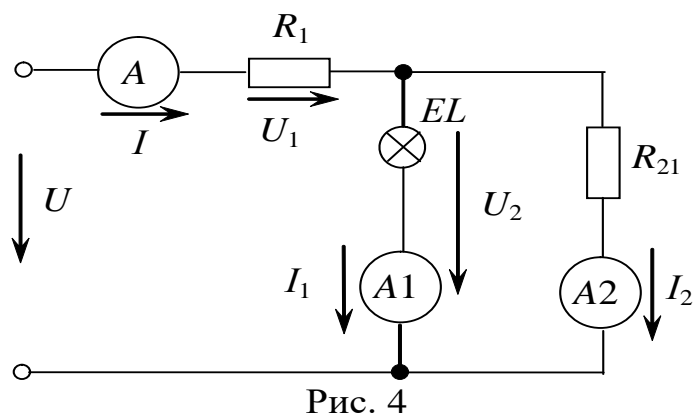
6. Построить на одном координатном поле ВАХ лампочки (по табл. 1), резистора ( $R = 100 \text{ Ом}$ ) и ВАХ эквивалентного нелинейного элемента, получающегося при параллельном их соединении.

7. Определить графически недостающие параметры последовательной цепи, состоящей из лампы накаливания ( $EL$ ) и резистора ( $R = 100 \text{ Ом}$ ), по заданному преподавателем значению одного из параметров (табл. 3, заданный параметр подчеркнуть) и проверить полученные результаты опытным путем. Перед проведением опыта выбрать предел измерения амперметров. Результаты расчетов и измерений занести в табл. 3.

Таблица 3

Параметры	$U, B$	$I, mA$	$I_R, mA$	$I_{\lambda}, mA$
Расчетные				
Опытные				

8. Для заданного преподавателем значения одного из параметров цепи (табл. 4) графически определить остальные значения расчетных токов и напряжений цепи (рис. 4) при значениях сопротивлений  $R_1 = 100 \text{ Ом}$ ,  $R_2 = 100 \text{ Ом}$ .



9. Проверить расчеты опытным путем. Для этого собрать схему (рис. 4), выбрав амперметры с соответствующими пределами измерений. Измерять напряжение с помощью цифрового вольтметра В7-38. Результаты занести в табл. 4



Таблица 4

Параметры	$U, B$	$U_1, B$	$U_2, B$	$I, mA$	$I_1, mA$	$I_2, mA$
Расчетные						
Опытные						

## СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

Отчет по лабораторной работе должен включать:

- схемы исследуемых электрических цепей;
- таблицы с опытными и расчетными данными;
- вольт-амперные характеристики (п.п. 4, 6) с необходимыми построениями при расчете параметров цепей (п.п. 5, 7, 8);
- выводы по результатам проведенных исследований.

## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что называется нелинейным элементом, нелинейной электрической цепью?
2. Приведите примеры НЭ и область их применения.
3. В чем принципиальное отличие НЭ от линейного?
4. Что такое статическое и дифференциальное сопротивления НЭ? В чем их различие?
5. Какими методами и на основании какого закона рассчитывается цепь с последовательным соединением НЭ?
6. Что такое нагрузочная характеристика и как ее построить?
7. Каков порядок расчета цепи с параллельным соединением НЭ? На основании какого закона основан расчет данной цепи?

# ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №3

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ ПО ПАСПОРТНЫМ ДАННЫМ

### ЦЕЛЬ РАБОТЫ

*Задачей* работы является экспериментальное исследование трехфазных цепей при симметричных и несимметричных приемниках, соединенных треугольником.

*Продолжительность работы 2 часа*

### КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Если приемник соединен треугольником (рис. 1), то фазные напряжения приемника равны линейным. Если при этом сопротивления линейных проводов пренебрежимо малы, а мощность источника достаточно велика, то напряжения на фазах приемника не зависят от их сопротивления и поддерживаются источником жестко. Благодаря этому соединение треугольником может

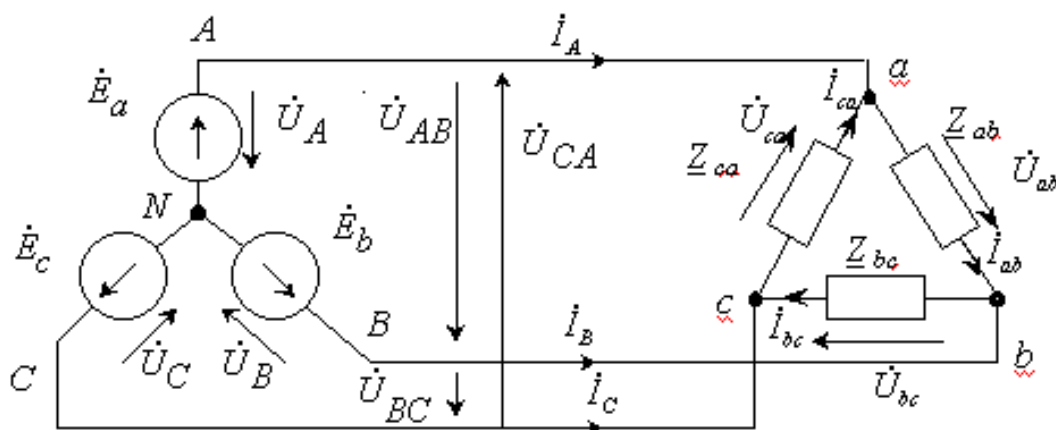


Рис. 1

применяться для включения несимметричных приемников. Если вектор

напряжения  $\dot{U}_{ab}$  направить по действительной оси, то при симметрии линейных напряжений источника комплексы линейных (фазных) напряжений приемника будут иметь вид:

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

Комплексы фазных токов приемника определяются по закону Ома

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

Линейные токи определяются по первому закону Кирхгофа

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

На рис. 2 а показана топографическая диаграмма напряжений и векторная диаграмма токов для трехфазной цепи с несимметричным приемником, соединенным треугольником. В фазе  $ab$  приемник имеет индуктивный характер, в фазе  $bc$  активный, а в фазе  $ca$  емкостный.

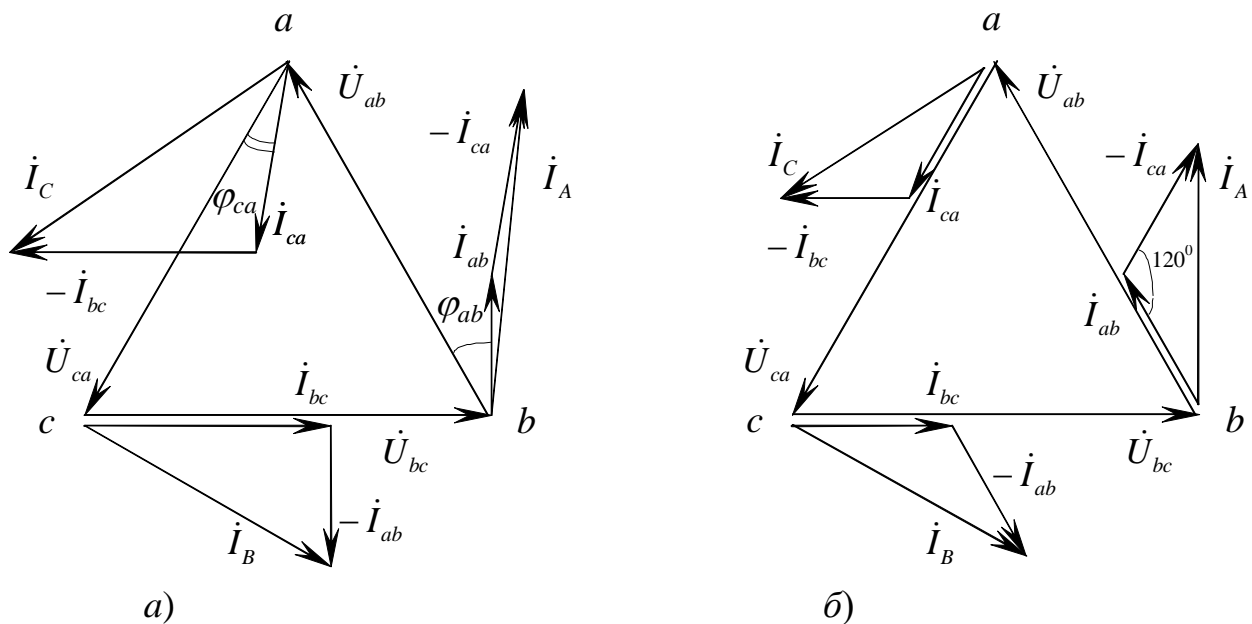


Рис. 2

На рис. 2б показана векторная диаграмма для трехфазной цепи с симметричным приемником, соединенным треугольником (характер нагрузки принят чисто активным).

При симметричном приемнике фазные токи одинаковы  $I_{ab}=I_{bc}=I_{ca}=I_{\phi}$  и, как это видно из векторной диаграммы, линейные токи в  $\sqrt{3}$  больше фазных

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

## ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ

1. Лабораторная работа выполняется на универсальном стенде ЭВ4 (панель № 2).

2. Линейные токи измеряются с помощью переносного измерительного комплекта К540, фазные напряжения на нагрузке - цифровым вольтметром В7-38.

Перед проведением опыта необходимо обязательно проверить правильность установки пределов измерения комплекта К540.

4. На горизонтальной панели стенда расположены линейные зажимы А, В, С и зажим нейтральной точки О трехфазной системы ЭДС  $\sim 3 \times 220$  В.

5. Для подачи напряжения на зажимы трехфазной системы ЭДС необходимо:

- включить автоматический выключатель, расположенный под откидной крышкой стенда;
- нажать кнопку общего включения стенда “Вкл.”.

Параметры	$U, В$	$U_1, В$	$U_2, В$	$I, мА$	$I_1, мА$	$I_2, мА$
Расчетные						
Опытные						

## СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

Отчет по лабораторной работе должен включать:

- схемы исследуемых электрических цепей;
- таблицы с опытными и расчетными данными;

- вольт-амперные характеристики (п.п. 4, 6) с необходимыми построениями при расчете параметров цепей (п.п. 5, 7, 8);
- выводы по результатам проведенных исследований.

### **КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ**

1. Что называется нелинейным элементом, нелинейной электрической цепью?
2. Приведите примеры НЭ и область их применения.
3. В чем принципиальное отличие НЭ от линейного?
4. Что такое статическое и дифференциальное сопротивления НЭ? В чем их различие?
5. Какими методами и на основании какого закона рассчитывается цепь с последовательным соединением НЭ?
6. Что такое нагрузочная характеристика и как ее построить?
7. Каков порядок расчета цепи с параллельным соединением НЭ? На основании какого закона основан расчет данной цепи?

### **ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №4**

#### **ДЕЙСТВИЕ ГЕНЕРАТОРА ПОСТОЯННОГО ТОКА.**

#### **ЦЕЛЬ РАБОТЫ**

*Задачей* работы является экспериментальное исследование четырехпроводной и трехпроводной трехфазных цепей при соединении нагрузки звездой.

*Продолжительность работы – 2 часа*

## КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Совокупность трех ЭДС одинаковой частоты и амплитуды, сдвинутых по фазе относительно друг друга на треть периода, называется *трехфазной системой ЭДС*.

Выражения для мгновенных значений ЭДС симметричного трехфазного источника имеют следующий вид:

$$e_A = E_m \sin ut, \quad e_B = E_m \sin(ut - 120^\circ), \quad e_C = E_m \sin(ut + 120^\circ).$$

В комплексной форме ЭДС записываются в виде

$$\dot{E}_A = E_\phi; \quad \dot{E}_B = E_\phi e^{-j120^\circ}; \quad \dot{E}_C = E_\phi e^{j120^\circ}.$$

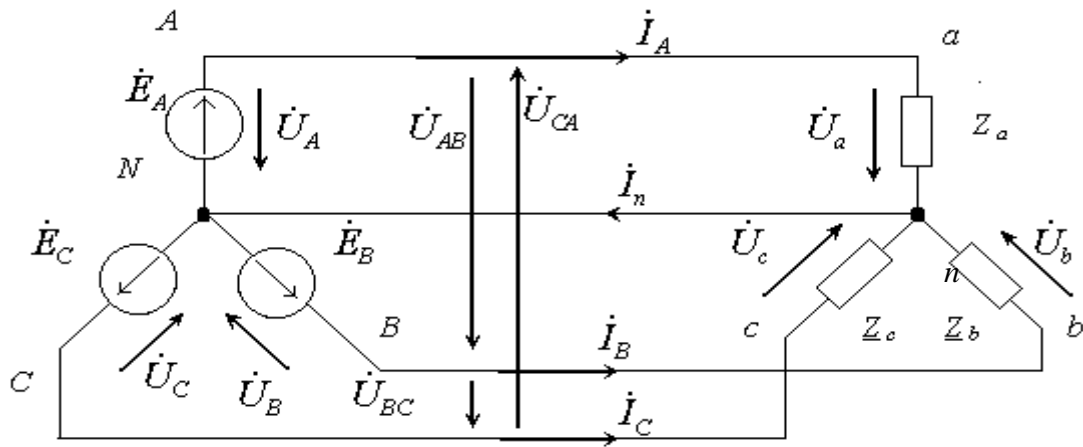
Электрическая цепь, в которой действует трехфазная система ЭДС, называется *трехфазной цепью*.

Термин «фаза» в электротехнике имеет два значения: с одной стороны — это аргумент синусоидальной функции времени, с другой — часть многофазной цепи, по которой протекает один и тот же ток.

На рис. 1 показана схема трехфазной цепи, в которой фазы источника и приемника соединены звездой. Зажимы *A, B, C* источника и зажимы *a, b, c* приемника называют *линейными зажимами*. Провода, соединяющие линейные зажимы источника и приемника, называются *линейными проводами*. Точки *N* и *n* называются *нейтральными точками* источника и приемника, а провод, соединяющий эти точки, — *нейтральным*.

Напряжения между линейными зажимами называются линейными, а напряжения между линейными и нейтральными зажимами — фазными.

Рис. 1



Фазные напряжения источника равны соответствующим ЭДС.

При наличии нейтрального провода трехфазная цепь называется *четырёхпроводной* (рис. 1). В четырёхпроводной цепи, при пренебрежении сопротивлениями линейных и нейтрального проводов, линейные и фазные напряжения приемника равны соответствующим напряжениям источника и остаются неизменными независимо от величины и характера сопротивлений фаз приемника ( $U_{ab} = U_{AB}$ ;  $U_{bc} = U_{BC}$ ;  $U_{ca} = U_{CA}$ ;  $U_a = U_A$ ;  $U_b = U_B$ ;  $U_c = U_C$ ).

Принятые положительные направления ЭДС, линейных и фазных напряжений и токов показаны на рис. 1.

Комплексные значения линейных напряжений равны разности комплексных значений соответствующих фазных напряжений. Для линейных напряжений приемника можно записать

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

Из векторной диаграммы (рис. 2) видно, что в этом случае действующее значение линейного напряжения  $U_L = \sqrt{3}U_\phi$ .

Токи в фазах источника и приемника называются *фазными*, токи в линейных проводах — *линейными*. Как видно из рис. 1, при соединении звездой фазный ток является одновременно линейным:  $I_\phi = I_L$ .

При наличии нейтрального провода комплексные значения токов определяются из выражений

$$\dot{i}_a = \dot{U}_a / \underline{Z}_a; \quad \dot{i}_b = \dot{U}_b / \underline{Z}_b; \quad \dot{i}_c = \dot{U}_c / \underline{Z}_c.$$

В соответствии с первым законом Кирхгофа ток в нейтральном проводе

$$\dot{I}_n = \dot{I}_a + \dot{I}_b + \dot{I}_c.$$

На рис. 2 показана векторная диаграмма для четырехпроводной цепи при несимметричном приемнике: в фазе  $a$  нагрузка – активно-индуктивная ( $\varphi_a > 0$ ), в фазе  $b$  – активно-емкостная ( $\varphi_b < 0$ ), в фазе  $c$  – активная ( $\varphi_c = 0$ ).

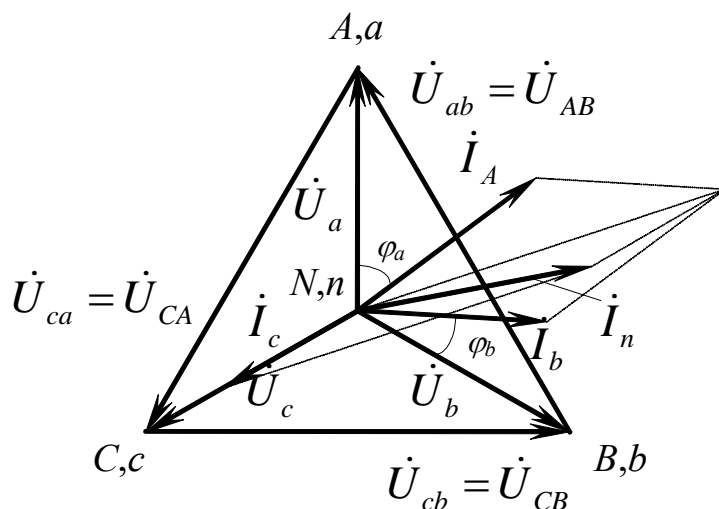


Рис. 2

Вектор тока  $\dot{I}_n$  в нейтральном проводе определен путем суммирования векторов линейных токов.

При симметричном приемнике ( $\underline{Z}_a = \underline{Z}_b = \underline{Z}_c$ ) сумма комплексных значений линейных токов равна нулю  $\dot{I}_a + \dot{I}_b + \dot{I}_c = 0$ , и необходимость в нейтральном проводе отпадает.

На рис. 3 показана векторная диаграмма для четырехпроводной цепи при симметричном режиме для активного характера нагрузки ( $\varphi = 0$ ).

При отсутствии нейтрального провода (трехпроводная цепь) напряжение на фазах приемника зависит от величины и характера сопротивлений фаз. Поэтому соединение звездой без нейтрального провода применяется только для симметричных приемников.

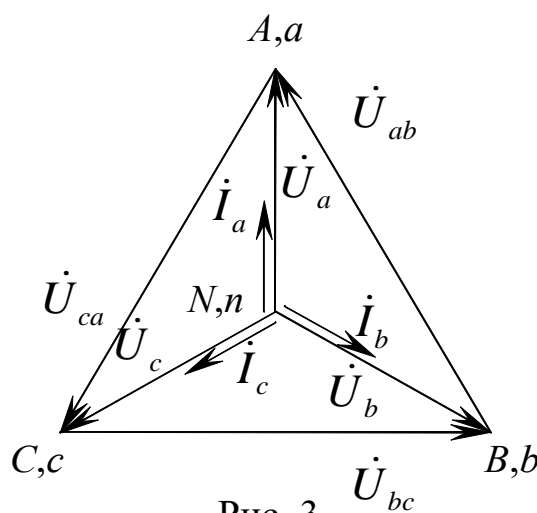


Рис. 3

Напряжение  $\dot{U}_{nN}$  между нейтральными точками приемника и источника (напряжение смещения нейтрали) определяется по формуле узлового напряжения (по методу двух узлов)



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

где  $\underline{Y}_a = 1/\underline{Z}_a$ ;  $\underline{Y}_b = 1/\underline{Z}_b$ ;  $\underline{Y}_c = 1/\underline{Z}_c$  – комплексные проводимости фаз.

Комплексные значения токов

$$\dot{I}_a = \dot{U}_a \underline{Y}_a = (\dot{U}_A - \dot{U}_{nN}) \underline{Y}_a;$$

$$\dot{I}_b = \dot{U}_b \underline{Y}_b = (\dot{U}_B - \dot{U}_{nN}) \underline{Y}_b;$$

$$\dot{I}_c = \dot{U}_c \underline{Y}_c = (\dot{U}_C - \dot{U}_{nN}) \underline{Y}_c.$$

На рис. 4 показана векторная

диаграмма напряжений и токов при активной неравномерной нагрузке ( $R_a > R_b > R_c$ ).

Построение векторной диаграммы для трехпроводной цепи по экспериментальным данным целесообразно проводить в следующем порядке:

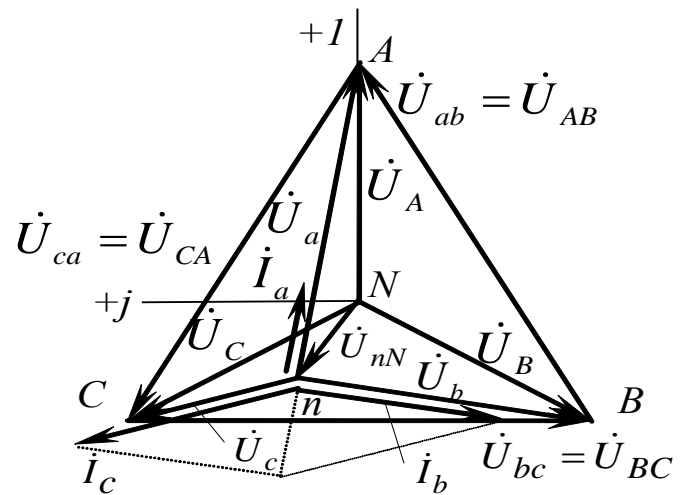


Рис. 4

– в выбранном масштабе

построить векторную диаграмму

напряжений источника  $(\dot{U}_A, \dot{U}_B, \dot{U}_C, \dot{U}_{AB}, \dot{U}_{BC}, \dot{U}_{CA})$ ; – засечками,

по измеренным фазным напряжениям приемника  $U_a, U_b, U_c$ , из точек  $A, B, C$  соответственно, определить положение нейтральной точки  $n$  приемника;

– построить вектор напряжения  $\dot{U}_{nN}$  смещения нейтрали, соединив нейтральные точки источника  $N$  и приемника  $n$ ;

– соединить нейтраль приемника  $n$  с вершинами треугольника линейных напряжений  $A, B, C$  (эти отрезки образуют векторы соответствующих фазных напряжений приемника  $\dot{U}_a, \dot{U}_b, \dot{U}_c$ );

– построить в выбранном масштабе векторы токов, совместив их начала с нейтралью приемника  $n$  (ориентация векторов токов относительно соответствующих векторов фазных напряжений приемника определяется характером нагрузки фаз приемника).

Правильность построения векторной диаграммы следует проверить по первому закону Кирхгофа:  $\dot{I}_a + \dot{I}_b + \dot{I}_c = 0$ .

Мощности в трехфазных цепях определяются как алгебраические суммы мощностей отдельных фаз:

– активная мощность  $P = P_a + P_b + P_c$ ;

– реактивная мощность  $Q = Q_a + Q_b + Q_c$ ,

где мощности отдельной фазы:  $P_\phi = U_\phi I_\phi \cos \varphi_\phi = I_\phi^2 R_\phi$ ;

$$Q_\phi = U_\phi I_\phi \sin \varphi_\phi = I_\phi^2 X_\phi.$$

Полная мощность трехфазной цепи  $S = \sqrt{P^2 + Q^2}$ .

При симметричной нагрузке

$$P = \sqrt{3}UI \cos \varphi; \quad Q = \sqrt{3}UI \sin \varphi; \quad S = \sqrt{3}UI.$$

## ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ

1. Лабораторная работа выполняется на универсальном стенде ЭВ4.
2. На панелях № 2, 3 расположены необходимые для проведения работы резисторы и амперметры.
3. Фазные напряжения, линейные токи и активные мощности для каждой фазы измеряются с помощью переносного измерительного комплекта.
4. На горизонтальной панели стенда расположены линейные зажимы  $A, B, C$  и зажим нейтральной точки  $O$  трехфазной системы ЭДС  $\sim 3 \times 220$  В.
5. Для подачи напряжения на зажимы трехфазной системы ЭДС необходимо:

- включить автоматический выключатель, расположенный под откидной крышкой стенда;
- нажать кнопку общего включения стенда “Вкл.”.

## ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. С помощью цифрового вольтметра В7-38 измерить фазное  $U_\phi$  и линейное  $U_\Delta$  напряжения трехфазного источника.
2. Исследовать трехфазную цепь при соединении нагрузки в звезду с нейтральным проводом.

Собрать схему в соответствии с рис. 5, сопротивления нагрузки фаз ( $R_a$ ,  $R_b$ ,  $R_c$ ) — последовательно соединенные переменный резистор сопротивлением 150 Ом, постоянный резистор сопротивлением 100 Ом и лампа накаливания  $EL$  (панель № 2); амперметры в фазах нагрузки и нейтральном проводе – с пределом измерения 1 А (панели № 2, 3).

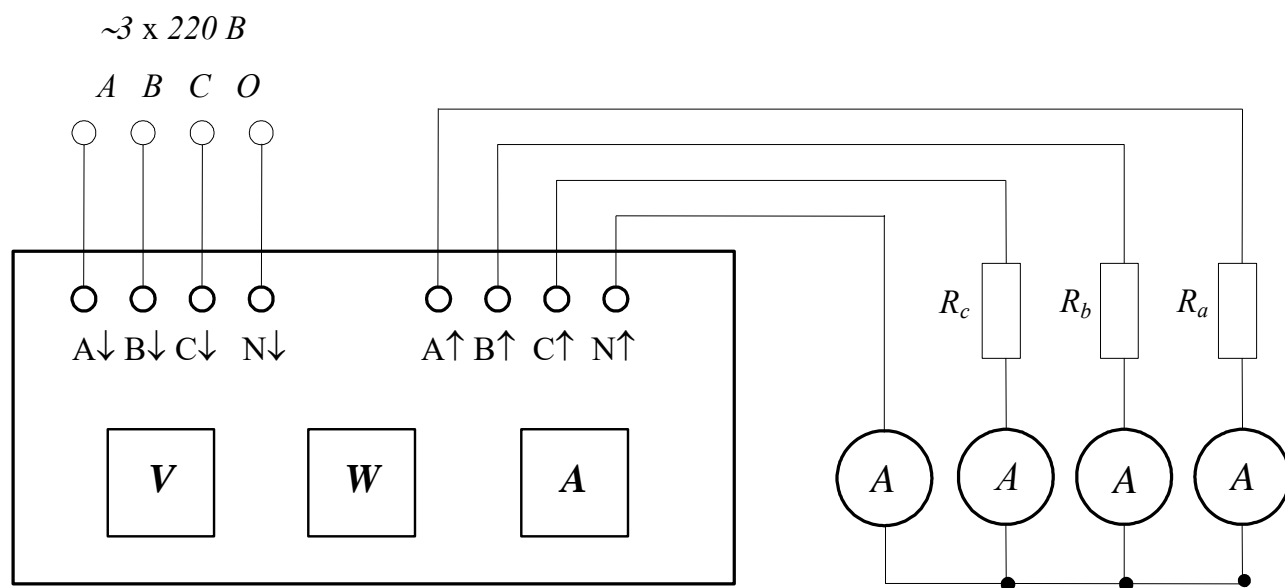


Рис. 5. Электрическая схема четырехпроводной линии

Установить на измерительном комплекте К540 пределы измерения по напряжению – 150 В, по току – 1 А:

- установить с помощью переменных резисторов сопротивлением 150 Ом симметричную нагрузку в фазах приемника (по показаниям комплекта К540), результаты занести в табл. 1;

- оборвать одну из фаз (по указанию преподавателя), отключив соответствующую кнопку, результаты измерений занести в табл. 1;

- установить неравномерную нагрузку в фазах приемника, для чего в одной из фаз в качестве нагрузки включить резисторы сопротивлениями 150 Ом и 100 Ом, в двух других оставить нагрузку неизменной, результаты измерений занести в табл. 1.

Таблица 1

Вид нагрузки	Параметры										
	опытные							расчетные			
	$U_a$ , В	$U_b$ , В	$U_c$ , В	$I_a$ , А	$I_b$ , А	$I_c$ , А	$I_n$ , А	$P_a$ , Вт	$P_b$ , Вт	$P_c$ , Вт	$P$ , Вт
Симметричная											
Обрыв фазы											
Неравномерная											

Построить в масштабе векторные диаграммы напряжений и токов при исследованных нагрузках по данным табл. 1.

3. Исследовать трехфазную цепь при соединении нагрузки в звезду без нейтрального провода.

Собрать цепь в соответствии с рис. 6, выполнив необходимые переключения в схеме рис. 5. Для измерения напряжения смещения  $U_{nN}$  использовать цифровой вольтметр В7-38.

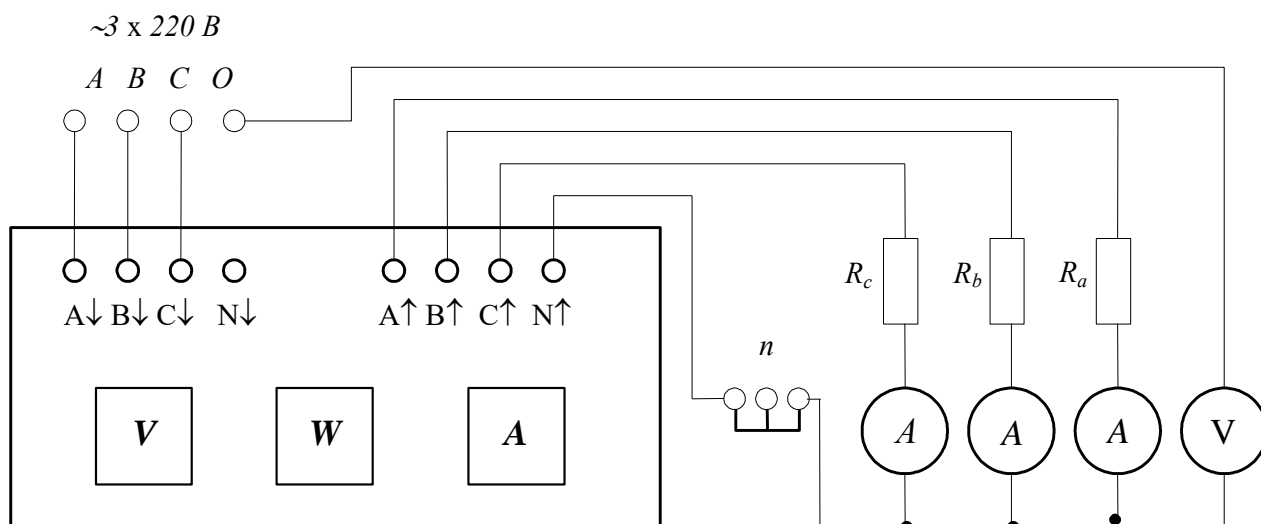


Рис. 6. Электрическая схема трехпроводной линии

Установить на комплекте К540 пределы измерения по напряжению – 300 В, по току – 2,5 А.

Выполнить необходимые измерения при нагрузках в соответствии с табл. 2.

Для проведения опыта короткого замыкания необходимо одну из фаз  $A \uparrow$ ,  $B \uparrow$ ,  $C \uparrow$  (по указанию преподавателя) соединить с нейтральной точкой приемника  $n$ .

Таблица 2

Вид нагрузки	Параметры										
	опытные							расчетные			
	$U_a$ , В	$U_b$ , В	$U_c$ , В	$I_a$ , А	$I_b$ , А	$I_c$ , А	$U_{nN}$ , В	$P_a$ , Вт	$P_b$ , Вт	$P_c$ , Вт	$P$ , Вт
Симметричная											
Обрыв фазы											
Неравномерная											
К. з. фазы											

По данным табл. 2 построить в масштабе векторные диаграммы напряжений и токов для исследованных нагрузок.

## **СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА**

Отчет по лабораторной работе должен включать:

- схемы исследуемых электрических цепей;
- таблицы с опытными и расчетными данными;
- векторные диаграммы напряжений и токов для исследованных нагрузок, построенные в масштабе;
- выводы по результатам выполненной работы.

## **КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ**

1. Каковы преимущества трехфазных цепей по сравнению с однофазными?
2. Какие приемники называются симметричными? Какая нагрузка называется равномерной, какая – однородной?
3. В чем преимущества четырехпроводной цепи по сравнению с трехпроводной?
4. Почему не ставится предохранитель в нейтральный провод?
5. Каково соотношение между линейными и фазными напряжениями симметричного приемника, соединенного звездой, при симметричной системе линейных напряжений?
6. Как определяются токи в фазах несимметричного приемника, соединенного звездой, в трехпроводной цепи?

## ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 5

### УПРАВЛЕНИЕ ТРЕХФАЗНЫМ АСИНХРОННЫМ ДВИГАТЕЛЕЙ.

#### ЦЕЛЬ РАБОТЫ

*Задачей* работы является экспериментальная проверка уравнений, описывающих параметры цепи переменного синусоидального тока при параллельном соединении элементов, исследование резонансных явлений при параллельном соединении катушки индуктивности и конденсатора, исследование способа повышения коэффициента мощности.

*Продолжительность работы – 2 часа*

#### КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Реальная индуктивная катушка обладает активным сопротивлением  $R_k$  и индуктивным сопротивлением  $X_k$ . При подключении индуктивной катушки к сети с напряжением  $U$  ток в катушке отстает от напряжения по фазе на некоторый угол  $\varphi_k$ , величина которого определяется соотношением между активным и индуктивным сопротивлениями катушки. В идеальной индуктивной катушке  $R_k = 0$  и угол  $\varphi_k$  между напряжением и током равен  $90^\circ$ .

Реальную индуктивную катушку можно представить в виде схемы замещения последовательно включенных активного и индуктивного сопротивлений или параллельно включенных сопротивлений, величину которых удобнее характеризовать проводимостями: активной –  $G_k$ , индуктивной –  $B_k$  (рис. 1 а, б, в).

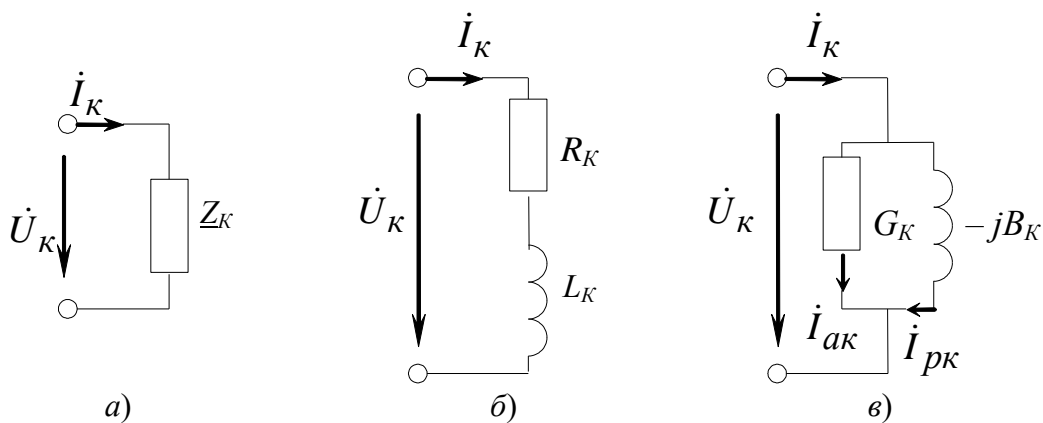


Рис. 1

При расчете по схеме (рис. 1 в) проводимости индуктивной катушки определяются

$$B_K = \frac{X_K}{Z_K^2}; \quad G_K = \frac{R_K}{Z_K^2} = \frac{P_K}{U_K^2}; \quad Y_K = \frac{I}{Z_K} = \frac{I_K}{U_K},$$

где  $P_K$  – активная мощность, потребляемая индуктивной катушкой;

$Z_K = \sqrt{R_K^2 + X_K^2}$  – полное сопротивление катушки;

$Y_K = \sqrt{G_K^2 + B_K^2} = \frac{I_K}{U_K}$  – полная проводимость катушки.

Векторная диаграмма токов для реальной индуктивной катушки будет иметь вид (рис. 2).

Составляющие тока индуктивной катушки:

- активная:  $I_{aK} = I_K \cos \varphi_K = U_K G_K$ ;

- реактивная:  $I_{pK} = I_K \sin \varphi_K = U_K B_K$ ;

$$I_K = \sqrt{I_{aK}^2 + I_{pK}^2}.$$

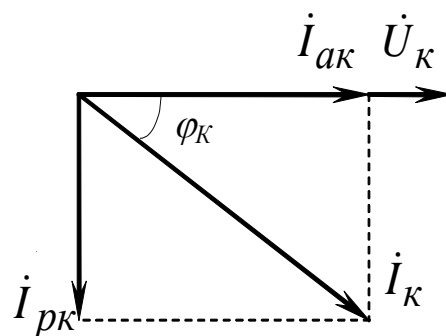


Рис. 2

При подключении параллельно индуктивной катушки конденсатора в цепи может возникать режим *резонанса токов*, при котором напряжение на зажимах цепи и ток в неразветвленной цепи совпадают по фазе.



Режим резонанса токов в параллельной цепи при неизменной частоте тока возникает при условии  $B_k = B_C = \omega C_p$ , при этом  $I_{pk} = I_C$ , суммарный ток минимален и равен  $I_{ак}$ .

Коэффициентом мощности нагрузки называют косинус угла сдвига фаз между питающим напряжением и током в ней. Для уменьшения потерь при передаче энергии стремятся повысить коэффициент мощности электрической цепи путем включения параллельно индуктивной нагрузке конденсатора необходимой емкости, величину которой можно рассчитать:

$$C = \frac{P}{\omega U^2} (\operatorname{tg} \varphi_1 - \operatorname{tg} \varphi_2),$$

где  $\varphi_1$  – угол между током и напряжением до включения конденсатора;  
 $\varphi_2$  – угол между током и напряжением после включения конденсатора, величина которого регламентируется директивным коэффициентом мощности, устанавливаемым энергоснабжающей организацией.

Силу тока через емкостной элемент можно определить:

$$\dot{I}_C = U \cdot B_C = U \cdot \omega C$$

При параллельном подключении индуктивной катушки, конденсатора и резистора ток в неразветвленной части цепи определяется как геометрическая сумма токов катушки,

конденсатора и резистора:  $\dot{I} = \dot{I}_K + \dot{I}_C + \dot{I}_R$ ,

а векторная диаграмма, соответствующая

последнему уравнению, имеет вид, показанный на рис. 3. Из приведенной диаграммы следует, что

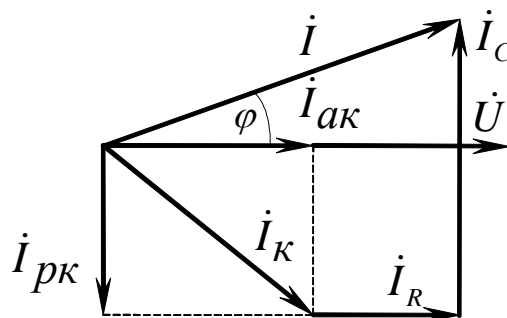


Рис. 3

$$I = \sqrt{(I_R + I_{ак})^2 + (I_{pk} - I_C)^2}.$$

## ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ

1. Лабораторная работа выполняется на универсальном стенде ЭВ4.

2. Необходимые для проведения опытов элементы: катушка индуктивности и батарея подключаемых конденсаторов расположены на панели № 4, резистор переменного сопротивления  $\square$  на панели № 3.

3. Напряжение на зажимах цепи, сила тока и мощность измеряются с помощью переносного измерительного комплекта К540.

*Перед проведением очередного опыта необходимо обязательно проверять правильность установки пределов измерения комплекта К540.*

4. На горизонтальной панели стенда расположен источник переменного тока ( $\sim 0-220$  В), ЛАТР для регулирования напряжения на зажимах цепи и кнопки включения питания стенда.

5. Для подключения напряжения питания к исследуемой цепи необходимо:

- повернуть рукоятку ЛАТРа против часовой стрелки до упора;
- включить автоматический выключатель, расположенный под откидной крышкой стенда;
- нажать кнопку общего включения стенда “Вкл”;
- нажать кнопку, расположенную под вольтметром “Переменное”;

## ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Ознакомиться с лабораторным стендом ЭВ4 и измерительным комплектом К540. Для измерения напряжения на нагрузке на панели К540 нажать кнопку  $U_{\phi} \uparrow$ .

Установить на измерительном комплекте К540 следующие пределы измерения: по напряжению – 30 В, по току – 1 А.

2. Определить параметры катушки индуктивности (панель № 4), подключив ее к измерительному комплексу K540 (рис. 4).

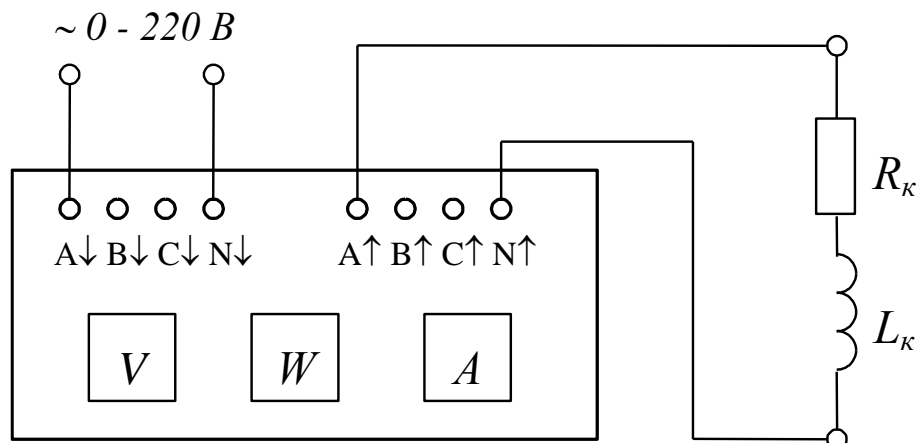


Рис. 4

Установить ЛАТРом напряжение питания  $U = 20\text{--}25\text{ В}$  (по указанию преподавателя). Результаты измерений занести в табл. 1.

Изобразить параллельную схему замещения реальной катушки индуктивности, построить в масштабе ее векторную диаграмму.

Параметры									
опытные			расчетные						
$U_K,$ В	$I_K,$ А	$P_K,$ Вт	$Y_K,$ $10^{-3}\text{См}$	$G_K,$ $10^{-3}\text{См}$	$B_K,$ $10^{-3}\text{См}$	$L_K,$ Гн	$\cos \varphi_K$	$I_{ак},$ А	$I_{рк},$ А

Таблица 1

3. Исследовать резонансные явления при параллельном соединении катушки индуктивности и конденсатора.

Подключить параллельно катушке индуктивности конденсатор (панель № 4). Рассчитать емкость конденсатора  $C_p$ , при которой в данной цепи наблюдается явление резонанса токов.

Исследовать изменение тока в неразветвленной части цепи при напряжении питания  $U = 25$  В и изменении емкости конденсатора в пределах  $(C_p - 40) < C < (C_p + 120)$  мкФ.

Результаты измерений занести в табл. 2.

Таблица 2

Параметры цепи													
опытные	$C$ , мкФ												
	$I$ , А												
расчетные	$B_C$ , $10^{-3}$ См												
	$I_C$ , А												
	$\cos \varphi$												
	$\varphi$ , град												

По данным табл. 2 на одном графике изобразить зависимости:  $B_C = f(C)$ ,  $\cos \varphi = f(C)$ ,  $\varphi = f(C)$ ,  $B_K = f(C)$ , на другом графике –  $I = f(C)$ ,  $I_{ак} = f(C)$ ,  $I_{рк} = f(C)$ ,  $I_C = f(C)$ .

На графике отложить значение резонансной емкости и отметить характерные точки на резонансных кривых.

Построить в масштабе векторные диаграммы токов для значений емкостей  $C = C_p$ ,  $C < C_p$  и  $C > C_p$ .

4. Исследовать электрическую цепь при параллельном соединении резистора и катушки индуктивности.

Подключить параллельно катушке индуктивности резистор с переменным сопротивлением (панель № 3).

Определить параметры цепи при напряжении питания  $U = 25$  В.

Результаты измерений занести в табл. 3

Таблица 3

Параметры							
опытные			расчетные				
$U$ , В	$I$ , А	$P$ , Вт	$P_R$ , Вт	$I_R$ , А	$\cos \varphi_1$	$\varphi_1$ град	$\operatorname{tg} \varphi_1$
25							

5. По данным табл. 3 рассчитать емкость конденсатора, который необходимо включить для повышения коэффициента мощности исследуемой цепи до значения  $\cos \varphi_2 = 0,95$ .

Подключить параллельно к исследуемой в п. 4 цепи конденсатор рассчитанной емкости.

Определить параметры цепи при напряжении питания  $U = 25$  В.

Результаты измерений занести в табл. 4.

Таблица 4

Параметры цепи							
опытные				расчетные			
$U$ , В	$I$ , А	$P$ , Вт	$C$ , мкФ	$\cos \varphi_2$	$\varphi_2$ , град	$\operatorname{tg} \varphi_2$	$I_C$ , А
25							

По данным табл. 3, 4 построить в масштабе на одной комплексной плоскости векторные диаграммы токов.

## СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

Отчет по лабораторной работе должен включать:

– электрические схемы опытов;

- таблицы с опытными и расчетными данными, расчетные формулы;
- векторные диаграммы токов, построенные в масштабе;
- кривые зависимостей по п. 6;
- выводы по результатам выполненной работы.

## **КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ**

1. Как по опытными данным определить параметры индуктивной катушки?
2. Как связаны параметры индуктивной катушки для последовательной схемы замещения  $R_k$  и  $X_k$  и для параллельной схемы замещения  $G_k$  и  $B_k$ ?
3. Что такое резонанс токов, при каких условиях он возникает?
4. Как при заданных параметрах индуктивной катушки определить емкость конденсатора, необходимого для возникновения в цепи резонанса токов?
5. Поясните на резонансных кривых зависимость тока цепи и коэффициента мощности от емкости конденсатора.
6. Для чего подключают конденсатор параллельно индуктивной катушке?
7. Чему будет равен ток в неразветвленной части цепи, если параллельно индуктивной катушке с параметрами  $R_k = 3 \text{ Ом}$ ,  $X_k = 4 \text{ Ом}$  подключить конденсатор с  $X_C = 25 \text{ Ом}$ ? Напряжение сети  $U = 50 \text{ В}$ .

## **ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №6**

### **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОТЕРИ НАПРЯЖЕНИЯ И МОЩНОСТИ В ЛИНИИ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ.**

#### **ЦЕЛЬ РАБОТЫ**

*Задачей* работы является исследование линий передач на практических участках при соединении нагрузки различных потребителей.

## КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Совокупность трех ЭДС одинаковой частоты и амплитуды, сдвинутых по фазе относительно друг друга на треть периода, называется *трехфазной системой ЭДС*.

Выражения для мгновенных значений ЭДС симметричного трехфазного источника имеют следующий вид:

1. Собрать на панели № 2 трехфазную нагрузку по схеме треугольника и подключить ее через измерительный комплект К540 к трехфазной цепи (рис.

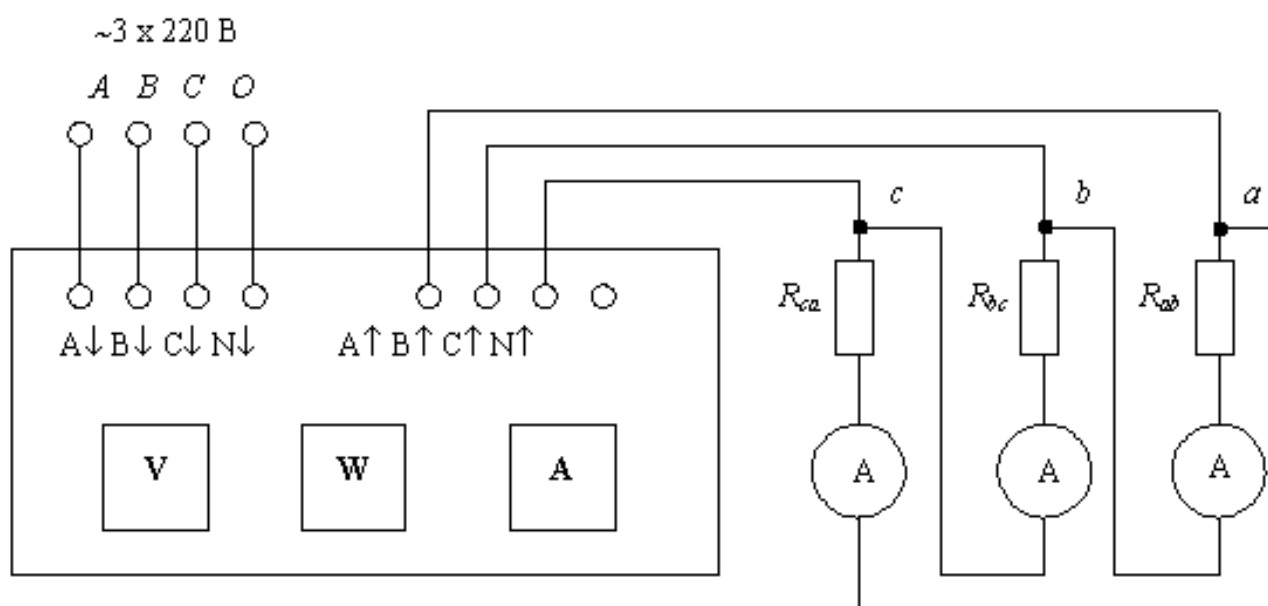


Рис. 3

- 3). Нагрузка каждой фазы состоит из последовательно соединенных резисторов

$$R = 100 \text{ Ом}, R_P = 150 \text{ Ом и лампы накаливания сопротивлением } R_L.$$

Установить на измерительном комплекте следующие пределы измерения:

$$U = 150 \text{ В}, I = 2,5 \text{ А}.$$

Провести опыты по п.п. 2–5, результаты измерений занести в табл. 1.

Таблица 1

	Параметры
--	-----------

Вид нагрузки	опытные									Расчетные			
	$U_{ab}$	$U_{bc}$	$U_{ca}$	$I_{ab}$	$I_{bc}$	$I_{ca}$	$I_A$	$I_B$	$I_C$	$P_{ab}$	$P_{bc}$	$P_{ca}$	$P$
	В	В	В	А	А	А	А	А	В	Вт	Вт	Вт	Вт
Симметричная													
Обрыв фазы нагрузки													
Неравномерная													
Обрыв линейного провода													

2. Установить с помощью переменных резисторов симметричную нагрузку  $I_{ab}=I_{bc}=I_{ca}$ . Результаты измерений занести в табл. 1.

3. Отключить одну из фаз нагрузки (по указанию преподавателя) и выполнить измерения.

4. Установить с помощью переменного резистора, включенного в одну из фаз (по указанию преподавателя), неравномерную нагрузку. Результаты измерений занести в табл. 1.

5. Отключить один из линейных проводов (по указанию преподавателя). Произвести измерения.

6. Выполнить расчеты, используя результаты измерений по п.п. 2–5, построить векторные диаграммы токов и напряжений. Результаты расчетов занести в таблицу и сравнить с результатами измерений.

## СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

Отчет по лабораторной работе должен включать:

- схемы исследуемых электрических цепей;
- таблицу с опытными и расчетными данными;
- векторные диаграммы напряжений и токов для исследованных режимов работы, построенные в масштабе;
- выводы по результатам выполненной работы



## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что называется трехфазной цепью?
2. Как подключается нагрузка в трехфазных цепях?
3. Какое напряжение в трехфазных цепях называется линейным, фазным?
4. Как рассчитывается мощность трехфазной цепи?
5. Как рассчитываются токи и напряжения нагрузки при соединении треугольником?
6. Какое соотношение между линейными и фазными токами в трехфазной цепи при подключении симметричной нагрузки по схеме треугольника?
7. Как изменяются токи в симметричной нагрузке, соединенной треугольником, при обрыве линейного провода?

Министерство образования и науки Челябинской области  
Государственное бюджетное профессиональное образовательное учреждение  
**«Южно-Уральский государственный технический колледж»**

## **ОТЧЕТ**

по выполнению лабораторно-практических работ  
учебной дисциплины  
**«Электротехника и электроника»**

выполнила: студентка Золотарева А.И.

группа: ВВ-225/6

проверил: преподаватель Лир С.В.

Челябинск 2015г

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Касаткин А.С., Немцов М.В.** Электротехника. – 4-е изд. – М.: Энергоатомиздат, 2019.
2. **Электротехника** / Х.Э. Зайдель, В.В. Коген-Далин, В.В. Крылов и др./ Под ред. Герасимова В.Г. 3-е изд. – М.: Высшая школа, 2018.
3. **Электротехника** / М.Ю. Аквельт, В.Г. Герасимов, В.П. Данильченко и др./ Под ред. В.С. Пантюшина. 2-е изд. - М.: Высшая школа, 2017.

### Перечень Интернет - ресурсов:

1. <http://www.edu.ru/modules.php>
2. <http://www.pupz18.ru/index.php/student/eor>