

Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.»

Филиал федерального государственного бюджетного образовательного
учреждения высшего образования
«Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.»
в г. Петровске

УТВЕРЖДАЮ
Директор филиала СГТУ
имени Гагарина Ю.А. в г.Петровске
Е.А.Бесшапошникова
«30» июня 2021 г.



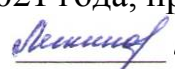
МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

по дисциплине

ОП.02 «Электротехника и электроника»

специальности

13.02.07 «Электроснабжение (по отраслям)»

Методические указания рассмотрены
на заседании предметной (цикловой)
комиссии общепрофессиональных дисциплин,
профессиональных модулей специальностей
технического профиля
«14» июня 2021 года, протокол № 13
Председатель ПЦК  /Т.А.Лескина/

Петровск 2021

Пояснительная записка

Методические указания по выполнению лабораторных работ разработаны в соответствии с рабочей программой учебной дисциплины «Электротехника и электроника», требованиями Федерального государственного образовательного стандарта (далее – ФГОС) по специальности среднего профессионального образования (далее - СПО) 13.02.07 Электроснабжение (по отраслям), утвержденного приказом Министерства образования и науки РФ от 14.12.2017 №

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

ОК 02. Осуществлять поиск, анализ и интерпретацию информации, необходимой для выполнения задач профессиональной деятельности;

ОК 03. Планировать и реализовывать собственное профессиональное и личностное развитие;

ОК 04. Работать в коллективе и команде, эффективно взаимодействовать с коллегами, руководством, клиентами;

ОК 05. Осуществлять устную и письменную коммуникацию на государственном языке Российской Федерации с учетом особенностей социального и культурного контекста;

ОК 06. Проявлять гражданско-патриотическую позицию, демонстрировать осознанное поведение на основе традиционных общечеловеческих ценностей;

ОК 07. Содействовать сохранению окружающей среды, ресурсосбережению, эффективно действовать в чрезвычайных ситуациях;

ОК 08. Использовать средства физической культуры для сохранения и укрепления здоровья в процессе профессиональной деятельности и поддержания необходимого уровня физической подготовленности;

ОК 09. Использовать информационные технологии в профессиональной деятельности;

ОК 10. Пользоваться профессиональной документацией на государственном и иностранном языках;

ПК 1.2. Читать и составлять электрические схемы электроснабжения электротехнического и электротехнологического оборудования.

ПК 2.2. Выполнять основные виды работ по обслуживанию трансформаторов и преобразователей электрической энергии;

ПК 2.5. Разрабатывать и оформлять технологическую и отчетную документацию.

ПК 3.5. Выполнять проверку и анализ состояния устройств и приборов, используемых при ремонте и наладке оборудования.

Дисциплина «Электротехника и электроника» направлена на достижение следующей цели: научить обучающихся применять знания и умения в профессиональной деятельности.

При выполнении лабораторных работ студент должен **знать**:

- классификация электронных приборов, их устройство и область применения;
- методы расчета и измерения основных параметров электрических, магнитных цепей;
- основные законы электротехники;
- основные правила эксплуатации электрооборудования и методы измерения электрических величин;
- основы теории электрических машин, принцип работы типовых электрических устройств;
- основы физических процессов в проводниках, полупроводниках и диэлектриках;
- параметры электрических схем и единицы их измерения;
- принципы выбора электрических и электронных устройств и приборов;
- свойства проводников, полупроводников, электроизоляционных, магнитных материалов;
- способы получения, передачи и использования электрической энергии;
- характеристики и параметры электрических и магнитных полей.

При выполнении лабораторных работ студент должен **уметь:**

- подбирать устройства электронной техники, электрические приборы и оборудование с определенными параметрами их характеристиками;
- правильно эксплуатировать электрооборудование и механизмы передачи движения технологических машин и аппаратов;
- рассчитывать параметры электрических, магнитных цепей;
- снимать показания и пользоваться электроизмерительными приборами и приспособлениями;
- собирать электрические схемы;
- читать принципиальные, электрические и монтажные схемы.

Содержание лабораторных занятий определено рабочей программой и тематическим планированием, соответствует теоретическому материалу изучаемых разделов учебной дисциплины.

Объём лабораторных занятий по дисциплине определяется учебным планом по данной специальности.

Продолжительность лабораторной работы - 2 академических часа. Перед проведением практического занятия преподавателем организуется инструктаж, а по ее окончании – обсуждение итогов.

Перед проведением лабораторных работ преподавателем организуется инструктаж, а по ее окончании – обсуждение итогов.

Комплект методических указаний по выполнению лабораторных работ

дисциплины «Электротехника и электроника» содержит 10 лабораторных работ.

ПЕРЕЧЕНЬ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

ОП. 02 ЭЛЕКТРОТЕХНИКА И ЭЛЕКТРОНИКА

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №1

Вводная лабораторная работа. Взаимное преобразование треугольника и звезды

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №2

Тема: Применение законов Кирхгофа к разветвленной электрической цепи

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №3

Тема: Исследование явления электромагнитной индукции

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №4

Тема: Определение вида и параметров цепей замещения приемников электрической энергии. Исследование электрической цепи с последовательным соединением реостата и Катушки.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №5

Тема: Исследование электрической цепи с последовательным соединением реостата и конденсатора. Исследование электрической цепи с параллельным соединением реостата и катушки.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №6

Тема: Исследование электрической цепи с параллельным соединением реостата и конденсатора

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №7

Тема: Исследование соединения вторичных обмоток трехфазного источника, соединенного звездой и треугольником.

Исследование трехфазной цепи при соединении приемника энергии звездой

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №8

Тема: Исследование аварийных режимов трехфазного приемника, соединенного звездой Исследование трехфазной цепи при соединении приемника энергии треугольником

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №9

Тема: Исследование линейных и нелинейных элементов электрической цепи

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №10

Тема: Исследование работы полупроводникового диода. Исследование входных и выходных характеристик биполярного транзистора.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №1

Вводная лабораторная работа. Взаимное преобразование треугольника и звезды

Цель работы: экспериментальная проверка возможности эквивалентного преобразования треугольника сопротивлений в звезду сопротивлений, получить навыки пользоваться электроизмерительными приборами, умения собирать электрические схемы

ПОДГОТОВКА К РАБОТЕ:

1. Повторить разделы курса ТОЭ в которых рассматривается эквивалентные преобразования пассивных цепей.
2. Повторить разделы курса ТОЭ в которых рассматривается эквивалентное преобразование треугольника сопротивлений в звезду сопротивлений.
[Л.1. п.п. 2.3-2.4, стр. 31-32; п. 2.23, стр. 60].

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ:

1. Какое соединение резисторов называется соединением звездой, какое треугольником ?
2. Что называется эквивалентной заменой ?
3. Как выглядят формулы эквивалентной замены сопротивлений звезды сопротивлениями треугольника.
4. Для чего производят эквивалентную замену?

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ЧАСТИ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ:

1. Собрать электрическую схему цепи (рис.6.). Перед началом работы все ключи на магазинах сопротивлений должны быть замкнуты, т.е. находится в положении «Включено».
2. Установить заданные преподавателем сопротивления резисторов R12, R23, R31 на магазинах.
3. Установить мультиметры на измерение тока в амперах.
4. Предъявить собранную электрическую схему преподавателю.
5. Включить автоматы постоянного тока и снять показания амперметров. Результаты записать в таблицу №3.
6. Отключить автомат постоянного тока, вычислить по формулам сопротивления резисторов эквивалентной звезды и записать в таблицу №3. (строка №1).
7. Собрать электрическую схему (рис.7.) и установить на магазинах резисторов вычисленные значения сопротивлений эквивалентной звезды R1, R2, R3.

8. Предъявить собранную электрическую схему преподавателю.
9. Включить автомат постоянного тока. Убедиться, что показания амперметров остались прежними. Результаты записать в таблицу №3. (строка №2)
10. Собрать электрическую схему цепи (рис.6.).
11. Установить заданные сопротивления резисторов R12, R23, R31 на магазинах. ($R12 > R23 > R13$)
12. Предъявить собранную электрическую схему преподавателю.
13. Включить автомат постоянного тока и снять показания амперметров. Результаты записать в таблицу №3. (строка №3)
14. Отключить автомат постоянного тока, вычислить по формулам сопротивления резисторов эквивалентной звезды R1, R2, R3 и записать в таблицу №1.
15. Собрать электрическую схему (рис.7.) и установить на магазинах резисторов вычисленные значения сопротивлений эквивалентной звезды R1, R2, R3.
16. Предъявить собранную электрическую схему преподавателю.
17. Включить автомат постоянного тока. Убедиться, что показания амперметров остались такими же как в п.13. Результаты записать в таблицу №3. (строка №4)
18. Сделать выводы по проделанной работе.

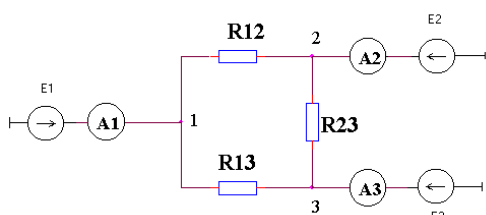


Рис.6. Электрическая схема соединения сопротивлений треугольником.

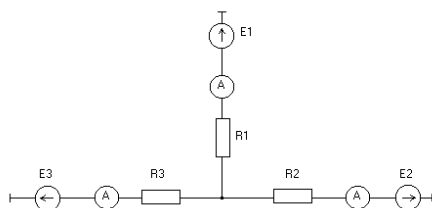


Рис.7. Электрическая схема соединения сопротивлений звездой.

Таблица №3

№	Измерить				Опыт			Вычислить			Установить		
п/п	U	I1	I2	I3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R12	R23	R31
	V	A	A	A	Ом	Ом	Ом	Ом	Ом	Ом	Ом	Ом	Ом
1													

Тема: Применение законов Кирхгофа к разветвленной электрической цепи

Цель работы: Проверка опытным путем справедливости законов Кирхгофа и возможности их применения к расчету сложных электрических цепей.

Студент должен

знать:

- методы расчета электрических цепей постоянного тока;
- законы Кирхгофа;

уметь:

- применять законы Кирхгофа при расчетах электрической цепи.

Теоретическое обоснование

Для расчета электрических цепей наряду с законом Ома применяются два закона Кирхгофа.

Первый закон Кирхгофа применяется к узлам электрических цепей:

В ветвях, образующих узел электрической цепи, алгебраическая сумма токов равна нулю:

$$\sum I = 0 \quad (1)$$

Знаки токов, входящих в эту сумму, зависят от их направления: токи, направленные к узлу, положительны, а токи, направленные от узла, — отрицательны.

Второй закон Кирхгофа применяется к контурам электрических цепей:

Алгебраическая сумма ЭДС, входящих в замкнутый контур, равна алгебраической сумме падений напряжений на всех участках этого контура

$$\sum E = \sum IR \quad (2)$$

При этом положительными считаются ЭДС и токи, направление которых совпадает с направлением обхода контура.

Любую сложную электрическую цепь можно рассчитать, применив законы Кирхгофа.

Порядок расчета методом уравнений Кирхгофа сводится к следующему:

1. Задаются произвольным направлением обхода контуров;
2. Произвольно проставляют направления токов в отдельных ветвях схемы (m — число ветвей в цепи);
3. По первому закону Кирхгофа составляют $(n - 1)$ независимых уравнений, где n — число узлов в электрической цепи;
4. Недостающие $m - (n - 1)$ уравнения составляют по второму закону Кирхгофа;

5. Полученную систему из m уравнений решают алгебраическим путем и определяют величину и реальные направления токов ветвей.

Ход работы

1 Электрическая схема опыта, электрооборудование и приборы.

На рисунке 3.1 приведена электрическая схема опыта. При сборке электрической цепи используется следующее оборудование:

Источник электроэнергии - 2 шт.
Амперметр (0-0,1)А - 3 шт.
Вольтметр (0-100/25)В - 1 шт.
Резисторы на 240 и 430 Ом
Реостат – 0-1000 Ом

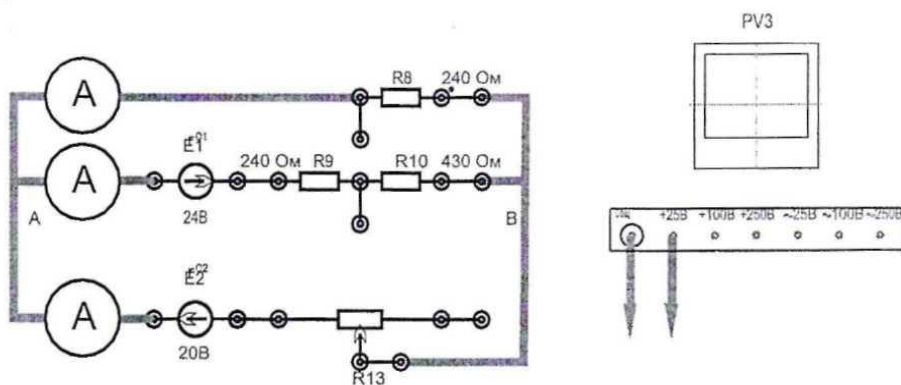


Рисунок 3.1 - Схема для проверки законов Кирхгофа

2. Порядок проведения работы

- 2.1 Записать технические характеристики измерительных приборов в таблицу 2.1.
- 2.2 Измерить э.д.с. исследуемых источников электрической энергии E_1 и E_2 .
- 2.3 Измерить сопротивлений резисторов омметром.
- 2.4 Измерить напряжения на резисторах. Результаты наблюдений записать в таблицу 2.1.
- 2.5 Собрать и изучить схему электрической цепи (рис. 3.1.).
- 2.6 Для измерения на резисторах R_8 , R_{9-10} , и R_{13} вольтметр необходимо включить параллельно резисторам, поочередно (R_{13}).
- 2.7 Результаты наблюдений записать в таблицу 2.1.
- 2.8 Таблица показаний и расчетов.

Таблица 2.1 — Результаты измерений и вычислений

№ п/п	Замеры								Расчеты						Прим.
	E ₁	E ₂	I ₁	I ₂	I ₃	U ₁	U ₂	U ₃	R ₈	R ₉₋₁₀	R ₁₃	P ₁	P ₂	P ₃	
	В	В	А	А	А	В	В	В	Ом	Ом	Ом	Вт	Вт	Вт	
1															Опыт
2															Расч.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №3

Тема: Исследование явления электромагнитной индукции

Цель: наблюдать явление электромагнитной индукции, проверить выполнение правила Ленца.

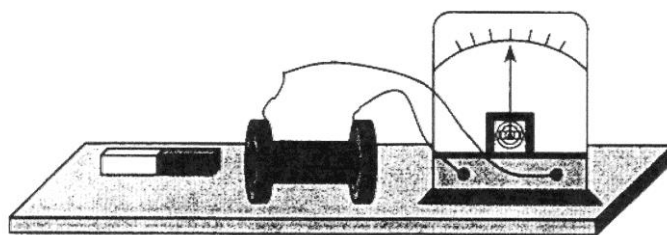
Оборудование:

гальванометр, катушка, соединительные провода, магнит.

Метод выполнения работы

Явление электромагнитной индукции заключается в возникновении индукционного электрического тока в любом замкнутом проводящем контуре при изменении магнитного потока, который пронизывает контур. Направление индукционного тока определяется по правилу Ленца.

В этой работе наблюдается явление электромагнитной индукции. Через полость катушки перемещают магнит и определяют при этом направление индукционного тока по отклонению стрелки гальванометра.

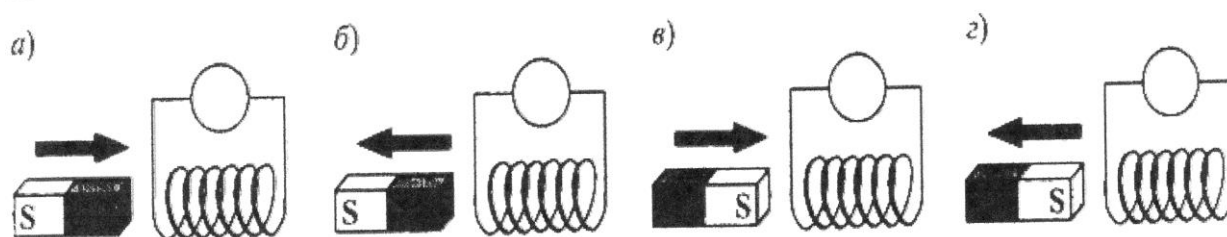


Направление индукционного тока можно определить и по правилу Ленца. В работе его можно применить так:

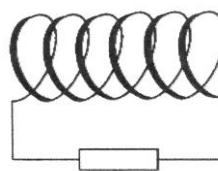
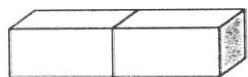
- 1) определить направление магнитных полюсов катушки при движении магнита (к магниту обращен полюс, который препятствует его движению);
- 2) определить (по правилу магнитной стрелки) направление вектора ***B*** магнитного поля, созданного током в катушке;
- 3) определить (по правилу буравчика) направление тока в катушке.

Ход работы

1. Подсоединить катушку к гальванометру.
2. Передвигать магнит через полость катушки, как показано на рисунках а)-г); отметить в каждом случае отклонение стрелки гальванометра (направление тока).



3. Для одного из четырех случаев (полюса магнита и направление его движения задает преподаватель) определить направление тока в катушке по правилу Ленца, используя п. 1 – 3. Для катушки указать: полюса ***N*** и ***S*** , направление вектора ***B***, направление тока ***I***.

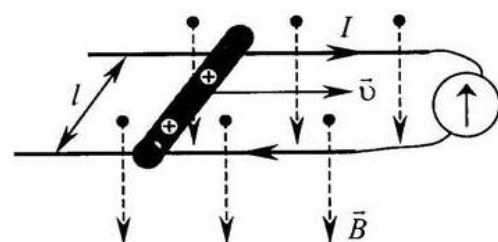


4. Вывод.

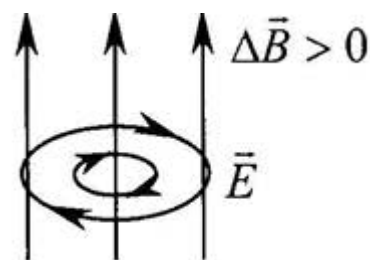
Контрольные вопросы

1. Что характеризует магнитная индукция B ? Как вычисляется магнитная индукция? Какие величины входят в эту формулу?

2. Объясните по рисунку, как возникает ЭДС индукции в проводнике, который движется в магнитном поле?
Как рассчитать ЭДС индукции для этого случая? Какие величины входят в формулу?



3. При каком условии появляется вихревое электрическое поле? Каковы свойства вихревого электрического поля (объяснит его, опираясь на рисунок).



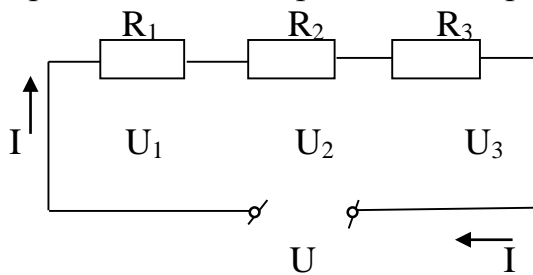
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №4

Тема: Определение вида и параметров цепей замещения приемников электрической энергии. Исследование электрической цепи с последовательным соединением реостата и Катушки.

Цель работы: Исследовать электрические цепи при различных способах соединения резисторов. Определить эквивалентное сопротивление опытным путем и с помощью расчета по формулам.

Пояснения к работе.

Неразветвленная электрическая цепь это последовательное соединение приемников электрической энергии.



Последовательным называется такое соединение приемников электрической энергии, при котором по всем элементам протекает один и тот же ток.

$$U = U_1 + U_2 + U_3$$

Эквивалентное сопротивление цепи равно сумме сопротивлений последовательно включенных резисторов : $R_{\text{экв}} = R_1 + R_2 + R_3$

Эквивалентным называется такое сопротивление, которое будучи включенным вместо данных резисторов, не изменяет режима работы электрической цепи.

Закон Ома для всей замкнутой цепи имеет вид:

$$I = U / (R_1 + R_2 + R_3) \quad I = U / R_{\text{экв}}$$

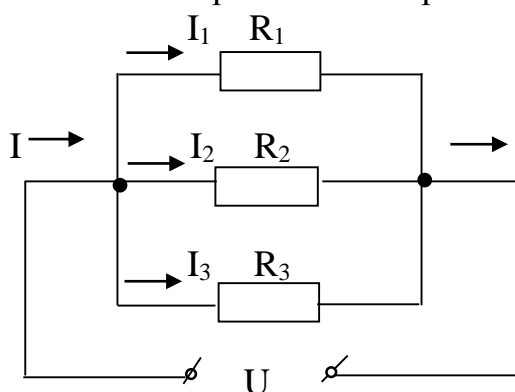
$P = P_1 + P_2 + P_3$ – уравнение баланса мощностей.

Общая мощность равна сумме мощностей последовательно включенных резисторов.

Мощности на последовательно включенных резисторах распределяются прямо пропорционально сопротивлениям резисторов.

Напряжение на последовательно включенных резисторах распределяется прямо пропорционально сопротивлениям резисторов.

Разветвленная электрическая цепь это параллельное соединение приемников электрической энергии.



Параллельным называется такое соединение приемников электрической энергии, при котором на зажимах всех элементов имеется одно и то же напряжение.

$$U = U_1 = U_2 = U_3$$

Согласно первого закона Кирхгофа: $I = I_1 + I_2 + I_3$

Обратная величина эквивалентного сопротивления равна сумме обратных величин сопротивлений резисторов, включенных параллельно: $1/R_{\text{ЭКВ}} = 1/R_1 + 1/R_2 + 1/R_3$

Величина обратная сопротивлению является проводимостью.

$$G_{\text{ЭКВ}} = 1/R_{\text{ЭКВ}} \quad G_{\text{ЭКВ}} = G_1 + G_2 + G_3$$

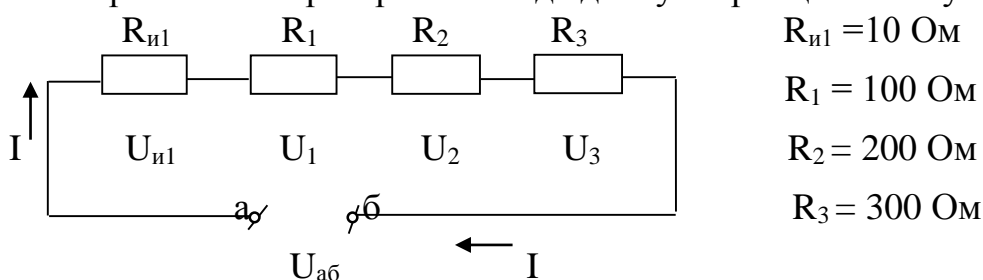
Эквивалентное сопротивление двух резисторов, включенных параллельно, определяется по формуле: $R_{\text{ЭКВ}} = R_1 \cdot R_2 / (R_1 + R_2)$

Смешанное соединение – это такое соединение, при котором в электрической схеме имеются одновременно участки с последовательно и параллельно включенными элементами. К этим участкам применяются формулы последовательного и параллельного соединения приемников электрической энергии.

Приборы и оборудование: 1. Лабораторный стенд
2. Вольтметр универсальный В7-26

Задание:

- В лабораторной работе необходимо исследовать работу цепи постоянного тока при различных способах соединения приемников электрической энергии.
- Собрать на лабораторном стенде данную принципиальную схему.



- С помощью вольтметра В 7-26 измерить значение эквивалентного сопротивления цепи $R_{\text{ЭКВ}}$.
- С помощью вольтметра В 7-26 измерить значение ЭДС источника.
- С помощью вольтметра В 7-26 измерить значения падений напряжения на элементах цепи R_{i1} , R_1 , R_2 , R_3 и на зажимах источника.
- Результаты измерений занести в таблицу.

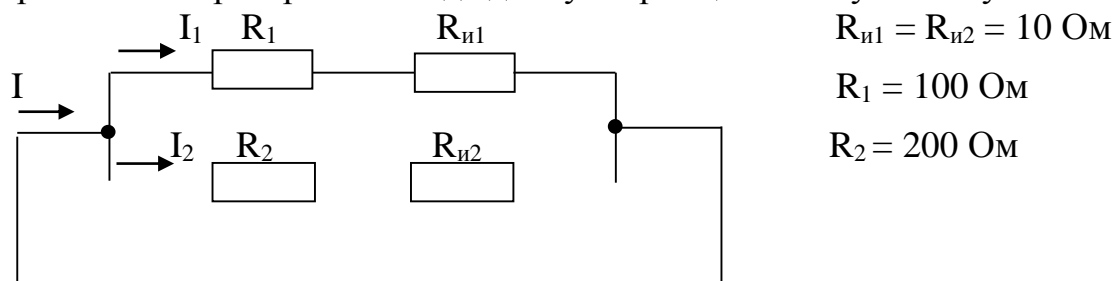
Измерить							Вычислить								
E	$R_{\text{ЭКВ}}$	U_{i1}	U_1	U_2	U_3	U_{ab}	I	P_1	P_2	P_3	P_{i1}	P_{ab}	P_0	R_0	$R_{\text{ЭКВ}}$
В	Ом	В	В	В	В	В	А	Вт	Вт	Вт	Вт	Вт	Вт	Ом	Ом

- По следующим формулам произвести вычисления:

$$I = U_{i1}/R_{i1} \quad P_1 = U_1 I \quad P_2 = U_2 I \quad P_3 = U_3 I \quad P_{i1} = U_{i1} I \quad P_{ab} = I U_{ab} \quad P_0 = I^2 R_0$$

$$R_0 = (E - U_{ab}) / I \quad R_{\text{ЭКВ}} = R_{i1} + R_1 + R_2 + R_3 + R_0 \quad P_{ab} = P_{i1} + P_1 + P_2 + P_3 + P_0$$

- Собрать на лабораторном стенде данную принципиальную схему.



ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №5

Тема: Исследование электрической цепи с последовательным соединением реостата и конденсатора. Исследование электрической цепи с параллельным соединением реостата и катушки.

Цель: Проверка основных закономерностей в цепях последовательного и параллельного соединения резисторов.

Студент должен

знать:

- основные закономерности в цепях с последовательным и параллельным соединением резисторов;

- законы Ома;

- законы Кирхгофа;

уметь:

- рассчитывать параметры цепей при последовательном и параллельном соединении

- резисторов;

- применять законы Ома, Кирхгофа.

Теоретическое обоснование

Соединение резисторов. Законы Кирхгофа позволяют анализировать и рассчитывать электрические цепи с одним источником при различных соединениях резисторов.

Последовательным соединением участков электрической цепи называют соединение,

при котором через все участки цепи проходит один и тот же ток (см. рисунок 1.1).

Напряжение на каждом последовательно включенном участке

пропорционально

величине сопротивления этого участка.

При последовательном соединении потребителей с сопротивлениями R_1 , R_2 и R_3 напряжение на их зажимах равно:

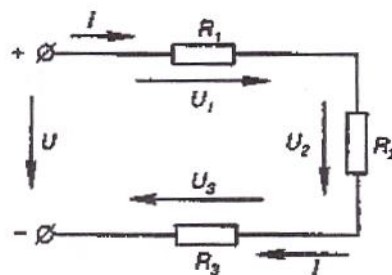


Рисунок 1.1 — Последовательное соединение резисторов

$$U_1 = IR_1; U_2 = IR_2; U_3 = IR_3$$

Воспользовавшись вторым законом Кирхгофа для рассматриваемой цепи (рисунок 1.1), можно записать:

$$U = U_1 + U_2 + U_3$$

или

$$U = IR_1 + IR_2 + IR_3.$$

Откуда

$$U/I = R_1 + R_2 + R_3$$

т. е. общее (эквивалентное) сопротивление последовательно потребителей равно сумме сопротивлений этих потребителей.

Ток в цепи последовательно включенных потребителей (рисунок 1.1) определяется выражением:

$$I = \frac{U}{R_1 + R_2 + R_3}$$

Из этого выражения следует, что при изменении сопротивления хотя бы одного потребителя изменяется ток цепи, а, следовательно, и режим работы (напряжение)

всех последовательно включенных потребителей (резисторов).

Характерно, что при последовательном соединении потребителей на большем сопротивлении тратится большая мощность:

$$P = UI = I^2 R.$$

Параллельным соединением участков электрической цепи называют соединение, при

котором все участки цепи присоединяются к одной паре узлов, т. е. находятся под

действием одного и того же напряжения (см. рисунок 1.2). Токи параллельно включенных участков обратно пропорциональны сопротивлениям этих участков. При

параллельном соединении потребителей с сопротивлениями R_1 , R_2 , R_3 токи потребителей равны:

$$I_1 = U/R_1, \quad I_2 = U/R_2, \quad I_3 = U/R_3$$

Воспользовавшись первым законом Кирхгофа для рассматриваемой цепи, можно

определить ток в неразветвленной части цепи:

$$I = I_1 + I_2 + I_3$$

или

$$I = U/R_1 = U/R_2 = U/R_3 = U(I/R_1 + I/R_2 + I/R_3)$$

$$I/U = I/R_1 + I/R_2 + I/R_3 = I/R$$

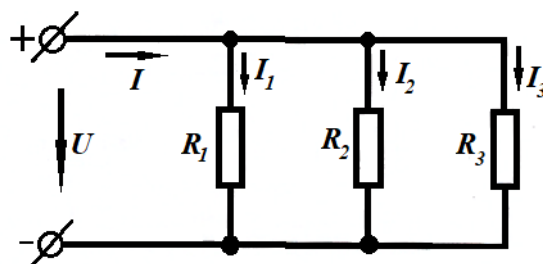


Рисунок 1.2 — Параллельное соединение резисторов

Т. е. обратная величина общего (эквивалентного) сопротивления (R) параллельно

включенных потребителей равна сумме обратных величин сопротивлений этих потребителей.

Величина, обратная сопротивлению, определяет проводимость потребителя (g).
Общая (эквивалентная) проводимость цепи при параллельном соединении потребителей определяется выражением:

$$g = g_1 + g_2 + g_3$$

Если параллельно включены n одинаковых потребителей с сопротивлением R' каждое, то эквивалентное сопротивление этих потребителей $R = R'/n$.

Если параллельно включены два потребителя с сопротивлениями R_1 и R_2 , то общее (эквивалентное) их сопротивление по (9):

$$R_{12} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$$

Изменение сопротивления какого-либо из параллельно соединенных потребителей не влияет на режим работы (напряжение) всех потребителей, включая изменяемый.

Поэтому параллельное соединение потребителей нашло широкое практическое применение.

При параллельном соединении потребителей на большем сопротивлении тратится меньшая мощность:

$$P = UI = U^2/R$$

Ход работы

1 Исследование цепи при последовательном соединении резисторов

1.1.Собрать электрическую схему (рисунок 1.3) и дать проверить ее преподавателю.

1.2.Включить блок питания БП - 15. Установить напряжение цепи 20 В.

1.3. Выключатель **SA** включить. С помощью амперметра измерить ток в цепи, с помощью вольтметра - падения напряжений на отдельных ее участках для двух положений движков реостатов. Результаты измерений занести в таблицу 1.1.

На рисунке 1.3, 1.4 приведены электрические схемы опытов. При сборке электрических цепей по приведенным схемам используется следующее оборудование:

G1, G2 - источники постоянного напряжения БП - 15;

PA - амперметр;

PU - вольтметр;

R1 - реостат на 1 кОм;

R2 - реостат на 220 Ом;

R3 - реостат на 220 Ом;

SA - выключатель.

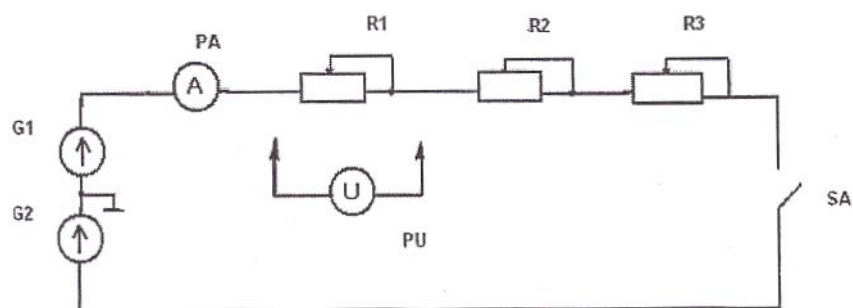


Рисунок 1.3 - Схема для исследования цепи с последовательным соединением резисторов

Таблица 1.1 - Результаты исследования цепи с последовательным соединением резисторов

№ опыта	Результаты измерений					Результаты вычислений						
	$U,$ B	$U_1,$ B	$U_2,$ B	$U_3,$ B	$I,$ A	$R_{экв},$ $Ом$	$U',$ B	$R_1,$ $Ом$	$R_2,$ $Ом$	$R_3,$ $Ом$	$R_{экв}',$ $Ом$	$I',$ A
1												
2												

ЛАБОРАТОРАЯ РАБОТА №6

Тема: Исследование электрической цепи с параллельным соединением реостата и конденсатора

Исследование симметричных и несимметричных режимов работы трехфазной цепи при соединении нагрузки «треугольником», определение соотношений между линейными и фазными токами при различных режимах работы, построение векторных диаграмм.

1. КРАТКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ОБЪЕКТА ИССЛЕДОВАНИЯ

Трехфазный генератор обеспечивает симметричное напряжение со сдвигом фаз 120° . Обмотки такого генератора обычно соединяются «звездой». Приемники электроэнергии могут быть соединены как по схеме «звезда», так и по схеме «треугольник». Рассмотрим схему включения приемников «треугольником» (рис. 6.1).

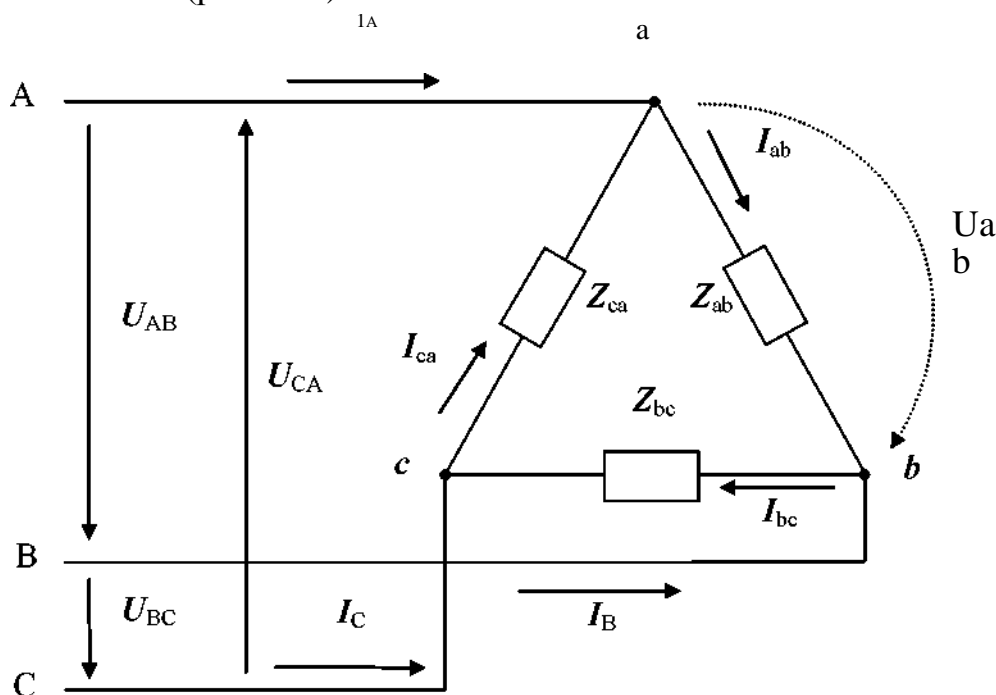


Рис. 6.1. Соединение трехфазного генератора с нагрузкой

Соединение трёхфазной цепи переменного тока, при котором конец первой фазы соединяется с началом второй, конец второй фазы с началом третьей и конец третьей фазы с началом первой, образуя замкнутый треугольник, к вершинам которого подсоединяются линейные провода, называется соединением типа «треугольник».

В трехфазных электрических цепях различают линейные, фазные напряжения и токи (рис. 6.1).

Провода, соединяющие генератор с потребителем, называются линейными. Токи, протекающие в них, обозначаются I_A , I_B , I_C и называются линейными.

Линейные напряжения u_L (напряжения между линейными проводами) принято обозначать U_{AB} , U_{BC} , U_{CA} . Они образуют симметричную систему векторов, при этом сумма линейных напряжений в режиме холостого хода равна нулю.

Из схемы, представленной на рис. 6.1, видно, что при соединении «треугольником» фазные напряжения u_{ϕ} (напряжения между началом и концом фаз) равны линейным напряжениям

$$u_{\phi} = u_{\text{л}}. \quad (6.1)$$

При подключении нагрузки появляются токи в фазах нагрузки I_{ab}, I_{bc}, I_{ca} , которые называются фазными. Они могут быть найдены из следующих соотношений:

$$\frac{U_{ab}}{Z_{ab}} = \frac{U_{bc}}{Z_{bc}} = \frac{U_{ca}}{Z_{ca}} \quad (6.2)$$

Условные положительные направления линейных и фазных напряжений, линейных и фазных токов показаны на рисунке 6.1 стрелками.

В соответствии с первым законом Кирхгофа алгебраическая сумма токов в узле равна нулю. Поэтому, записав для узлов a, b, c с первый закон Кирхгофа (рис. 6.1), можно установить связь между линейными и фазными токами:

$$I_A - I_{ab} + I_{ca} = 0 \quad (6.3)$$

$$I_B - I_{bc} + I_{ab} = 0 \quad (6.4)$$

$$I_C - I_{ac} + I_{bc} = 0 \quad (6.5)$$

Сложив эти равенства, получим:

$$I_A + I_B + I_C = 0. \quad (6.6)$$

Выражения 6.3-6.6 используются при расчетах трехфазной цепи соединением «треугольником», а также для построения векторных диаграмм.

В случае, если нагрузка во всех фазах одинаковая

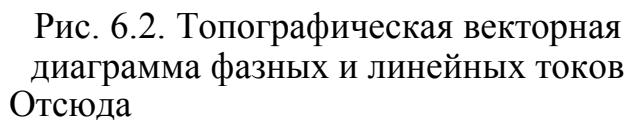
$$Z_{ab} = Z_{bc} = Z_{ca}, \quad (6.7)$$

то трехфазная система называется симметричной. Токи в фазах будут равны по величине и сдвинуты по фазе на 120° относительно друг друга.

Векторная топографическая диаграмма симметричной трехфазной системы будет выглядеть как равнобедренный треугольник (рис. 6.2). Из неё можно получить соотношение между фазными и линейными токами при соединении «треугольником» в случае симмет

$$\frac{1}{2} BC = OB \cos 30^\circ, \text{ т.е. } C_2 \perp \pi = \phi \cos 30^\circ = \phi / 2. \quad (6.8)$$

$$\mathbf{1}_L \sim y/3 \mathbf{1}_\Phi. A$$



(6.9)

$$lab \wedge lbc \wedge lccb \quad (6.10)$$

При включении потребителей электроэнергии «треугольником» обеспечивается полная независимость работы отдельных фаз друг от друга, так как к фазам подводится непосредственно линейные напряжения сети. В этом заключается преимущество соединения нагрузки «треугольником» по сравнению со «звездой». Поэтому фазные токи зависят только от величины нагрузки в фазе, и даже значительные изменения тока в одной из фаз практически не влияют на напряжения и токи в других фазах. Изменение нагрузки изменяет только ток данной фазы и линейные токи в двух прилежащих к данной фазе линейных проводах.

Также соединение нагрузки в «треугольник» исключает опасность повышенных напряжений на фазах потребителя при обрыве одного из линейных проводов. Например, при обрыве провода А фазы *ав*

и *ac* окажутся соединенными последовательно и на них будет подаваться линейное напряжение U_{BC} . Таким образом, на каждой из этих фаз будет действовать напряжение, равное половине линейного (если нагрузки в фазах равны). Напряжение фазы *bc* и режим её работы останутся без изменений.

Активная мощность трехфазного тока равна сумме мощностей всех трех фаз, а именно

$$P = P_A + P_B + P_C. \quad (6.11)$$

При равномерной нагрузке фаз активная мощность трехфазной системы становится равной

$$P = 3P_\Phi = 3U_\Phi I_\Phi \cos \varphi, \quad (6.12)$$

где P_Φ - активная мощность одной фазы, Вт; U_Φ -

фазное напряжение, В;

I_Φ - ток фазный, А;

$\cos \varphi$ - коэффициент мощности.

Пользуясь соотношением (6.9), можно выразить в формуле (6.12) произведение $U_\Phi I_\Phi$ через линейные значения напряжения и тока

$$U_\Phi I_\Phi = U_L I_L / \sqrt{3} \quad (6.13)$$

Отсюда формула 6.11 может быть переписана в следующем виде:

$$P = 3 U_L I_L \cos \varphi = \sum U_{ij} I_{ij} \cos \varphi. \quad (6.14)$$

В таком преобразованном виде формула широко применяется для определения активной мощности, развиваемой трехфазным током при равномерной нагрузке фаз.

Соответственно реактивная мощность трехфазной системы определяется суммой

$$Q = Q_A + Q_B + Q_C \quad (6.15)$$

где Q_A , Q_B , Q_C - реактивные мощности в фазах

$$Q_\Phi = U_\Phi I_\Phi \sin \varphi. \quad (6.16)$$

Полная мощность

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2}. \quad (6.17)$$

При равномерной (симметричной) нагрузке фаз эти формулы можно выразить через линейные токи и напряжения:

$$Q = \sqrt{3} U_L I_L \sin \varphi; \quad (6.18)$$

$$S = \sqrt{3} U_L I_L. \quad (6.19)$$

Измеряется активная мощность в Вт, реактивная - в ВАР, полная мощность - в ВА.

2. МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА И ОБРАБОТКИ РЕЗУЛЬТАТОВ

2.1. МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

В данной работе исследуется работа трехфазной цепи переменного тока соединением «треугольник» при различных видах нагрузки. Изменяя характер нагрузки в фазе А, осуществить разные режимы работы трехфазной цепи. По результатам измерений построить векторные диаграммы для всех режимов работы трехфазной цепи.

2.2. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА

1. Подготовить отчет, изучить теоретическую часть и получить допуск к выполнению лабораторной работы.
2. Ознакомиться с оборудованием лабораторного стенда и измерительными приборами.
3. Записать в таблицу 6.1 технические данные измерительных приборов, используемых при выполнении работы.

Таблица 6.1

Сведения об измерительных приборах

	$PA1$	$PA2$	$PA3$	$PAab$	$PAbc$	$PAca$	PV
Наименование прибора							
Тип прибора							
Система измерительного механизма (наименование и обозначение)							
Предел измерений							
Класс точности							
Род тока							
Цена деления							
Абсолютная погрешность измерения							

4. Собрать схему электрической цепи, показанной на рис. 6.3, и представить для проверки преподавателю.

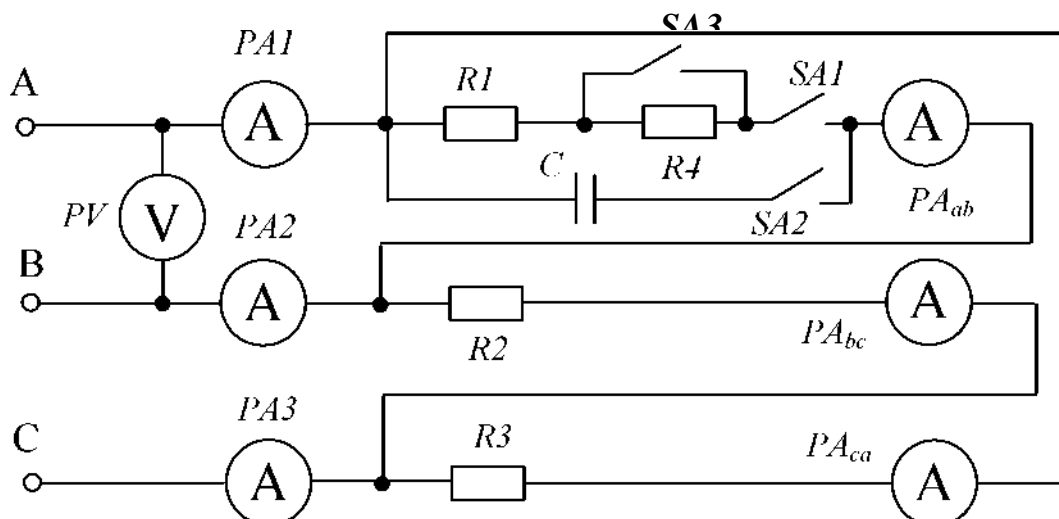


Рис. 6.3. Схема исследуемой электрической цепи

5. Включением ключей $SA1$, $SA2$, $SA3$, расположенных на передней панели лабораторного стенда, создать режимы нагрузки трехфазной цепи согласно таблице 6.2.

Таблица 6.2

*Положение переключателей при разных режимах работы
трехфазной цепи по схеме «треугольником»*

№ п/п	Тип нагрузки	$SA1$	$SA2$	$SA3$
1	Симметричная активная нагрузка	Вкл	Выкл	Вкл
2	Увеличенная нагрузка в фазе А	Вкл	Выкл	Выкл
3	Выключенная нагрузка в фазе А	Выкл	Выкл	Выкл
4	Обрыв линейного провода в фазе А (убрать линейный провод в фазе А)	Вкл	Выкл	Вкл
5	В фазе А включен идеальный конденсатор (несимметричная емкостная нагрузка)	Выкл	Вкл	Выкл

6. Измерить линейные токи с помощью амперметров $PA1$, $PA2$, $PA3$ и фазные токи по амперметрам PA_{ab} , PA_{bc} , PA_{ca} . Показания приборов каждого режима записать в таблицу 6.2.

7. Снять показания вольтметра PV и записать в таблицу 6.3 линейное напряжение $U_{AB} = U_{BC} = U_{CA} = \dots$

Таблица 6.3

Измеренные величины

№ п/п	Характер нагрузки	Измерения						Вычисления		
		Линейные токи			Фазные токи					
		$\begin{matrix} A \\ A \end{matrix}$	$\begin{matrix} A \\ A \end{matrix}$	$\begin{matrix} A \\ A \end{matrix}$	$\begin{matrix} I_{ab} \\ A \end{matrix}$	$\begin{matrix} m \\ A \end{matrix}$	$\begin{matrix} I_{ca} \\ A \end{matrix}$	$\begin{matrix} I_{AL} \\ I_{ab} \end{matrix}$	$\begin{matrix} I_B \\ h_C \end{matrix}$	$\begin{matrix} I_c \\ I_{ca} \end{matrix}$
1	Симметричная активная нагрузка									
2	Увеличенная нагрузка в фазе А									
3	Выключенная нагрузка в фазе А									
4	Обрыв линейного провода в фазе А									
5	Емкостная нагрузка в фазе А									
$U_{AB}=U_{BC}=U_{CA}= \dots$						-В				

2.3.

ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТА

1. Рассчитать для всех режимов работы цепи отношения линейных и фазных токов и записать данные в таблицу. Убедиться, что при симметричной нагрузке $I_L = \sqrt{3}I_\phi$ и геометрическая сумма линейных токов равна нулю.

2. Для каждого режима работы построить в масштабе векторные диаграммы.

Векторная диаграмма строится следующим образом:

- выбираем масштаб напряжения $M_u = \dots$ В/см и тока $M_i = \dots$ А/см;
- откладываем в масштабе вектора фазных напряжений U_{ab} , U_{bc} ,

U_{ca} под углом 120° друг относительно друга;

в) строим векторы фазных токов I_{ab} , I_{bc} , I_{ca} , которые повернуты относительно векторов соответствующих напряжений U_a , U_b , U_c на углы сдвига фаз ϕ_{ab} , ϕ_{bc} , ϕ_{ca} (при этом необходимо учитывать, что сдвиг фаз на активном сопротивлении $\phi_k = 0^\circ$, на индуктивности $\phi_L = +90^\circ$, на емкости $\phi_C = -90^\circ$).

Соединив концы фазных векторов, получим вектора линейных токов I_A , I_B , I_C в выбранном масштабе (это следует из формул 6.3-6.5).

Пример для случая симметричной активной нагрузки показан на рис. 6.4. Остальные строятся аналогично.

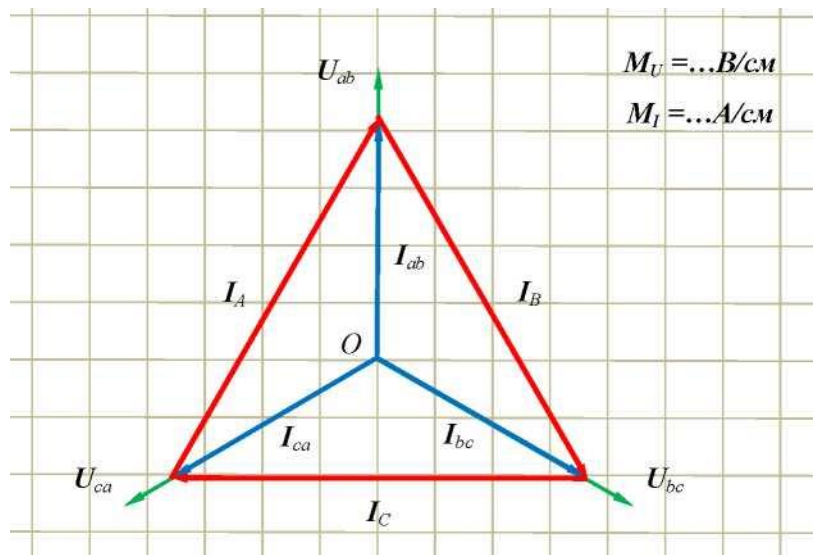


Рис. 6.4. Векторная диаграмма для случая симметричной активной нагрузки

3. Ответить на контрольные вопросы.
4. Оформить отчет в соответствии с методическими указаниями и предоставить для защиты преподавателю.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №7

Тема: Исследование соединения вторичных обмоток трехфазного источника, соединенного звездой и треугольником.

Исследование трехфазной цепи при соединении приемника энергии звездой

Цель работы: Исследование симметричных и несимметричных режимов работы трехфазной цепи при соединении приемников электрической энергии «звездой» и «треугольником».

Домашнее задание

1. Дайте определение трехфазной системы синусоидального тока.
2. Поясните преимущества трехфазной системы синусоидального тока в сравнении с однофазной системой.
3. Укажите способы соединения потребителей в трехфазной системе.
4. Объясните назначение нейтрального провода и поясните, почему в этот провод не включаются разъединители и предохранители.
5. Каково соотношение между фазными и линейными напряжениями и токами при соединении потребителей электроэнергии «звездой» и «треугольником»?

Краткие теоретические сведения

В современных условиях электрическая энергия вырабатывается преимущественно источниками энергии с трехфазной системой напряжений. Такие источники широко применяют в технике. Объясняется это тем, что трехфазная система переменного тока является наиболее экономичной.

К источникам трехфазного напряжения относятся промышленная трехфазная сеть частотой 50 Гц , вторичные обмотки трехфазных трансформаторов, синхронные генераторы.

Принцип действия синхронного генератора основан на явлении электромагнитной индукции. На неподвижной части синхронного генератора (статоре), в пазах тела статора, размещаются проводники трех фазных обмоток таким образом, чтобы положительные оси обмоток были смещены в пространстве относительно друг друга на угол 120 электрических градусов. При вращении ротора (индуктора) синхронного генератора, изготовленного в виде электромагнита постоянного тока, в обмотках будут индуцироваться три фазных ЭДС,

сдвинутые относительно друг друга на угол 120 электрических градусов, то есть угол $(2\pi/3)$:

$$e_A = E_m \sin(\omega t),$$

$$e_B = E_m \sin(\omega t - \frac{2\pi}{3}),$$

$$e_C = E_m \sin(\omega t + \frac{2\pi}{3}).$$

В трехфазной цепи нагрузку соединяют по схемам звезда или треугольник. При соединении нагрузки «звездой» концы всех трех фаз нагрузки объединяют в общую точку n' , называемую *нулевой точкой нагрузки*, а начала фаз подсоединяют к трехфазному источнику питания посредством линейных проводов (рис. 1). Токи, протекающие в линейных проводах, называются *линейными токами*, а протекающие по фазам нагрузки соответственно – *фазными*.

В четырехпроводной трехфазной цепи используется четвертый – нейтральный провод, соединяющий общие точки фаз генератора N и нагрузки n' .

При рассмотрении трехфазной цепи будем исходить из предположения, что трехфазный источник является симметричным, то есть фазные и соответственно линейные напряжения равны между собой и сдвинуты по фазе относительно друг друга на угол $2\pi/3$.

Тогда, трехфазную цепь можно считать симметричной, когда комплексные сопротивления фаз нагрузки будут между собой равны, то есть выполняется условие:

$$\underline{Z}_a = \underline{Z}_b = \underline{Z}_c,$$

что равносильно выполнению равенств активных $R_a = R_b = R_c$ и реактивных $X_a = X_b = X_c$ сопротивлений нагрузки. Если условие не выполняется, то нагрузка является несимметричной и трехфазная цепь также является несимметричной.

При соединении трехфазной цепи «звездой» линейный ток равен фазному току, а линейное напряжение равно разности фазных напряжений, например, $\underline{U}_{AB} = \underline{U}_A - \underline{U}_B$.

В частном случае, когда трехфазная цепь симметрична, соотношение между линейными напряжениями $U_{AB} = U_{BC} = U_{CA} = U_L$ и фазными напряжениями $U_A = U_B = U_C = U_{\hat{O}}$ принимает вид:

$$U_L = \sqrt{3} U_\Phi.$$

При соединении трехфазной цепи «треугольником» линейное напряжение равно фазному напряжению, а линейный ток равен разности фазных токов, например, $\underline{I}_{AB} = \underline{I}_A - \underline{I}_B$. В частном случае, когда трехфазная цепь симметрична, соотношение между токами в линейных проводах $I_A = I_B = I_C = I_L$ и фазными токами $I_{AB} = I_{BC} = I_{CA} = I_\Phi$ принимает вид:

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

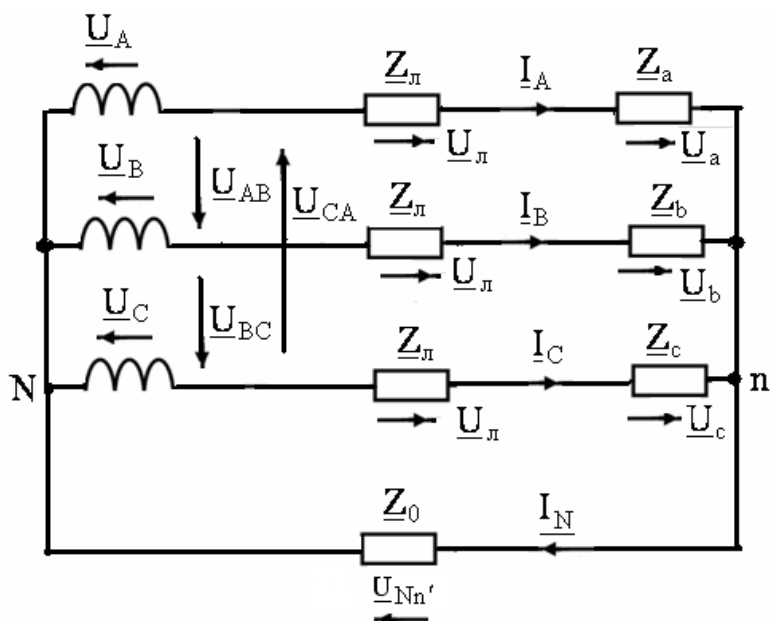


Рис. 1

В большинстве практических случаев трехфазные приемники электрической энергии представляют собой симметричную нагрузку, подключенную к симметричному трехфазному источнику питания. Векторная диаграмма симметричной трехфазной цепи при активном характере нагрузки, соединенной «звездой», приведена на рисунке 2.

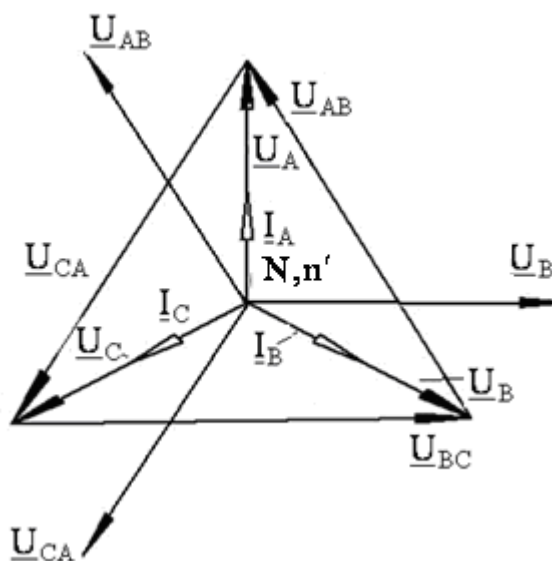


Рис. 2

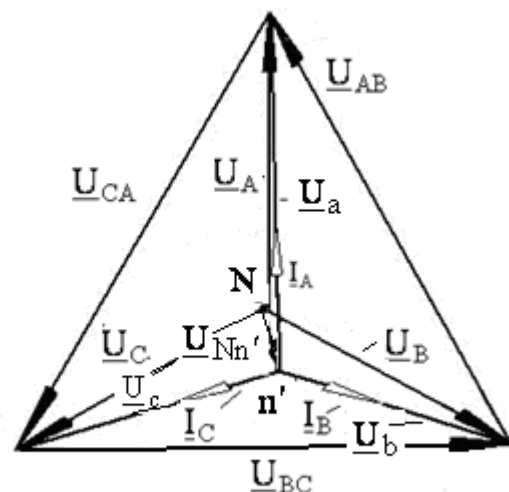


Рис. 3

В трехфазных цепях с нулевым проводом при несимметричной нагрузке протекает ток в нулевом проводе:

$$\underline{I}_A + \underline{I}_B + \underline{I}_C = \underline{I}_N \neq 0.$$

При этом напряжения фаз нагрузки остаются практически симметричными и напряжение между нулевыми точками генератора и нагрузки, называемое *напряжением смещения нейтрали*, ($\underline{U}_{Nn'} = 0$).

При отсутствии или обрыве нейтрального провода токи и напряжения в нагрузке образуют несимметричные системы векторов. При этом напряжение смещения нейтрали $\underline{U}_{Nn'} \neq 0$. Фазные напряжения нагрузки оказываются не равными друг другу: на одних фазах может быть пониженное напряжение по сравнению с фазными напряжениями генератора, а на других – повышенное. Векторная диаграмма трехфазной цепи при отсутствии нулевого провода и несимметричной активной нагрузки, соединенной звездой, приведена на рисунке 3.

Короткое замыкание одной фазы нагрузки, соединенной «звездой» без нулевого провода, следует рассматривать как частный случай несимметричной нагрузки, при котором напряжение на короткозамкнутой фазе нагрузки становится равным нулю, а напряжение на двух других фазах увеличивается до значений, равных линейным напряжениям генератора.

При обрыве линейного провода трехфазный потребитель находится под линейным напряжением, так как при этом ни одна из точек нагрузки не будет под потенциалом оборванного линейного провода.

Соединение, при котором конец первой фазы x соединяется с началом второй фазы b , конец второй y – с началом третьей c , а конец третьей – z с началом первой a называется соединением трехфазного потребителя электрической энергии «треугольником». При этом начала всех фаз потребителя присоединяют к трехфазному источнику с помощью линейных проводов (рис. 4).

При соединении трехфазной цепи треугольником линейное напряжение равно фазному напряжению $\underline{U}_\phi = \underline{U}_\Delta$, а линейный ток равен разности фазных токов, например, на основании первого закона Кирхгофа для узла a :

$$\underline{I}_A = \underline{I}_{ab} - \underline{I}_{ca}.$$

Углы сдвига по фазе между векторами фазных напряжений $\underline{U}_{AB}, \underline{U}_{BC}, \underline{U}_{CA}$ и соответствующих фазных токов $\underline{I}_{ab}, \underline{I}_{bc}, \underline{I}_{ca}$ определяются фазными сопротивлениями потребителя:

$$\varphi_{ab} = \frac{X_{ab}}{R_{ab}}, \quad \varphi_{bc} = \frac{X_{bc}}{R_{bc}}, \quad \varphi_{ca} = \frac{X_{ca}}{R_{ca}}.$$

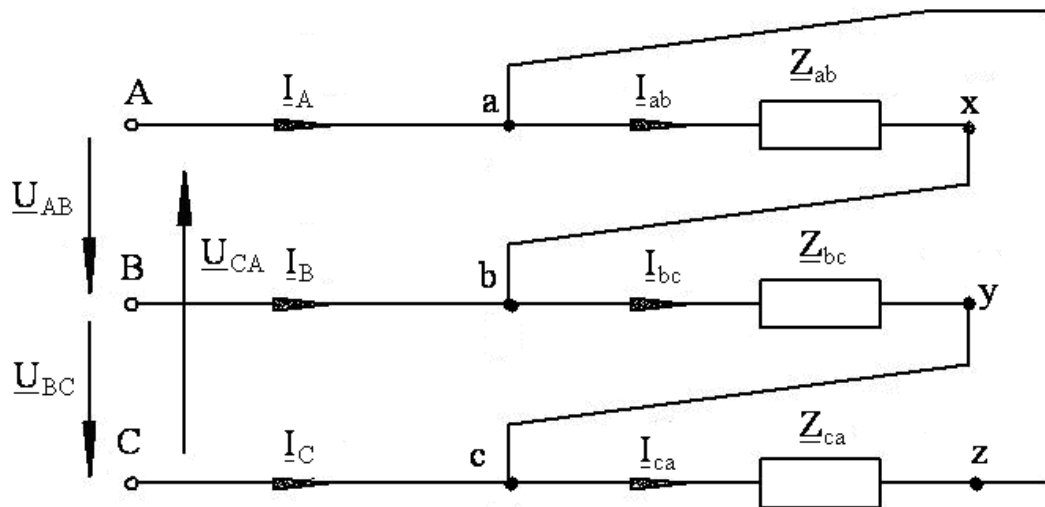


Рис. 4

При симметричной нагрузке комплексные сопротивления всех трех фаз одинаковы, то есть $Z_{ab} = Z_{bc} = Z_{ca}$. При этом как активные, так и реактивные сопротивления фаз потребителя равны

$$R_{ab} = R_{bc} = R_{ca}, \quad X_{ab} = X_{bc} = X_{ca},$$

причем реактивные сопротивления имеют одинаковый (индуктивный или емкостный) характер. В этом случае фазные токи и

соответствующие углы сдвига по фазе между фазными напряжениями и фазными токами будут равны между собой:

$$\underline{I}_{ab} = \underline{I}_{bc} = \underline{I}_{ca}, \quad \varphi_{ab} = \varphi_{bc} = \varphi_{ca}.$$

Таким образом, при соединении трехфазного потребителя электроэнергии «треугольником» при симметричной нагрузке токи всех трех фаз равны между собой и сдвинуты относительно соответствующих линейных напряжений на одинаковые углы. Из векторной диаграммы для симметричной нагрузки при соединении потребителя «треугольником», представленной на рисунке 5, видно, что линейные токи оказываются равными и сдвинутыми относительно друг друга по фазе на угол $2\pi/3$. При этом между фазными и линейными токами существует соотношение

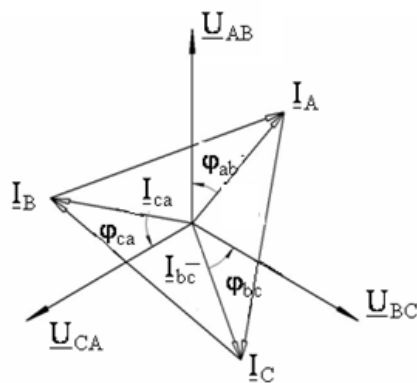


Рис. 5

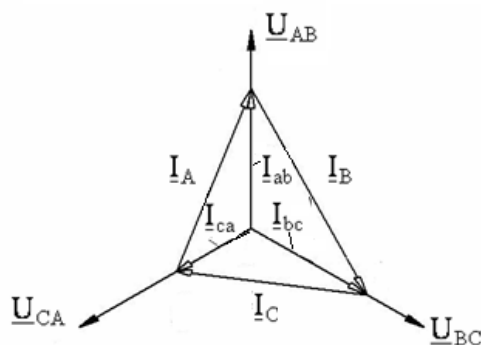


Рис. 6

При несимметричной нагрузке фазные токи и углы сдвига по фазе между фазными токами и фазными напряжениями в общем случае не одинаковы. Так же, как и при симметричной нагрузке, они могут быть определены по соответствующим формулам. Линейные токи и в этом случае определяются через соответствующие фазные токи. Векторная диаграмма, построенная для случая несимметричной активной нагрузки трехфазного потребителя при соединении «треугольником», представлена на рисунке 6.

Отключение нагрузки одной из фаз следует рассматривать как частный случай несимметричной нагрузки, когда сопротивление отключенной фазы равно бесконечности, например, $Z_{ab} = \infty$. В этом случае векторная диаграмма приобретает вид, представленный на рисунке 7.

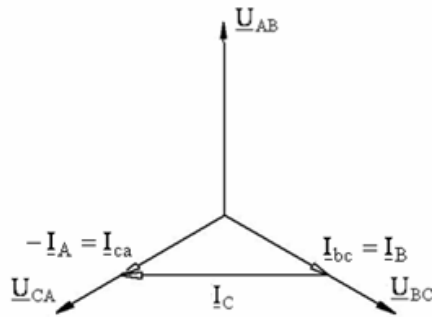


Рис. 7

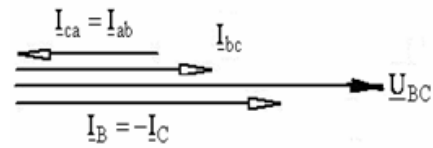


Рис. 8

При обрыве линейного провода в цепи трехфазного потребителя, соединенного «треугольником», следует рассматривать его как потребителя, подключенного к однофазному источнику \underline{U}_{BC} . Векторная диаграмма токов и напряжений для этого случая представлена на рисунке 8.

Активная мощность трехфазного потребителя определяется в виде суммы активных мощностей его фаз:

при соединении «звездой»:

$$P = P_A + P_B + P_C = U_a I_A \cos \varphi_a + U_b I_B \cos \varphi_b + U_c I_C \cos \varphi_c$$

при соединении «треугольником»:

$$P = P_{ab} + P_{bc} + P_{ca} = U_{AB} I_{ab} \cos \varphi_{ab} + U_{BC} I_{bc} \cos \varphi_{bc} + U_{CA} I_{ca} \cos \varphi_{ca}.$$

При симметричной нагрузке фазные напряжения, токи и углы сдвига фаз оказываются равными. Вследствие этого равны также и активные мощности всех трех фаз потребителя электроэнергии.

Активная мощность трехфазного потребителя независимо от схемы его соединения может быть найдена через линейные токи и напряжения:

$$P = 3P_\phi = 3U_\phi I_\phi \cos \varphi_\phi \text{ или } P = \sqrt{3}U_L I_L \cos \varphi_\phi.$$

Аналогично можно получить формулу для реактивной мощности трехфазного потребителя при симметричной нагрузке:

$$Q = 3Q_\phi = 3U_\phi I_\phi \sin \varphi_\phi \text{ или } Q = \sqrt{3}U_L I_L \sin \varphi_\phi.$$

Полная мощность трехфазного потребителя при симметричной нагрузке:

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} = 3U_\phi I_\phi \text{ или } S = \sqrt{3}U_L I_L.$$

Описание лабораторного стенда и рабочее задание

1. Ознакомиться с составом съемной панели (рис. 9) лабораторного стенда для исследования трехфазной трехпроводной и четырехпроводной электрической цепи при соединении нагрузки «звездой» и «треугольником».

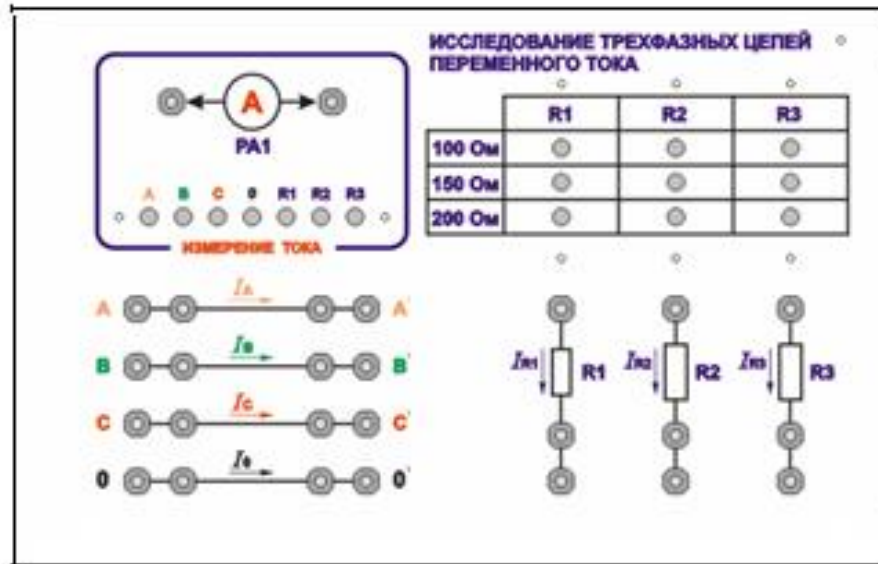


Рис. 9

В состав съемной панели входят:

- три резистора, каждый из которых с помощью кнопочного переключателя может принимать значения сопротивления 100 Ом , 150 Ом и 200 Ом ;
 - четыре группы гнезд, имитирующих подводящие линейные провода $A-A'$, $B-B'$, $C-C'$ и нейтральный провод $0-0'$;
 - кнопочный переключатель, включающий миллиамперметр $PA1$ в разрыв исследуемой цепи.
2. Собрать электрическую цепь звездой (рис. 1) по монтажной схеме, приведенной на рис. 10. Изменяя сопротивление переменных резисторов в фазах электрической цепи, измерить амперметром $PA1$ значения линейных токов I_L , а также вольтметром $PV1$ значения фазных U_ϕ и линейных U_L напряжений, записав полученные значения в таблицу 1 для различных режимов работы цепи:
- симметричная нагрузка фаз;
 - несимметричная нагрузка с нейтральным проводом и без него;

- обрыв линейного провода с нейтральным проводом и без него;
- короткое замыкание фазы без нейтрального провода.

Исходные данные для выбора сопротивлений отдельных фаз и аварийная фаза в эксперименте определяются по указанию преподавателя.

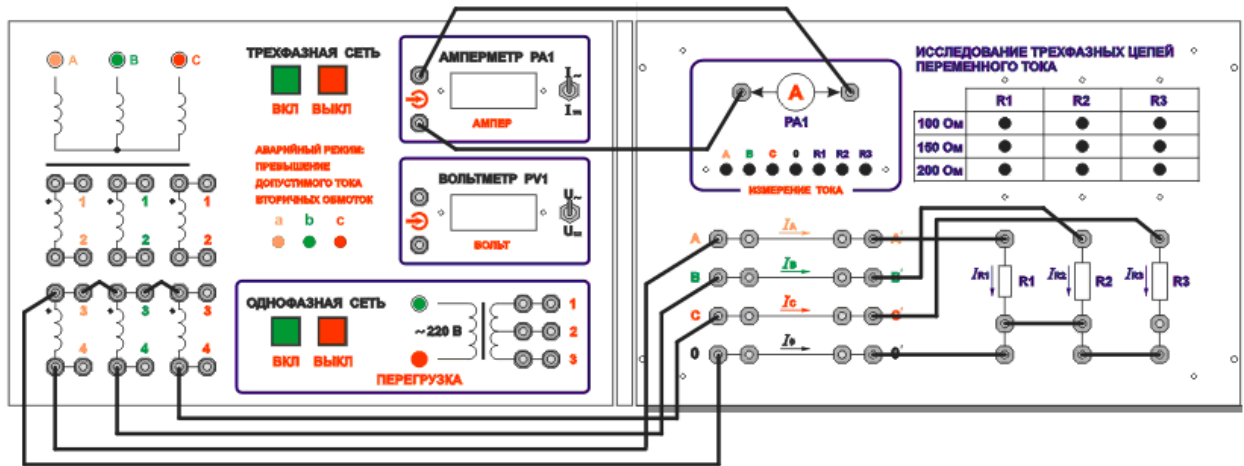


Рис. 10

- По данным измерений пункта 2 рабочего задания построить векторные диаграммы токов I и напряжений U при симметричном и несимметричном режимах работы цепи по указанию преподавателя.
- Обработать результаты измерений пункта 2 рабочего задания, определив соотношения между фазными U_ϕ и линейными U_ℓ значениями напряжений для симметричных и несимметричных режимов работы цепи по указанию преподавателя и подсчитав мощности отдельных фаз $P_\phi = I_\phi U_\phi$ и общую мощность $P = \sum P_\phi$.
- Собрать электрическую цепь «треугольником» (рис. 4) по монтажной схеме (рис. 11). Изменяя сопротивление переменных резисторов в фазах, измерить амперметром $PA1$ значения линейных I_ℓ и фазных I_ϕ токов, а вольтметром $PV1$ значения линейных U_ℓ напряжений для различных режимов работы цепи:
 - симметричная нагрузка фаз;
 - несимметричная нагрузка;
 - обрыв фазы;
 - обрыв линейного провода.

Результаты измерений занести в таблицу 2. Исходные данные для выбора сопротивлений отдельных фаз, обрыв фазного и линейного проводов в эксперименте определяются по указанию преподавателя.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №8

Тема: Исследование аварийных режимов трехфазного приемника, соединенного звездой
Исследование трехфазной цепи при соединении приемника энергии треугольником

Цель работы: выявить особенности трехфазных систем при соединении фаз приемников электроэнергии звездой.

Средства обучения:

- курс лекций по дисциплине «Электротехника и электроника»;
- методические рекомендации к лабораторной работе;
- дидактический материал для выполнения лабораторных работ в условиях лаборатории ТЭЦОЭ-1-С-К с применением программы LabVIEW;
- оборудование:
 - лабораторное оборудование ТЭЦОЭ1-С-К
 - ПЭВМ ;
 - прикладная программа LabVIEW .

Теоретическое обоснование

Для электроснабжения и питания различных приёмников электрической энергии на предприятии ПАО «Северсталь» используются трёхфазные сети. Обмотки трёхфазных генераторов, трансформаторов и электродвигателей, а также однофазные приемники электрической энергии при их подключении к трехфазной сети соединяются двумя способами: «звездой» или «треугольником». Эти схемы подключения отличаются друг от друга и несут на себе разные токовые нагрузки. Неправильный выбор схемы соединения потребителей может привести к выходу их из строя во время работы, поэтому изучение особенностей трехфазных систем при соединении фаз приемников электроэнергии звездой и треугольником очень важен для будущих специалистов - электриков.

Необходимо так же учитывать, что одним из опасных производственных факторов при работе с электроустановками является электрический ток. Тяжесть поражения электрическим током зависит от схемы включения человека в сеть. В сетях трехфазного переменного тока включение человека в цепь тока может быть двухфазным, когда человек прикасается одновременно к двум фазам, и однофазным, если прикосновение имеет место к одной фазе.

Соединение однофазных приемников электроэнергии (или фаз трёхфазных приёмников), когда условные концы приемников соединяют в одну общую (нейтральную) точку O' , а условные начала присоединяют линейными проводами к фазам А, В и С источника трехфазного напряжения называется соединением «звездой». Схема соединения однофазных

приемников «звездой» при присоединении к источнику трёхфазного напряжения приведена на рисунке 1.

В том случае, если нейтральная точка (O') приемников связана с нейтральной точкой источника (O) проводом, который называется нулевым или нейтральным (на рисунке он показан пунктиром), соединения называют «звездой с нейтральным проводом».

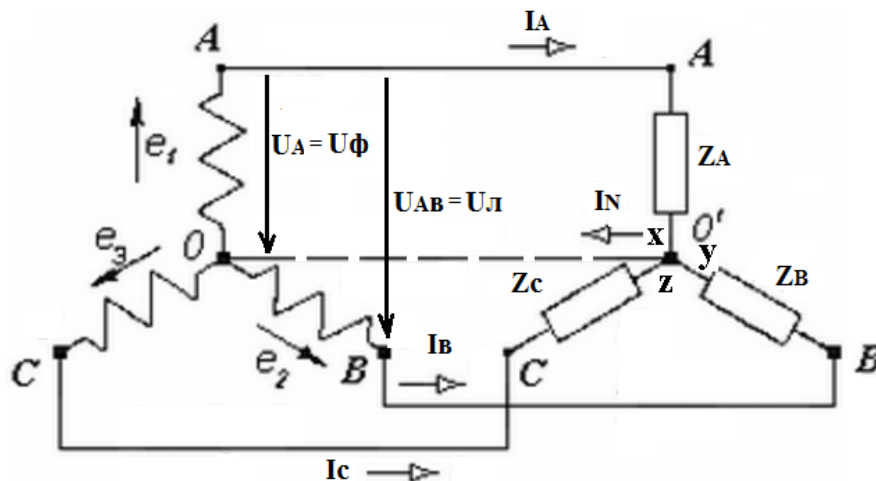


Рисунок 1 – Схема соединения однофазных приемников «звездой с нейтральным проводом»

Полные сопротивления фаз приемников (Z_{Φ}) на схеме обозначены Z_A ; Z_C ; Z_B .

При соединении однофазных приемников «звездой» или «звездой с нейтральным проводом» (в последующих пояснениях обе схемы будут обобщенно называться «соединения звездой») фазные напряжения (U_A , U_B , U_C , U_{Φ}) не равны линейным напряжениям (U_L , U_{AB} , U_{BC} , U_{CA}). Эти напряжения связаны между собой векторными уравнениями (1), (2), (3) и выражением (4):

$$(1) \quad \overline{U_{AB}} = \overline{U_A} - \overline{U_B},$$

$$(2) \quad \overline{U_{BC}} = \overline{U_B} - \overline{U_C},$$

$$(3) \quad \overline{U_{AC}} = \overline{U_A} - \overline{U_C},$$

$$U_L = \sqrt{3} * U_\Phi, \quad (4)$$

При включении потребителей в трёхфазную сеть различают симметричную нагрузку фаз (когда равны между собой по отдельности активные и реактивные сопротивления фаз) и несимметричную (когда данные условия не выполняются).

При обоих видах нагрузки линейные токи (I_L) равны соответствующим фазным токам (I_Φ), т.е.:

$$I_L = I_\Phi, \quad (5)$$

Фазный ток зависит от фазного напряжения U_Φ на зажимах приемника и его полного сопротивления Z_Φ , что отражено в формуле:

$$I_\Phi = U_\Phi / Z_\Phi, \quad (6)$$

где Z_Φ - фазное полное сопротивление, Ом.

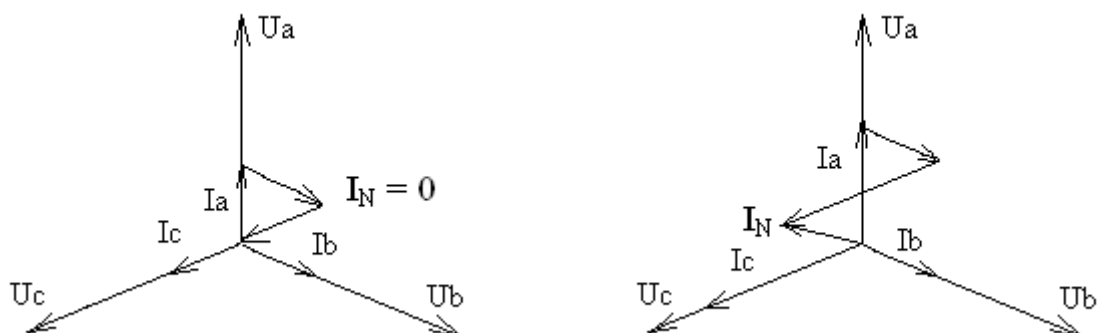
В случае симметричной нагрузки, токи в фазах равны между собой и сдвинуты по фазе на один и тот же угол относительно соответствующих фазных напряжений, т.е. справедливо равенство:

$$I_A = I_B = I_C = I_\Phi, \quad (7)$$

где I_A, I_B, I_C – токи в фазах А, В, С, соответственно, А.

При несимметричной нагрузке равенство (7) не выполняется.

Векторная диаграмма напряжений и токов при симметричной активной нагрузке будет иметь вид, приведенный на рисунке 2а):



а) симметричная нагрузка

б) несимметричная нагрузка

Рисунок 2 – Векторная диаграмма напряжений и токов

В соответствии с первым законом Кирхгофа (руководствуясь схемой на рисунке 1), для нейтральной точки О' можно записать выражение:

$$\overline{I_A} + \overline{I_B} + \overline{I_C} = \overline{I_N}, \quad (8)$$

где I_N - ток в нейтральном проводе, А.

Из геометрического построения, приведенного на рисунке 2а), следует, что векторная сумма фазных токов равна нулю, т.е.:

$$\overline{I_A} + \overline{I_B} + \overline{I_C} = \overline{I_N} = 0, \quad (9)$$

Из равенства (9) следует, что при симметричной нагрузке в нейтральном проводе нет необходимости.

При несимметричной нагрузке в нейтральном проводе возникает ток, который можно определить графически, исходя из уравнения (8).

Векторная диаграмма напряжений и токов при несимметричной активной нагрузке и наличии нейтрального провода, и векторная сумма токов приведена на рисунке 2б).

Исходя из векторной суммы, приведенной на рисунке 2б), можно записать выражение:

$$\overline{I_A} + \overline{I_B} + \overline{I_C} = \overline{I_N} \neq 0, \quad (10)$$

Мощности, развиваемые в каждой фазе, определяются по формуле:

$$P_{\phi} = U_{\phi} \cdot I_{\phi} \cdot \cos \varphi, \quad (11)$$

где $\cos \varphi$ - угол сдвига фаз между током и напряжением в фазе (в случае активной нагрузки $\cos \varphi = 1$).

Мощность всей трехфазной системы (Р) определяется по формуле:

$$P = P_A + P_B + P_C, \quad (12)$$

где P_A , P_B , P_C - мощности в фазах А, В, С соответственно, Вт.

При симметричной нагрузке можно использовать формулу:

$$P=3 \cdot P_{\phi},$$

(13)

Задание

Исследовать трехфазную цепь при соединении приемников электроэнергии звездой при симметричной и несимметричной нагрузке при наличии и отсутствии нейтрального провода.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №9

Тема: Исследование линейных и нелинейных элементов электрической цепи

1. Цель работы

Убедиться в соблюдении и ознакомиться с применением законов Ома и Кирхгофа для расчета разветвленной линейной цепи и простейшей нелинейной цепи при постоянных токах.

2. Описание лабораторной установки

Лабораторная работа связана с изучением и сравнительным анализом двух электрических цепей, одна из которых является линейной другая нелинейной. Цепи содержат резисторы и лампу накаливания. Подключаются к регулируемому источнику постоянного напряжения. Для идентификации электрического состояния цепей используются шкальные измерительные приборы: вольтметры и амперметры.

3. Расчетное задание

Для электрической цепи, чья схема приведена ниже данного абзаца, рассчитать все токи и падения напряжения (I_1 , I_2 , I_3 , U_1 , U_2 , U_3). Параметры элементов: $R_1 = 50$ Ом, $R_2 = 100$ Ом, $R_3 = 150$ Ом. Электродвижущую силу следует выбрать в соответствии с вариантом и вашим порядковым номером в подгруппе (член подгруппы рассчитывает состояние цепи для соответствующего опыта, см. табл. 1).

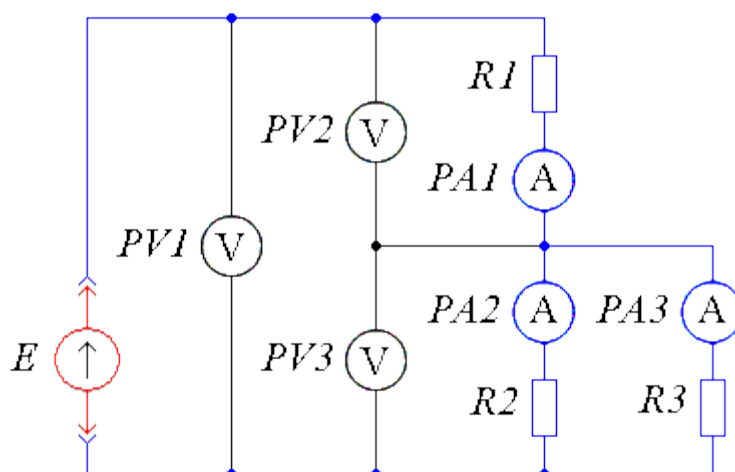


Таблица 1

Вариант	1	2	3	4	5	6
опыт №1: E, [В]	145	135	115	140	125	120
опыт №2: E, [В]	130	110	100	110	95	90
опыт №3: E, [В]	105	75	85	80	70	65

4. Экспериментальная часть

4.1. Исследование линейной электрической цепи.

В ходе экспериментов с линейной цепью нужно заполнить секцию "Измерено" таблицы 2. Для этого нужно выполнить три опыта. Сценарий каждого опыта одинаков. Воспользуйтесь контекстным меню в отношении элементов интерактивного чертежа приведенного ниже данного абзаца. Установите величину ЭДС регулируемого источника питания в соответствии с вариантом (см. табл. 1). Результаты измерений занесите в таблицу 2.

Таблица 2

опыт	Измерено						Вычислено			
	$E, [B]$	$U_{R1}, [B]$	$U_{R2R3}, [B]$	$I_1, [A]$	$I_2, [A]$	$I_3, [A]$	$R1, [Om]$	$R2, [Om]$	$R3, [Om]$	$R_{э\kappa\beta}, [Om]$
1										
2										
3										

4.2. Исследование нелинейной электрической цепи.

В ходе экспериментов с нелинейной цепью (схема с лампой) нужно заполнить секцию "Измерено" таблицы 3. Фактически требуется снять вольтамперные характеристики элементов $I(U_R)$, $I(U_L)$ и всей цепи $I(U)$. Для этого нужно менять величину ЭДС регулируемого источника питания в соответствии с рекомендуемыми в таблице 3 значениями, и запускать модель. Показания приборов следует занести в таблицу 3.

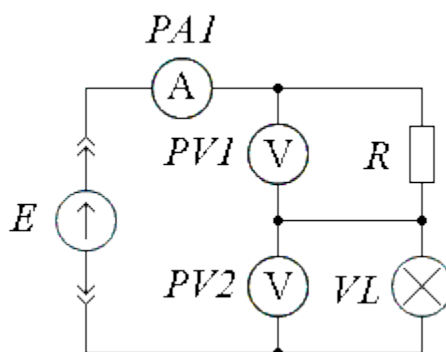


Схема с лампой

Таблица 3

Измерено									
$E, [B]$	0	5	10	15	35	50	70	100	135

U_R , [В]									
U_L , [В]									
I , [А]									
Вычислено									
R , [Ом]									
R_L , [Ом]									
$R_{\text{экв}}$, [Ом]									

5. Обработка результатов эксперимента

5.1. Заполните секции "Вычислено" таблиц 2 и 3. Приведите соответствующие расчетные формулы.

5.2. По результатам измерений п.4.1 постройте в одной координатной системе вольтамперные характеристики элементов R_1 , R_2 , R_3 , и, пользуясь ими, (пользуясь ими — это значит графически) решите задачу построения вольтамперной характеристики всей цепи. По ней определите эквивалентное сопротивление цепи $R_{\text{экв}}$ и сравните его со значением в табл. 2.

5.3. По результатам измерений п.4.2 постройте в одной системе координат вольтамперные характеристики резистора R_1 и лампы накаливания V_L , и, пользуясь ими, — вольтамперную характеристику нелинейной цепи. На эту последнюю, нанесите точки экспериментальной кривой $I(U)$ для проверки графического решения.

5.4. По результатам эксперимента с нелинейной цепью, постройте зависимости величин сопротивлений лампы накаливания и резистора от тока.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №10

Тема: Исследование работы полупроводникового диода. Исследование входных и выходных характеристик биполярного транзистора.

Цель: Изучение характеристик и параметров биполярного транзистора, включённого по схеме с общим эмиттером.

Оборудование: Лабораторный стенд, транзистор, потенциометр 10 кОм, потенциометр 150 Ом, резистор 10 кОм, резистор 150 Ом, соединительные провода.

Ход работы.

1) Собрать цепь для снятия статической характеристики прямой передачи по току $I_K = f(I_B)$ биполярного транзистора при $R_K = 0$ и $U_K = 1В = \text{const}$. Постоянное напряжение на коллекторе поддерживать с помощью потенциометра 150 Ом. Для измерения тока базы включить миллиамперметр на 1 мА, коллектора – на 100 мА. Ток базы регулировать с помощью потенциометра 10 кОм. Для измерения напряжения на коллекторе использовать мультиметр. Результаты измерений занести в таблицу 1.

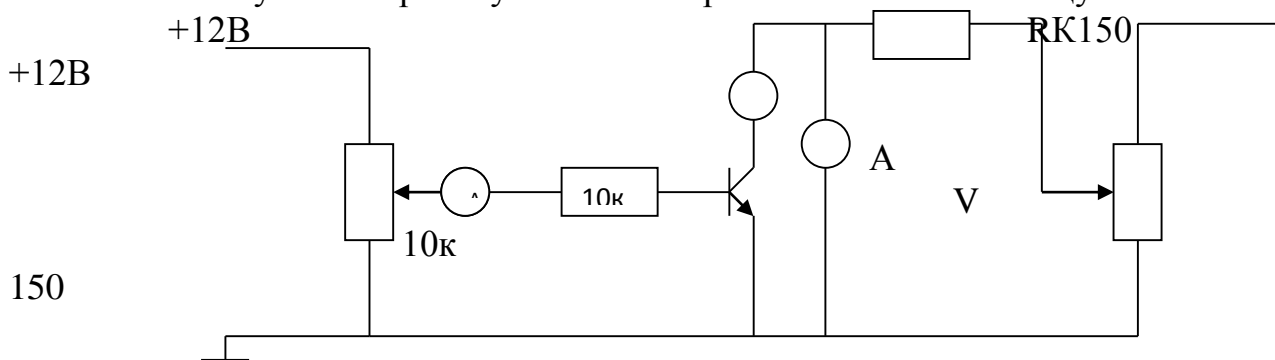


Таблица 1.

I_B , мА	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7
I_K , мА								

2) Снять характеристику прямой передачи по току $I_K = f(I_B)$ при сопротивлении нагрузки $R_K = 150 \text{ Ом}$. С помощью потенциометра 10 кОм установить $I_B = 0$. С помощью потенциометра 150 Ом установить $U_K = 9В$. В дальнейшем ручку регулировки потенциометра 150 Ом не трогать.

Результаты измерений занести в **таблицу 2**:

I_B , мА	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7
I_K , мА				45				

Информационное обеспечение обучения

Печатные и электронные издания

Основные учебные издания:

1. Козлова, И. С. Основы электротехники : учебное пособие для СПО / И. С. Козлова. — Саратов : Научная книга, 2019. — 159 с. — ISBN 978-5-9758-1896-6. — Текст : электронный // Электронный ресурс цифровой образовательной среды СПО PROФобразование : [сайт]. — URL: <https://profspo.ru/books/87079>
2. Сильвашко, С. А. Основы электротехники : учебное пособие для СПО / С. А. Сильвашко. — Саратов : Профобразование, 2020. — 209 с. — ISBN 978-5-4488-0671-1. — Текст : электронный // Электронный ресурс цифровой образовательной среды СПО PROФобразование : [сайт]. — URL: <https://profspo.ru/books/92141> .
3. Горденко, Д. В. Электротехника и электроника : практикум / Д. В. Горденко, В. И. Никулин, Д. Н. Резеньков. — Саратов : Ай Пи Эр Медиа, 2018. — 123 с. — ISBN 978-5-4486-0082-1. — Текст : электронный // Электронный ресурс цифровой образовательной среды СПО PROФобразование : [сайт]. — URL: <https://profspo.ru/books/70291> (дата обращения: 26.08.2020). с.

Дополнительные учебные издания:

4. Плиско, В. Ю. Электротехника. Практикум : учебное пособие / В. Ю. Плиско. — Минск : Республиканский институт профессионального образования (РИПО), 2017. — 84 с. — ISBN 978-985-503-725-6. — Текст : электронный // Электронный ресурс цифровой образовательной среды СПО PROФобразование : [сайт]. — URL: <https://profspo.ru/books/84934>
5. Плиско, В. Ю. Электротехника. Практикум : учебное пособие / В. Ю. Плиско. — 2-е изд. — Минск : Республиканский институт профессионального образования (РИПО), 2020. — 84 с. — ISBN 978- 985-7234-31-8. — Текст : электронный // Электронный ресурс цифровой образовательной среды СПО PROФобразование : [сайт]. — URL: <https://profspo.ru/books/100382>).

Интернет-ресурсы:

6. <http://window.edu.ru/window/catalog> Каталог Российского общеобразовательного портала
7. <http://electricalschool.info/> - Школа для электрика: устройство, монтаж, наладка, эксплуатация ремонт электрооборудования.

8. <http://www.elektroceh.ru/> - Электроцех – сайт для электрика
9. <http://electrono.ru/> - Электротехника
9. <http://bourabai.ru/toe/> - Теоретические основы электротехники и электроники
10. <https://www.electromechanics.ru/> - Электромеханика (информационный портал).

Электронно-библиотечная система:

11. ЭБС «elibrary», ООО «РУНЭБ»
12. ЭБС «IPRbooks», ООО «Ай Пи Ар Медиа»
13. ЭБС «Лань», ООО «Издательство Лань»
14. ЭБС «PROФобразование»
15. ЭБС «Book.ru»