

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Югорский государственный университет» (ЮГУ)
НЕФТЯНОЙ ИНСТИТУТ
**(ФИЛИАЛ) ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ЮГОРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(НефтИн (филиал) ФГБОУ ВО «ЮГУ»)**



ФИЛИАЛ ФГБОУ ВО «ЮГУ»

**НЕФТЯНОЙ
ИНСТИТУТ**

ОП.03 ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

08.00.00 ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ СТРОИТЕЛЬСТВА

специальность 08.02.09 Монтаж, наладка и эксплуатация
электрооборудования промышленных и гражданских зданий

**Методические указания к практическим занятиям
для обучающихся 2 курса очной формы обучения
образовательных организаций
среднего профессионального образования**

Нижневартовск, 2022

РАССМОТРЕНО

На заседании ПЦК «ЭТД»
Протокол № 08 от 28.10.2022 г.
Председатель Ген М.Б.

УТВЕРЖДЕНО

Председателем методического совета
НефтИн (филиала) ФГБОУ ВО «ЮГУ»
Хайбулина Р.И.
«10» ноября 2022 г.

Методические указания к практическим занятиям для обучающихся 2 курса очной формы обучения образовательных организаций среднего профессионального образования по ОП.03 Электротехника специальности 08.02.09 Монтаж, наладка и эксплуатация электрооборудования промышленных и гражданских зданий (08.00.00 ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ СТРОИТЕЛЬСТВА), разработаны в соответствии с:

1. Федеральным государственным образовательным стандартом (далее – ФГОС) по специальности среднего профессионального образования (далее – СПО) 08.02.09 Монтаж, наладка и эксплуатация электрооборудования промышленных и гражданских зданий; утвержденного 23.01.2018 года;

2. Рабочей программой учебной дисциплины ОП.03 Электротехника относящейся к циклу Общепрофессиональных дисциплин, утвержденной на методическом совете НефтИн (филиал) ФГБОУ ВО «ЮГУ» протокол № 4 от 31.08.2022 года.

Разработчик:

Даценко Оксана Владимировна, преподаватель Нефтяного Института (филиала) ФГБОУ ВО «ЮГУ».

Рецензенты:

1. Ген М.Б., преподаватель НефтИн (филиала) ФГБОУ ВО «ЮГУ».
2. Даценко Е.С., начальник ПТО Нижневартовский филиал ООО «РН-Бурение».

Замечания, предложения и пожелания направлять в Нефтяной институт (филиал) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Югорский государственный университет» по адресу: 628615, Тюменская обл., Ханты-Мансийский автономный округ, г. Нижневартовск, ул. Мира, 37.

ВВЕДЕНИЕ

Методические указания к практическим занятиям для обучающихся 2 курса очной формы обучения учебной дисциплины ОП.03 Электротехника относящейся к циклу Общепрофессиональных дисциплин разработаны в соответствии с Федеральным государственным образовательным стандартом (ФГОС) среднего профессионального образования для специальности 08.02.09 Монтаж, наладка и эксплуатация электрооборудования промышленных и гражданских зданий.

Цель методической разработки: закрепление полученных теоретических знаний, приобретение расчетных навыков, развитие навыков самостоятельной работы, формирование технического мышления.

В результате освоения программы учебной дисциплины обучающийся **должен**

уметь:

- выполнять расчёты электрических цепей;
- выбирать электротехнические материалы на основе анализа их свойств для конкретного применения;
- пользоваться приборами и снимать их показания;
- выполнять проверки амперметров, вольтметров и однофазных счётчиков;
- выполнять измерения параметров цепей постоянного и переменного токов.

знать:

- основы теории электрических и магнитных полей;
- методы расчёта цепей постоянного, переменного однофазного и трёхфазного токов;
- методы измерения электрических, не электрических и магнитных величин;
- схемы включения приборов для измерения тока, напряжения, энергии, частоты, сопротивления, изоляции, мощности;
- правила поверки приборов: амперметра, вольтметра, индукционного счётчика;
- классификацию электротехнических материалов, их свойства и область применения.

В результате освоения учебной дисциплины обучающийся должен овладеть **общими компетенциями**, включающими в себя способность:

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 подготовки.

ОК 09. Использовать информационные технологии в профессиональной деятельности.

ОК 10. Пользоваться профессиональной документацией на государственном и иностранном языке.

В результате освоения учебной дисциплины обучающийся должен овладеть **профессиональными компетенциями**, включающими в себя способность:

ПК 1.1 Организовывать и осуществлять эксплуатацию электроустановок промышленных и гражданских зданий.

ПК 1.2 Организовывать и производить работы по выявлению неисправностей электроустановок промышленных и гражданских зданий.

ПК 1.3 Организовывать и производить ремонт электроустановок промышленных и гражданских зданий.

ПК 2.1 Организовывать и производить монтаж силового электрооборудования промышленных и гражданских зданий с соблюдением технологической последовательности.

ПК 2.2 Организовывать и производить монтаж осветительного электрооборудования промышленных и гражданских зданий с соблюдением технологической последовательности.

ПК 2.3 Организовывать и производить наладку и испытания устройств электрооборудования промышленных и гражданских зданий.

ПК 3.2 Организовывать и производить наладку и испытания устройств воздушных и кабельных линий.

ПК 3.3 Организовывать и производить эксплуатацию электрических сетей.

ПК 3.4 Участвовать в проектировании электрических сетей.

ПК 4.1 Организовывать работу производственного подразделения.

ПК 4.2 Контролировать качество выполнения электромонтажных работ.

ОБЩИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ

Приступая к выполнению практических заданий, следует проработать теоретический материал. Для улучшения его освоения необходимо вести конспектирование и после изучения темы ответить на вопросы самоконтроля.

При выполнении практического занятия обучающиеся должны вести записи в специальной тетради для практических работ. В ней отмечается дата, номер и название практического занятия, ее цель, порядок выполнения, схема, результаты измерений и необходимые расчеты, правильно сделанные выводы говорят об усвоении теоретического материала по данной теме. После выполнения работы обучающиеся отвечают на контрольные вопросы.

Защита: устный опрос по контрольным вопросам.

Критерии оценивания: зачет/незачет.

Оценка «зачтено» выставляется, если работа выполнена в полном объеме с соблюдением необходимой последовательности. Обучающийся работает полностью самостоятельно: подбирает и применяет необходимые 4 теоретические знания в практической деятельности. Дает правильные ответы на контрольные вопросы практической работы, делает выводы. Работа оформлена аккуратно, в наиболее оптимальной для фиксации результатов форме.

Оценка «незачтено» ставится за невыполненное задание, или присутствуют существенные ошибки, неисправляемые даже с помощью преподавателя, наблюдается неумение применять знания в практической деятельности.

ТЕМАТИКА ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ

Номер занятия	Наименование темы	Количество аудиторных часов
1	Ознакомление с порядком выполнения работ	2
2	Навыки работы с приборами.	2
3	Проверка закона Ома.	2
4	Последовательного соединения резисторов.	2
5	Параллельного соединения резисторов.	2
6	Расчет потенциалов в неразветвленной электрической цепи.	4
7	Расчет цепи постоянного тока методом эквивалентных сопротивлений.	4
8	Расчет электрических цепей методом узловых напряжений.	4
9	Расчет цепи со смешанным соединением конденсаторов.	4
10	Потери в сердечниках из ферромагнитных материалов.	4

11	Неразветвленная цепь переменного тока с активным сопротивлением, индуктивностью и емкостью.	2
12	Резонансные характеристики цепи с последовательно соединенными элементами R, L, C.	4
13	Расчет неразветвленных цепей переменного тока.	2
14	Разветвленная цепь переменного тока с активным сопротивлением, индуктивностью и емкостью.	4
15	Расчет разветвленных цепей переменного тока	2
16	Трехфазная цепь при соединении потребителей энергии «звездой».	2
17	Трехфазная цепь при соединении потребителей энергии «треугольником».	2
18	Расчет трехфазных цепей	2
	ИТОГО	50

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №1

ОЗНАКОМЛЕНИЕ

С ПОРЯДКОМ ВЫПОЛНЕНИЯ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ

Цель работы:

- Формирование освоения умений и усвоения знаний и овладение профессиональными (ПК) и общими (ОК) компетенциями: У 1-5; 31-6; ПК 1.1 - 1.3; ПК 2.1 – 2.3; ПК 3.2 – 3.4; ПК 4.1, 4.2; ОК01–ОК10.

Общие сведения:

1. К выполнению практических занятий обучающийся может приступить после инструктажа по технике безопасности в лаборатории электроники (о чем обучающийся расписывается в журнале по технике безопасности).

2. Перед выполнением работы необходимо изучить описание и порядок выполнения работы, ознакомиться с аппаратурой и приборами, необходимыми для выполнения работы.

3. Измерительные приборы и аппаратура используются только по их прямому назначению. Обучающиеся несут материальную ответственность за поврежденные по их вине приборы и аппараты.

4. Сборка электрической цепи и любые изменения в ней осуществляются при отключенных источниках электропитания.

5. Работа в лаборатории считается законченной, если:

а) результаты экспериментов в виде таблиц, графиков, записей представлены преподавателю и утверждены им;

б) отключенная цепь после разрешения преподавателя полностью разобрана,

в) рабочее место приведено в порядок.

6. Каждый обучающийся оформляет индивидуальный отчет на основании бригадного протокола работы в полном объеме.

Рекомендуемая литература:

1. Гальперин М. В. Электротехника и электроника: Учебник / Гальперин М.В. - М.: Форум, НИЦ ИНФРА-М, 2019. - 480 с. - (Профессиональное образование) [Электронный ресурс; Режим доступа <http://znanium.com>]
2. Лоторейчук Е. А. Теоретические основы электротехники: Учебник / Е.А. Лоторейчук. - М.: ИД ФОРУМ: НИЦ ИНФРА-М, 2019. - 320 с. [Электронный ресурс; Режим доступа <http://znanium.com>]
3. Немцов М. В. Электротехника и электроника: учебник для студ. учреждений сред. проф. образования – М.: Академия, 2018 – 480 с. [Электронный ресурс; Режим доступа <http://www.academia-moscow.ru>]

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №2

НАВЫКИ РАБОТЫ С ПРИБОРАМИ

Цель работы:

- Формирование освоения умений и усвоения знаний и овладение профессиональными (ПК) и общими (ОК) компетенциями: У 1-5; 31-6; ПК 1.1 - 1.3; ПК 2.1 – 2.3; ПК 3.2 – 3.4; ПК 4.1, 4.2; ОК01–ОК10;

- Изучить схемы включения амперметра, вольтметра и ваттметра.

Теоретические сведения:

На панели стендов установлены одинаковые комбинированные приборы -миллиамперметры, вольтметры, резисторы, конденсаторы. На поверхности стендов - гнезда постоянного тока, переменного тока и гнезда для трехфазных цепей переменного тока.

Ток в цепи измеряют амперметром, который включается последовательно в цепь.

Напряжение в цепи измеряют вольтметром, который подключают параллельно в цепь.

$I_{ном}, U_{ном}, P_{ном}$ - предел измерения амперметра, вольтметра, ваттметра.

N - количество делений всей шкалы.

C_A, C_V, C_W - цена деления амперметра, вольтметра, ваттметра.

Чтобы найти цену деления прибора, надо предел измерения прибора разделить на количество делений всей шкалы. У ваттметров цена деления определена в таблице, на шкале прибора.

n - показание прибора в делениях шкалы

I - показание амперметра в амперах, $I = C_A n$;

U - показание вольтметра в вольтах, $U = C_V n$;

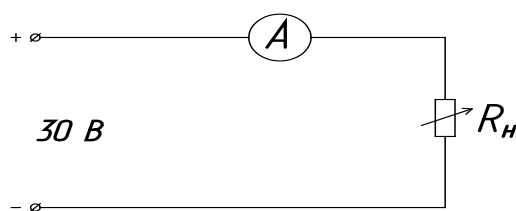
P - показание ваттметра в ваттах, $P = C_W n$.

Порядок выполнения работы:

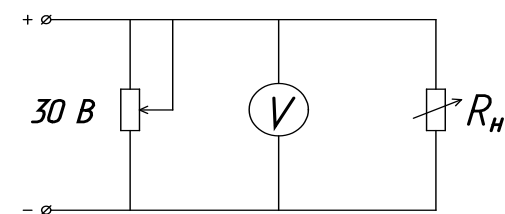
1. Изучить правила техники безопасности в лаборатории.
2. Начертить схемы включения приборов.
3. Определить цену деления приборов.

4. Ответить на контрольные вопросы:
1. Что такое электрический ток?
 2. Дайте определение силы тока. Как обозначается? По какой формуле находится?
 3. Какова единица измерения силы тока?
 4. Каким прибором измеряется сила тока? Как он включается в электрическую цепь?
 5. Дайте определение напряжения. Как обозначается? По какой формуле находится?
 6. Какова единица измерения напряжения?
 7. Каким прибором измеряется напряжение? Как он включается в электрическую цепь?
 8. Дайте определение сопротивления. Как обозначается? По какой формуле находится?
 9. Какова единица измерения сопротивления?
 10. Сформулируйте закон Ома для участка цепи.
5. Сделать вывод по работе.

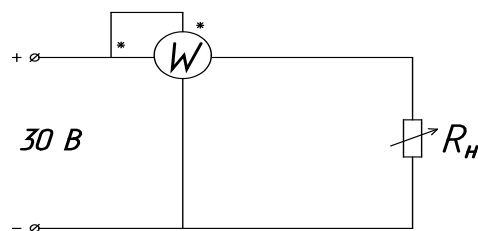
Включение амперметра:



Включение вольтметра:



Включение ваттметра:



ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №3

ПРОВЕРКА ЗАКОНА ОМА

Цель работы:

- Формирование освоения умений и усвоения знаний и овладение профессиональными (ПК) и общими (ОК) компетенциями: У 1-5; 31-6; ПК 1.1 - 1.3; ПК 2.1 – 2.3; ПК 3.2 – 3.4; ПК 4.1, 4.2; ОК01–ОК10;
- Опытным путем убедиться в справедливости закона Ома для участка цепи.

Теоретические сведения:

Электрический ток - упорядоченное движение заряженных частиц.

Количественной мерой электрического тока служит сила тока I .

Сила тока – скалярная физическая величина, равная отношению заряда q , переносимого через поперечное сечение проводника за интервал времени t , к этому интервалу времени:

$$I = \frac{q}{t}$$

В Международной системе единиц СИ сила тока измеряется в амперах [А].

$$[1\text{А}=1\text{Кл}/1\text{с}]$$

Прибор для измерения силы тока Амперметр. Включается в цепь последовательно

Напряжение – это физическая величина, характеризующая действие электрического поля на заряженные частицы, численно равно работе электрического поля по перемещению заряда из точки с потенциалом φ_1 в точку с потенциалом φ_2

$$U = \frac{A}{q}$$

$$U_{12} = \varphi_1 - \varphi_2$$

U – напряжение

A – работа тока

q – электрический заряд

Единица напряжения – Вольт [В] [1В=1Дж/1Кл]

Прибор для измерения напряжения – Вольтметр. Подключается в цепь параллельно тому участку цепи, на котором измеряется разность потенциалов.

Величина, характеризующая противодействие электрическому току в проводнике, которое обусловлено внутренним строением проводника и хаотическим движением его частиц, называется *электрическим сопротивлением* проводника.

Электрическое сопротивление проводника зависит от размеров и формы проводника и от материала, из которого изготовлен проводник.

$$R = \rho \frac{l}{S}$$

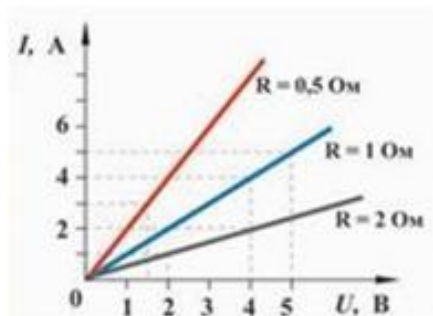
S – площадь поперечного сечения проводника

l – длина проводника

ρ – удельное сопротивление проводника

В СИ единицей электрического сопротивления проводников служит Ом [Ом].

Графическая зависимость силы тока I от напряжения U - *вольт-амперная характеристика*



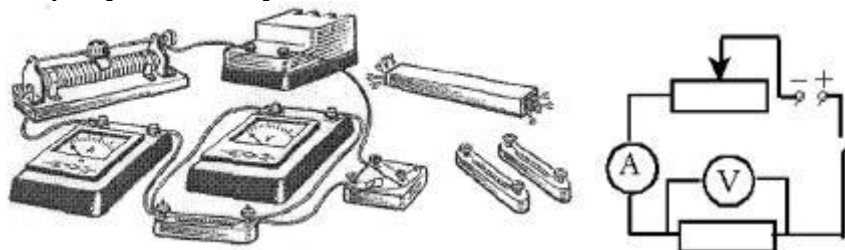
Закон Ома для однородного участка цепи: сила тока в проводнике прямо пропорциональна приложенному напряжению и обратно пропорциональна сопротивлению проводника.

$$I = \frac{U}{R}$$

Назван в честь его первооткрывателя **Георга Ома**.

Порядок выполнения работы:

1. Для выполнения работы соберите электрическую цепь из источника тока, амперметра, реостата, проволочного резистора сопротивлением 50 Ом и ключа. Параллельно проволочному резистору присоедините вольтметр (см. схему). Зарисуйте схему.



2. **Опыт 1.** Исследование зависимости силы тока от напряжения на данном участке цепи. Включите ток. При помощи реостата доведите напряжение на зажимах проволочного резистора до 3 В, затем до 6 В и до 9 В. Каждый раз при этом измеряйте силу тока и результаты записывайте в таблицу 3.1. Сопротивление участка 50 Ом.

Таблица 3.1

Напряжение, В	3	6	9
Сила тока, А			

3. По данным опыта постройте график зависимости силы тока от напряжения.

4. **Опыт 2.** Исследование зависимости силы тока от сопротивления участка цепи при постоянном напряжении на его концах. Включите в цепь по той же схеме проволочный резистор сначала сопротивлением 50 Ом, затем 100 Ом и 150 Ом. При помощи реостата устанавливайте на концах участка каждый раз одно и то же напряжение, например, 9 В. Измеряйте при этом силу тока, результаты записывайте в таблицу 3.2. Постоянное напряжение на участке 9 В.

Таблица 3.2

Сопротивление участка, Ом	50	100	150
Сила тока, А			

5. По данным опыта 2 постройте график зависимости силы тока от сопротивления.

6. Сделайте вывод.

7. Для защиты работы знать ответы на контрольные вопросы.

Контрольные вопросы:

1. Что такое электрический ток?
2. Дайте определение силы тока. Как обозначается? По какой формуле находится?
3. Какова единица измерения силы тока?
4. Каким прибором измеряется сила тока? Как он включается в электрическую цепь?
5. Дайте определение напряжения. Как обозначается? По какой формуле находится?
6. Какова единица измерения напряжения?
7. Каким прибором измеряется напряжение? Как он включается в электрическую цепь?
8. Дайте определение сопротивления. Как обозначается? По какой формуле находится?
9. Какова единица измерения сопротивления?
10. Сформулируйте закон Ома для участка цепи.
11. Зависит ли сопротивление проводника от силы тока в нём?
12. Зависит ли сопротивление проводника от напряжения на его концах?
13. Как соотносятся между собой такие физические величины, как сопротивление и электропроводность?

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №4

ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОЕ СОЕДИНЕНИЕ РЕЗИСТОРОВ

Цель работы:

- Формирование освоения умений и усвоения знаний и овладение профессиональными (ПК) и общими (ОК) компетенциями: У 1-5; 31-6; ПК 1.1 - 1.3; ПК 2.1 – 2.3; ПК 3.2 – 3.4; ПК 4.1, 4.2; ОК01–ОК10;

- Практически убедиться в физической сущности закона Ома для участка цепи.

- Изучить соотношение между токами и напряжениями при последовательном соединении резисторов и определить сопротивление электрической цепи.

- Проверить опытным путем второй закон Кирхгофа

Теоретические сведения: если приемники соединены так что по ним проходит один и тот же ток, то такое соединение приемников называется

последовательным. Следовательно, ток на отдельных участках последовательной цепи имеет одинаковое значение: $I_1 = I_2 = I_3 = \dots = I_n$.

Сумма падений напряжений на отдельных участках равна напряжению всей цепи:

$$U = I_1 R_1 + I_2 R_2 + \dots + I_n R_n = I (R_1 + R_2 + \dots + R_n).$$

Сократив обе части равенства на I , получим $R_{\text{ЭКВ}} = R_1 + R_2 + \dots + R_n$.

Общее сопротивление цепи, состоящей из нескольких последовательно соединенных резисторов, равно сумме сопротивлений этих резисторов. При последовательном соединении приемников выполняется второй закон Кирхгофа: алгебраическая сумма напряжений на резистивных элементах замкнутого контура равна алгебраической сумме ЭДС, входящих в этот контур. При последовательном соединении конец первого приемника соединяется с началом второго и т.д. При последовательном соединении через все элементы схемы проходит один и тот же ток ($I = \text{const}$). Падение напряжения на элементах схемы прямо пропорционально их сопротивлениям. Если в схеме последовательного соединения один из элементов сгорит, то и вся схема работать не будет.

Порядок выполнения работы:

1. Собрать схему согласно рисунку 4.1.
2. Подключить схему к источнику питания 9 или 12V и установить соответствующее напряжение на входе схемы.
3. Измерить вольтметром общее падение напряжения U на последовательном соединении приемников R_1 , R_2 и на каждом из них. Занести результаты исследования в таблицу 4.1.
4. Измерить амперметром общий ток цепи I и результаты занести в таблицу.
5. Рассчитать падение напряжения на отдельных приемниках по закону Ома для участка цепи: $U_1 = I_1 R_1$; $U_2 = I_2 R_2$ и сравнить полученные значения U_1 , U_2 с измеренными, сделать вывод.
6. Используя данные наблюдений, вычислить проводимость $g_1 = 1/R_1$; $g_2 = 1/R_2$; $g_{\text{ЭКВ}} = 1/R_{\text{ЭКВ}}$;
7. Рассчитать $P_{\text{ЦЕПИ}} = I U$
8. Определить общее падение напряжения U на последовательном соединении приемников энергии по закону Кирхгофа: $U = U_1 + U_2$.
9. Сравнить полученное значение U с измеренным, сделать вывод.

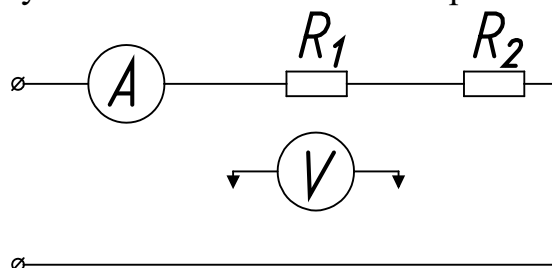


Рисунок 4.1 - Схема для исследования цепи с последовательным соединением резисторов

Таблица 4.1

№	Данные наблюдений				Результаты вычислений						
	I, А	U ₁ , В	U ₂ , В	U _{общ} , В	R ₁ , Ом	R ₂ , Ом	R _{экв} , Ом	g ₁ , См	g ₂ , См	g _{экв} , См	R _{цепи} , Вт
1											
2											

Контрольные вопросы:

1. Какое соединение называется последовательным?
2. Чему равно $R_{\text{ЭКВ}}$ при последовательном соединении?
3. В чем недостаток последовательного соединения?
4. Рассказать второй закон Кирхгофа?

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №5**ПАРАЛЛЕЛЬНОЕ СОЕДИНЕНИЕ РЕЗИСТОРОВ****Цель работы:**

- Формирование освоения умений и усвоения знаний и овладение профессиональными (ПК) и общими (ОК) компетенциями: У 1-5; 31-6; ПК 1.1 - 1.3; ПК 2.1 – 2.3; ПК 3.2 – 3.4; ПК 4.1, 4.2; ОК01–ОК10;

- Практически убедиться в физической сущности закона Ома для участка цепи.

- Изучить соотношение между токами и напряжениями при параллельном соединении резисторов и определить сопротивление электрической цепи.

- Проверить опытным путем первый закон Кирхгофа.

Общие теоретические сведения:

При параллельном соединении все ветви одним полюсом присоединяются к одному узлу, а другим к другому. Так как потенциалы этих узлов фиксированы, то, и разность их фиксирована и одинаковы для всех ветвей, входящие в соединение.

При параллельном соединении сопротивлений напряжения на ветвях одинаковы, $U_1=U_2=U_{\text{ВХ}}=U_{\text{ВС}}$.

Применим закон Ома для всех ветвей параллельного разветвления на участках ВС, тогда $U_{\text{ВС}} = I_1R_1=I_2R_2$, откуда $I_1/R_2= I_2/R_1$.

Таким образом, при параллельном соединении токи ветвей обратно пропорциональны их сопротивлениям, а общий ток равен сумме токов в параллельных ветвях, $I_{\text{ОБЩ}}=I_1+I_2$.

При параллельном соединении приемников выполняется первый закон Кирхгофа: алгебраическая сумма токов ветвей, сходящихся в каждом узле любой цепи, равна нулю. При параллельном включении начало всех потребителей соединяются в одну клемму, а концы в другую. При параллельном соединении через каждый элемент проходит свой ток, который имеет обрат-

ную зависимость от сопротивления. Достоинство параллельного соединения в том, что при выходе из строя одного из потребителей остальные продолжают работать.

Порядок выполнения работы:

1. Собрать электрическую схему согласно рисунку 5.1.
 2. Измерить токи и напряжения для двух положений движков реостатов.
 3. Используя данные наблюдений, вычислить $R_{\text{ЭКВ}} = U_{\text{ОБЩ}} / I_{\text{ОБЩ}}$;
 $R_1 = U_{\text{ВС}} / I_1$; $R_2 = U_{\text{ВС}} / I_2$; $g_1 = 1 / R_1$; $g_2 = 1 / R_2$; $g_{\text{ЭКВ}} = 1 / R_{\text{ЭКВ}}$;
 4. $1 / R_{\text{ЭКВ}} = 1 / R_1 + 1 / R_2$; $P_{\text{общ}} = I_{\text{ОБЩ}} U_{\text{ОБЩ}}$.
- Данные наблюдений и результаты вычислений записать в таблицу 5.1.
5. Сделать вывод по результатам работы.

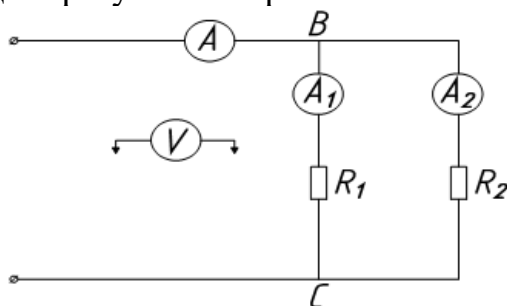


Рисунок 5.1 - Схема для исследования цепи с параллельным соединением резисторов

Таблица 5.1

№	Данные наблюдений				Результаты вычислений						
	$U_{\text{общ}}$, В	I_1 , А	I_2 , А	$I_{\text{общ}}$, А	R_1 , Ом	R_2 , Ом	$R_{\text{общ}}$, Ом	g_1 , См	g_2 , См	$g_{\text{экв}}$, См	$P_{\text{общ}}$ Вт
1											
2											

Контрольные вопросы:

1. Что называется электрическим узлом?
2. Первый закон Кирхгофа?
3. Почему при параллельном соединении напряжение будет одним и тем же?
4. В чем достоинство параллельного соединения?
5. Почему вольтметр включается параллельно?

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №6

**РАСЧЕТ ПОТЕНЦИАЛОВ
В НЕРАЗВЕТВЛЕННОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЦЕПИ**

Цель работы:

- Формирование освоения умений и усвоения знаний и овладение профессиональными (ПК) и общими (ОК) компетенциями: У 1-5; 31-6; ПК 1.1 -

1.3; ПК 2.1 – 2.3; ПК 3.2 – 3.4; ПК 4.1, 4.2; ОК01–ОК10;

Теоретические сведения:

Во многих случаях изучения и расчета электрических цепей полезно определить потенциалы отдельных точек электрической цепи и построить потенциальную диаграмму. Потенциал какой-либо точки электрической цепи равен напряжению между этой точкой и точкой цепи, потенциал которой принимают равным нулю, например, соединенной с землей.

Потенциальная диаграмма представляет собой график изменения потенциала при обходе цепи, построенный в прямоугольной системе координат, в которой по оси абсцисс откладываются в определенном масштабе сопротивления участков цепи, а по оси ординат - потенциалы существующих точек.

Сила тока определяется алгебраической суммой ЭДС всех источников, деленной на полное сопротивление цепи: $I = \frac{\sum E}{\sum (R+r)}$.

Для определения силы и направления тока в неразветвленной цепи с несколькими источниками произвольно выбирают направление обхода контура цепи (по часовой или против часовой стрелки). Тогда ЭДС, совпадающая по направлению с выбранным направлением обхода, в алгебраической сумме берут со знаком плюс, а не совпадающие - со знаком минус. Если при расчете результат получается положительным, то ток совпадает с произвольно выбранным направлением обхода. Если же результат получился отрицательным, то ток имеет направление, противоположное выбранному.

По закону сохранения энергии сумма мощностей источников электрической энергии равна сумме мощностей приемников, это **уравнение баланса мощностей**.

Ток в цепи с последовательным соединением элементов не изменится и баланс мощностей сохранится, если произвести перестановку элементов цепи, сгруппировав ЭДС и сопротивления.

Порядок выполнения работы:

1. Ознакомиться с теоретическими сведениями.
2. Записать условие задания по вариантам.
3. Произвести расчет сложного замкнутого контура электрической цепи.
4. Составить отчет о проделанной работе по образцу.
5. Сделать вывод.

Образец решения и оформления задания.

Задание:

Генератор с ЭДС $E_1=100\text{В}$ и аккумуляторы с ЭДС $E_2=130\text{В}$ и $E_3=90\text{В}$ включены по схеме (рис.6.1). Сопротивление потребителей: $R_1=16\text{Ом}$; $R_2=12\text{Ом}$; $R_3=4\text{Ом}$; $R_4=8\text{Ом}$, а внутреннее сопротивление источников $r_1=6\text{Ом}$; $r_2=9\text{Ом}$; $r_3=5\text{Ом}$.

Определить ток в цепи, составить и проверить баланс мощностей, построить потенциальную диаграмму.

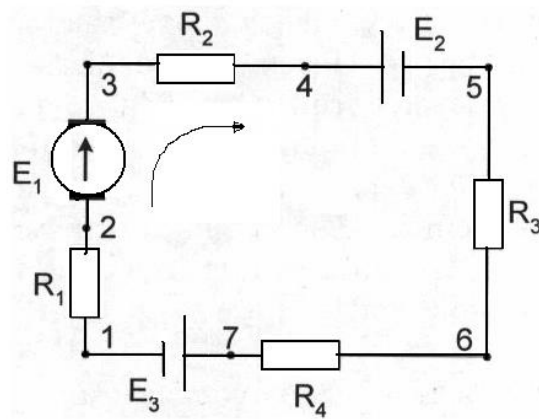


Рисунок 6.1

Решение:

1. Определяем ток в цепи (обходим контур по часовой стрелке):

$$I = \frac{E_1 - E_2 - E_3}{R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + r_1 + r_2 + r_3} = \frac{100 - 130 - 90}{16 + 12 + 4 + 8 + 6 + 9 + 5} = -2A.$$

Таким образом, ток в цепи, равный 2А, направлен против выбранного направления обхода, т.е. против часовой стрелки.

2. Для построения потенциальной диаграммы определим потенциалы, указанных точек цепи, приняв потенциал точки 1 равным нулю, т.е. $\varphi_1 = 0$.

$$U_{12} = \varphi_2 - \varphi_1 \Rightarrow \varphi_2 = \varphi_1 + U_{12} = \varphi_1 + IR_1 = 0 + 2 \cdot 16 = 32B;$$

$$U_{23} = \varphi_3 - \varphi_2 \Rightarrow \varphi_3 = \varphi_2 + U_{23} = \varphi_2 + E_1 + Ir_1 = 32 + 100 + 2 \cdot 6 = 144B;$$

$$U_{34} = \varphi_4 - \varphi_3 \Rightarrow \varphi_4 = \varphi_3 + U_{34} = \varphi_3 + IR_2 = 144 + 2 \cdot 12 = 168B;$$

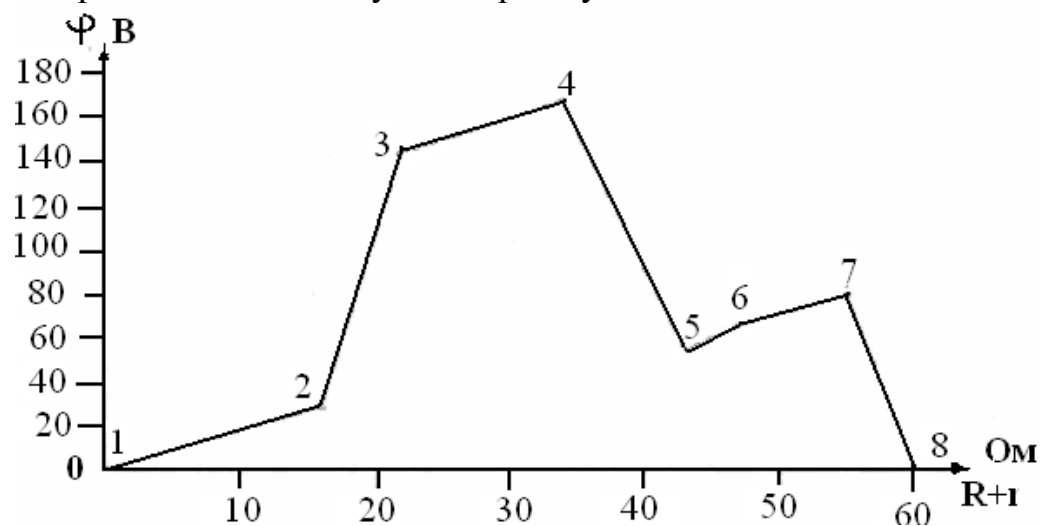
$$U_{45} = \varphi_5 - \varphi_4 \Rightarrow \varphi_5 = \varphi_4 + U_{45} = \varphi_4 - E_2 + Ir_2 = 168 - 130 + 2 \cdot 9 = 56B;$$

$$U_{56} = \varphi_6 - \varphi_5 \Rightarrow \varphi_6 = \varphi_5 + U_{56} = \varphi_5 + IR_3 = 56 + 2 \cdot 4 = 64B;$$

$$U_{67} = \varphi_7 - \varphi_6 \Rightarrow \varphi_7 = \varphi_6 + U_{67} = \varphi_6 + IR_4 = 64 + 2 \cdot 8 = 80B;$$

$$U_{71} = \varphi_1 - \varphi_7 \Rightarrow \varphi_1 = \varphi_7 + U_{71} = \varphi_7 - E_3 + Ir_3 = 80 - 90 + 2 \cdot 5 = 0B;$$

3. Строим потенциальную диаграмму:



4. Составляем баланс мощностей.

Из расчета следует, что генератор 1 работает в режиме потребителя, а аккумуляторы 2 и 3 в режиме генератора:

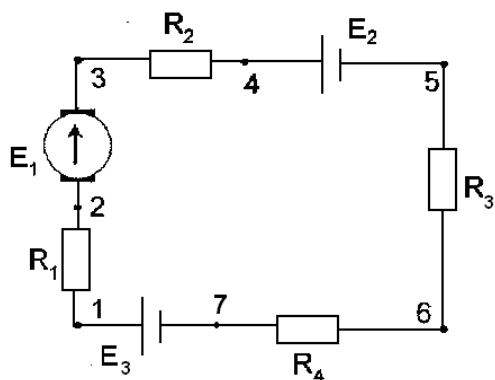


Рисунок 6.2

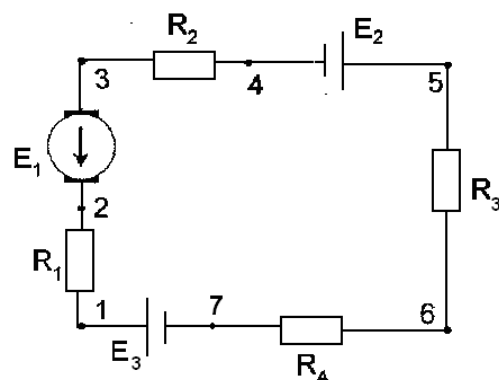


Рисунок 6.3

Таблица 6.1 – Исходные данные к практической работе №6

№ Вар.	№ рис	E В ₁	E ₂ В	E ₃ В	R ₁ Ом	R ₂ Ом	R ₃ Ом	R ₄ Ом	r ₁ Ом	r ₂ Ом	r ₃ Ом
1	6.2	200	50	90	30	0	1	10	1	2	0
2	6.2	210	60	100	28	1	2	9	1	2	0
3	6.2	220	70	110	26	3	3	8	1	2	0
4	6.2	230	80	120	24	5	4	7	1	2	0
5	6.2	240	90	130	22	7	5	6	1	2	0
6	6.3	250	100	140	20	9	6	5	1	2	0
7	6.3	100	110	150	18	11	7	4	1	2	0
8	6.3	110	120	160	16	13	8	3	1	2	0
9	6.3	120	130	17	14	15	9	2	1	2	0
10	6.3	130	140	180	12	17	10	1	1	2	0

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №7

РАСЧЕТ ЦЕПИ ПОСТОЯННОГО ТОКА МЕТОДОМ ЭКВИВАЛЕНТНЫХ СОПРОТИВЛЕНИЙ

Цель работы:

- Формирование освоения умений и усвоения знаний и овладение профессиональными (ПК) и общими (ОК) компетенциями: У 1-5; 31-6; ПК 1.1 - 1.3; ПК 2.1 – 2.3; ПК 3.2 – 3.4; ПК 4.1, 4.2; ОК01–ОК10;

- Закрепит навыки расчета сложных электрических цепей постоянного тока, используя законы Кирхгофа и Ома.

Порядок выполнения работы:

1. Изучить теоретические сведения.
2. Начертить схему смешанного соединения резисторов.
3. Определить эквивалентное сопротивление.
4. Ток в каждом резисторе.
5. Напряжение на каждом резисторе.
6. Определить энергию.
7. Сделать вывод по работе.

Теоретические сведения:

Решение задачи требует знание закона Ома для всей цепи и ее участков, законов Кирхгофа, методики определения эквивалентного сопротивления цепи при смешанном соединении резисторов, а также умения вычислять мощность и работу электрического тока. Содержание задач и схемы цепей приведены в условии, а данные к ним – в табл. 7.1. Перед решением задачи рассмотрите типовой пример 1.

Пример 1. Для схемы, приведенной на рис.7.1а, определить эквивалентное сопротивление цепи R_{AB} и токи в каждом резисторе, а также расход электроэнергии цепью за 8 ч работы.

Решение: Задача относится к теме «Электрические цепи постоянного тока». Проводим поэтапное решение, предварительно обозначив стрелкой ток в каждом резисторе; индекс тока должен соответствовать номеру резистора, по которому он проходит.

1. Определяем общее сопротивление разветвления R_{CD} , учитывая, что резисторы R_3 и R_4 соединены последовательно между собой, а с резистором R_5 параллельно:

$$R_{CD} = (R_3 + R_4) \cdot R_5 / (R_3 + R_4 + R_5) = (10 + 5) \cdot 10 / (10 + 5 + 10) = 6 \text{ Ом. (рис.7.1 б).}$$

2. Определяем общее сопротивление цепи относительно вводов СЕ. Резисторы R_{CD} и R_2 включены параллельно, поэтому

$$R_{CE} = R_{CD} \cdot R_2 / (R_{CD} + R_2) = 6 \cdot 3 / (6 + 3) = 2 \text{ Ом (рис. 7.1 в).}$$

3. Находим эквивалентное сопротивление всей цепи:

$$R_{AB} = R_1 + R_{CE} = 8 + 2 = 10 \text{ Ом (рис. 7.1 г).}$$

4. Определяем токи в резисторах цепи. Так как напряжение U_{AB} приложено ко всей цепи, а $R_{AB} = 10$ Ом, то согласно закону Ома

$$I_{AB} = U_{AB} / R_{AB} = 150 / 10 = 15 \text{ А.}$$

Внимание! Нельзя последнюю формулу писать в виде $I_1 = U_{AB} / R_1$ так как U_{AB} приложено ко всей цепи, а не к участку R_1

Для определения тока I_2 находим напряжение на резисторе R_2 , т.е. U_{CE} . Очевидно, U_{CE} меньше U_{AB} на потерю напряжения в резисторе R_1 , т.е.

$$U_{CE} = U_{AB} - I_1 R_1 = 150 - 15 \cdot 8 = 30 \text{ В.}$$

$$\text{Тогда } I_2 = U_{CE} / R_2 = 30 / 3 = 10 \text{ А.}$$

Так как $U_{CE} = U_{CD}$, то можно определить токи $I_{3,4}$ и I_5 :

$$I_{3,4} = U_{CD} / (R_3 + R_4) = 30 / (10 + 5) = 2 \text{ А;}$$

$$I_5 = U_{CD} / R_5 = 30 / 10 = 3 \text{ А.}$$

На основании первого закона Кирхгофа, записанного для узла С, проверим правильность определения токов:

$$I_1 = I_2 + I_{3,4} + I_5, \text{ или } 15 = 10 + 2 + 3 = 15 \text{ А}$$

5. Расход энергии цепью за восемь часов работы:

$$W = P \cdot t = U_{AB} \cdot I_1 \cdot t = 150 \cdot 15 \cdot 8 = 18000 \text{ Вт} \cdot \text{ч} = 18 \text{ кВт} \cdot \text{ч.}$$

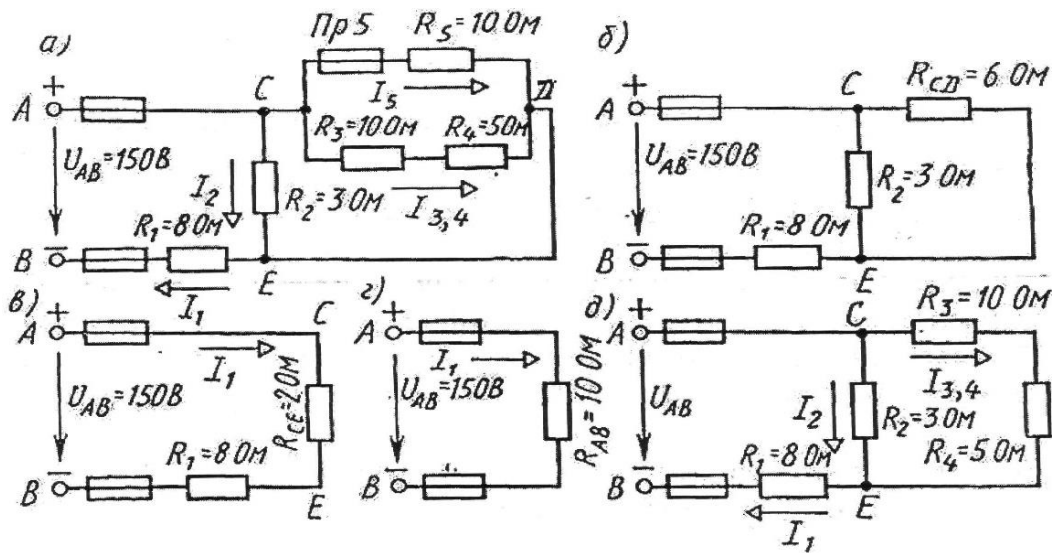


Рисунок 7.1

Задание (варианты 01-30)

Цепь постоянного тока содержит шесть резисторов, соединенных смешанно. Схема цепи и значения резисторов указаны на соответствующем рисунке. Номер рисунка и величина одного из заданных токов или напряжений приведены в таблице 7.1. Индекс тока или напряжения совпадает с индексом резистора, по которому проходит этот ток, или на котором действует указанное напряжение. Например, через резистор R_5 проходит ток I_5 и на нем действует напряжение U_5 .

Определить:

- 1) эквивалентное сопротивление цепи относительно вводов АВ;
- 2) ток в каждом резисторе;
- 3) напряжение на каждом резисторе;
- 4) расход электрической энергии цепью за 10 часов.

Таблица 7.1 - Исходные данные

Номер Варианта	Номер рисунка	Задаваемая величина	Номер Варианта	Номер рисунка	Задаваемая величина
1	7.2	$I_{4,5}=6\text{A}$	16	7.3	$U_2=50\text{B}$
2	7.2	$U_2=100\text{B}$	17	7.3	$U_{AB}=30\text{B}$
3	7.2	$I_2=10\text{A}$	18	7.3	$I_1=1,08\text{A}$
4	7.2	$U_3=40\text{B}$	19	7.3	$U_1=10,8\text{B}$
5	7.2	$U_1=100\text{B}$	20	7.3	$I_2=0,72\text{A}$
6	7.2	$U_{AB}=200\text{B}$	21	7.3	$I_3=1,8\text{A}$
7	7.2	$I_1=20\text{A}$	22	7.3	$I_3=1,8\text{A}$
8	7.2	$U_6=60\text{B}$	23	7.3	$U_4=12\text{B}$
9	7.2	$U_4=36\text{B}$	24	7.3	$I_6=3\text{A}$
10	7.2	$I_6=4\text{A}$	25	7.3	$U_5=18\text{B}$
11	7.2	$I_2=5\text{A}$	26	7.3	$I_3=1,2\text{A}$
12	7.2	$U_3=20\text{B}$	27	7.3	$U_3=7,2\text{B}$
13	7.2	$I_{4,5}=3\text{A}$	28	7.3	$I_1=3,24\text{A}$
14	7.2	$U_{AB}=100\text{B}$	29	7.3	$U_5=54\text{B}$
15	7.2	$I_1=10\text{A}$	30	7.3	$I_4=9\text{A}$

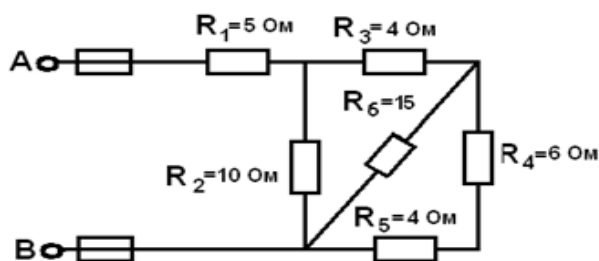


Рисунок 7.2

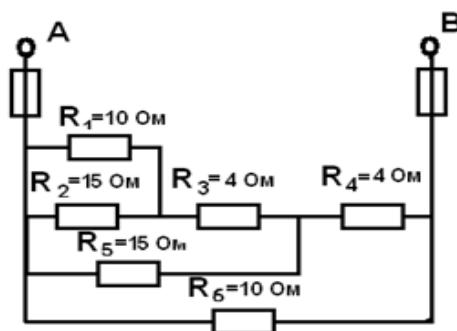


Рисунок 7.3

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №8

РАСЧЕТ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ МЕТОДОМ УЗЛОВОГО НАПРЯЖЕНИЯ

Цель работы:

- Формирование освоения умений и усвоения знаний и овладение профессиональными (ПК) и общими (ОК) компетенциями: У 1-5; 31-6; ПК 1.1 - 1.3; ПК 2.1 – 2.3; ПК 3.2 – 3.4; ПК 4.1, 4.2; ОК01–ОК10;

- Приобрести практические навыки по расчету сложных разветвленных электрических цепей с несколькими источниками электрических цепей методом узлового напряжения.

Порядок выполнения работы:

1. Изучить теоретические сведения.
2. Начертить схему согласно варианту.
3. Определить токи в ветвях.
4. Сделать вывод по работе.

Теоретические сведения:

Расчет сложных разветвленных электрических цепей с несколькими источниками можно осуществить методом узлового напряжения, если в этой цепи имеются только два узла. Напряжение между этими узлами и называется узловым. U_{AB} узловое напряжение схемы (рис. 8.1).

Величина узлового напряжения определяется отношением алгебраической суммы произведений ЭДС и проводимости ветви с источниками к сумме проводимостей всех ветвей:

$$U_{AB} = \frac{\sum E g}{\sum g}$$

Для определения знаков алгебраической суммы направление токов во всех ветвях выбирают одинаковым, т.е. от одного узла к другому (рис. 8.1). Тогда ЭДС источника, работающего в режиме генератора, берут со знаком «+», а источника, работающего в режиме потребителя, - со знаком «-».

Для цепи, изображенной на рисунке 8.1, узловое напряжение определяется выражением:

$$U_{AA} = \frac{\sum_1 g_1 - \sum_2 g_2}{g_1 + g_2 + g_3}$$

где $g_1 = \frac{1}{R_1 + R_{01}}$ - проводимость первой ветви,

$g_2 = \frac{1}{R_2 + R_{02}}$ - проводимость второй ветви,

$g_3 = \frac{1}{R_3}$ - проводимость третьей ветви.

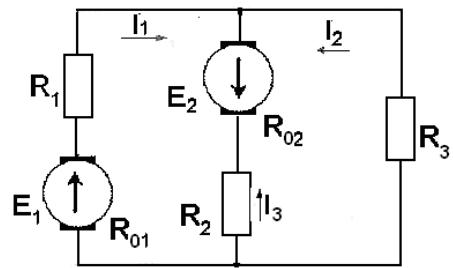


Рисунок 8.1

Узловое напряжение (U_{AB}) может получиться как положительным, так и отрицательным.

Определив по выражению (1) узловое напряжение (U_{AB}), можно вычислить токи в каждой ветви. Узловое напряжение для первой ветви:

$$U_{AB} = E_1 - I_1(R_1 + R_2),$$

так как источник E_1 работает в режиме генератора. Откуда

$$I_1 = \frac{E_1 - U_{AB}}{R_1 + R_{01}} = (E_1 - U_{AB})g_1$$

Для второй ветви, источник которой E_2 работает в режиме потребителя:

$$U_{AB} = -U_{AB} - [E_2 + I_2(R_2 + R_{02})],$$

$$\text{Откуда } I_2 = \frac{E_2 + U_{AB}}{R_2 + R_{02}} = (E_2 + U_{AB})g_2$$

Для третьей ветви $U_{AB} = -U_{AB} - (\varphi_B - \varphi_A)$, так как условно выбранное направление тока I_3 указывает, что потенциал точки В (φ_B) больше, чем потенциал точки А (φ_A).

$$\text{Тогда } I_3 = \frac{U_{AB}}{R_3} = -U_{AB}g_3$$

Знак «-» в вычисленном значении тока указывает, что условно выбранное направление тока данной ветви неправильно.

Пример: В ветвях (рис. 8.2) требуется определить токи, если $R_1=1,7\text{Ом}$; $R_{01}=0,3\text{Ом}$; $R_2=0,9\text{Ом}$; $R_{02}=0,1\text{Ом}$; $R_3=4\text{Ом}$; $E_1=35\text{В}$; $E_2=70\text{В}$.

Решение:

1. Определяем узловое напряжение U_{AB}

$$U_{AB} = \frac{E_1 g_1 - E_2 g_2}{g_1 + g_2 + g_3}$$

$$\text{где } g_1 = \frac{1}{R_1 + R_{01}} = \frac{1}{1,7 + 0,3} = 0,5\text{Ом},$$

$$g_2 = \frac{1}{R_2 + R_{02}} = \frac{1}{0,9 + 0,1} = 1\text{Ом},$$

$$g_3 = \frac{1}{R_3} = \frac{1}{4} = 0,25\text{Ом}.$$

$$\text{тогда } U_{AB} = \frac{35 \cdot 0,5 - 70 \cdot 1}{0,5 + 1 + 0,25} = 50\text{В}.$$

2. Определяем токи в ветвях:

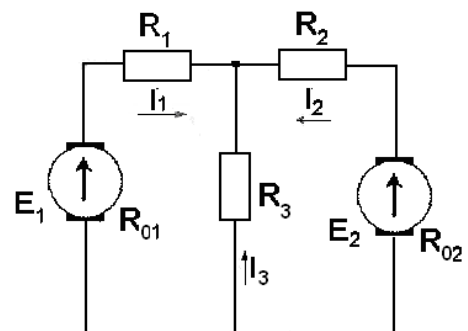


Рисунок 8.2

$$I_1 = (E_1 - U_{AB}) g_1 = (35 - 50) * 0,5 = -7,5 \text{ A};$$

$$I_2 = (E_2 - U_{AB}) g_2 = (70 - 50) - 1 = 20 \text{ A};$$

$$I_3 = -U_{AB} * g_3 = 50 * 0,25 = -12,5 \text{ A}.$$

Как видно, направление токов I_1 и I_3 противоположно выбранному.

Следовательно, источник E_1 работает в режиме потребителя.

Таблица 8.1 - Исходные данные

		Варианты									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
R_1	Ом	2	2,3	2,6	2,1	2,2	2,4	1,9	1,8	1,7	1,6
R_{01}		0,6	0,9	1,2	0,7	0,8	1	0,5	0,4	0,3	0,2
R_2		1,2	1,5	1,8	1,3	1,4	1,6	1,1	1	0,9	0,8
R_{02}		0,4	0,7	1	0,5	0,6	0,8	0,3	0,2	0,1	0
R_3		4,3	4,6	4,9	4,4	4,5	4,7	4,2	4,1	4	3
E_1	В	38	41	44	30	40	42	37	36	35	34
E_2		73	76	78	74	75	77	72	71	70	69
Рисунок	№	8а	8б	8в	8г	8д	8а	8б	8в	8г	8д

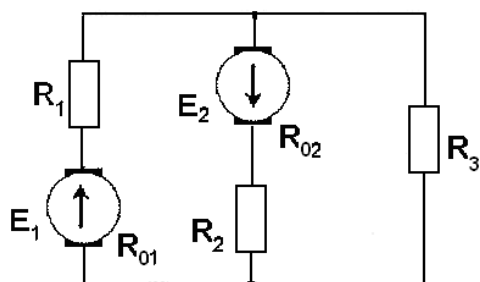


Рисунок 8а

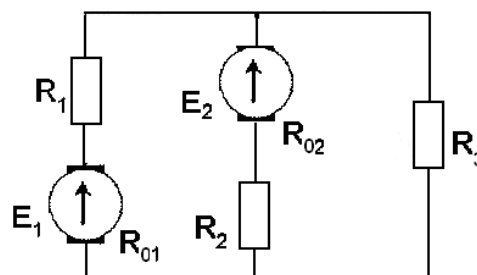


Рисунок 8б

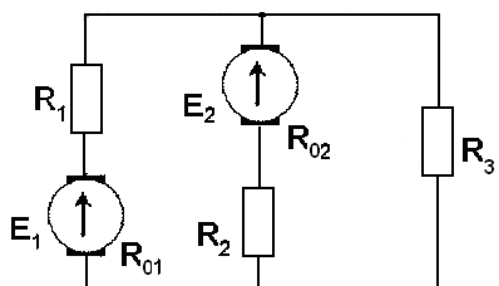


Рисунок 8в

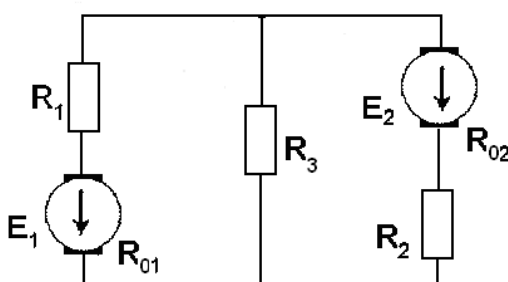


Рисунок 8г

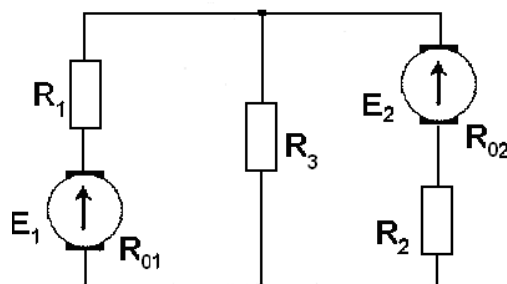


Рисунок 8д

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №9

РАСЧЕТ ЦЕПИ СО СМЕШАННЫМ СОЕДИНЕНИЕМ КОНДЕНСАТОРОВ

Цель работы:

- Формирование освоения умений и усвоения знаний и овладение профессиональными (ПК) и общими (ОК) компетенциями: У 1-5; 31-6; ПК 1.1 - 1.3; ПК 2.1 – 2.3; ПК 3.2 – 3.4; ПК 4.1, 4.2; ОК01–ОК10;

- Научится рассчитывать цепи со смешанным соединением конденсаторов.

- Развить логическое мышление

Порядок выполнения работы:

1. Изучить теоретические сведения.
2. Начертить схему смешанного соединения.
3. Определить эквивалентную емкость.
4. Сделать вывод по работе.

Теоретические сведения:

На практике нужную емкость получают, прибегая к различным способам соединения стандартных конденсаторов.

Параллельное соединение. При параллельном соединении конденсаторов (рис.9.1) потенциал пластин, соединенных с положительным полюсом источника, одинаков и равен потенциалу этого полюса. Соответственно потенциал пластин, соединенных с отрицательным полюсом, равен потенциалу этого полюса. Следовательно, напряжение, приложенное к конденсаторам, одинаково. Общий заряд $Q_{\text{общ}} = Q_1 + Q_2 + Q_3$. Так как, согласно, $Q = CU$, то $Q_{\text{общ}} = C_{\text{общ}} * U$; $Q_1 = C_1 U$; $Q_2 = C_2 U$; $Q_3 = C_3 U$ и $C_{\text{общ}} U = C_1 U + C_2 U + C_3 U$

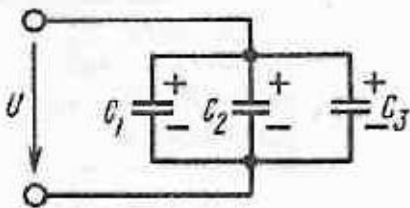


Рисунок 9.1 - Параллельное соединение конденсаторов

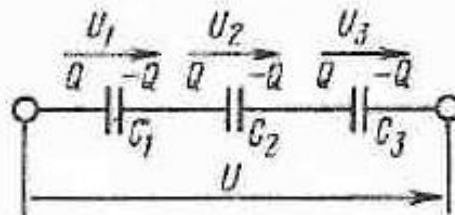


Рисунок 9.2 - Последовательное соединение конденсаторов

Таким образом, общая, или эквивалентная, емкость при параллельном соединении конденсаторов равна сумме емкостей отдельных конденсаторов:

$$C_{\text{общ}} = C_1 + C_2 + C_3 \quad (9.1)$$

Из формулы (9.1) следует, что при параллельном соединении одинаковых конденсаторов емкостью C общая емкость

$$C_{\text{общ}} = n * C. \quad (9.2)$$

Последовательное соединение. При последовательном соединении

конденсаторов (рис.9.2) на пластинах будут одинаковые заряды. На внешние электроды заряды поступают от источника питания. На внутренних электродах конденсаторов C_1 и C_3 удерживается такой же заряд, как и на внешних. Но поскольку заряды на внутренних электродах получены за счет разделения зарядов с помощью электростатической индукции, заряд конденсатора C_2 имеет такое же значение.

Найдем общую емкость для этого случая. Так как $U=U_1+U_2+U_3$,

где $U=Q/C_{\text{общ}}$; $U_1=Q/C_1$; $U_2=Q/C_2$; $U_3=Q/C_3$;

то $Q/C_{\text{общ}}=Q/C_1+Q/C_2+Q/C_3$. Сократив на Q , получим

$$1/C_{\text{общ}}=1/C_1 + 1/C_2 + 1/C_3. \quad (9.3)$$

При последовательном соединении двух конденсаторов, используя (9.3), найдем

$$C_{\text{общ}}=C_1 C_2 / (C_1 + C_2). \quad (9.4)$$

При последовательном соединении n одинаковых конденсаторов емкостью C каждый на основании (9.3) общая емкость

$$C_{\text{общ}}= C/n \quad (9.5)$$

Пример: Соединение конденсаторов. К батарее конденсаторов (рис. 9.3) приложено напряжение $U=100$ В. Определить напряжение и заряд каждого конденсатора, если $C_1=4$ мкФ; $C_2=1$ мкФ; $C_3=5$ мкФ.

1. Прежде всего определим эквивалентную емкость батареи конденсаторов. Так как C_2 и C_3 включены параллельно, $C_{2,3}=C_2+C_3= 1+5=6$ мкФ.

Конденсаторы C_1 и $C_{2,3}$ включены последовательно и поэтому эквивалентная емкость.

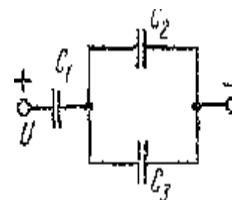


Рисунок 9.3

$$C_{\text{общ}}= C_1 * C_{2,3} / (C_1 + C_{2,3}) = 4*6/(4 + 6) = 2,4 \text{ мкФ.}$$

Теперь определим электрический заряд батареи конденсаторов

$$Q_{\text{общ}}=Q_1=Q_{2,3},$$

так как C_1 и $C_{2,3}$ включены последовательно

$$Q_{\text{общ}} = C_{\text{общ}} U = 2,4 * 100 = 240 * 10^{-6} \text{ Кл,}$$

таким образом, $Q_1=240 * 10^{-6}$ Кл.

2. Найдем напряжения на C_1 и параллельно включенных C_2 и C_3 :

$$U_1 = Q_1 / C_1 = 240 / 4 = 60 \text{ В;}$$

так как $U= U_1 + U_{2,3}$, $U_{2,3}=U - U_1 = 100 - 60=40$ В.

3. Зная напряжение $U_{2,3}$, определим Q_2 и Q_3 :

$$Q_2=C_2 * U_{2,3}=1 * 10^{-6} * 40=40 * 10^{-6} \text{ Кл,}$$

так как $Q_{\text{общ}}=Q_2+Q_3$; $Q_3 =Q_{\text{общ}} - Q_2=240 * 10^{-6} - 40 * 10^{-6} = 200 * 10^{-6}$ Кл.

Примечание: напряжения на участках C_1 и $C_{2,3}$ можно определить, исходя из соотношения

$$U_1 / U_{2,3}=C_{2,3} / C_1, \text{ или } U_1 / (U - U_1)=C_{2,3} / C_1$$

Решая это уравнение относительно U_1 получим

$$U_1 = C_{2,3} U / (C_1 + C_{2,3}) = 6 * 100 / 10 = 60 \text{ В.}$$

Задание: Определить эквивалентную емкость батареи конденсаторов, соединенных по схеме рисунок 9.4, при положениях ключей K_1 , K_2 , K_3 , K_4 в

соответствии с таблицей 9.1. Значения емкостей конденсаторов:

$C_1 = 2 \text{ мкФ}$ $C_2 = C_3 = C_4 = C_6 = 1 \text{ мкФ}$ $C_5 = 3 \text{ мкФ}$, $C_7 = 0,5 \text{ мкФ}$

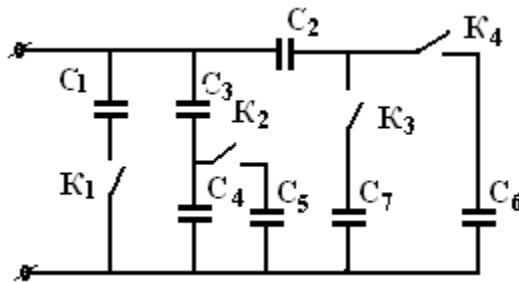


Рисунок 9.4

Примечание: «0» в таблице означает, что ключ находится в положении «Выкл.», а «1» - ключ в положении «Вкл.»

Таблица 9.1 - Исходные данные

Ключ	Варианты									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
K ₁	0	1	0	0	1	1	0	1	1	0
K ₂	0	0	1	0	1	0	1	1	1	1
K ₃	0	0	0	1	0	1	1	1	1	1
K ₄	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №10

ПОТЕРИ В СЕРДЕЧНИКАХ ИЗ ФЕРРОМАГНИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Цель работы:

- Формирование освоения умений и усвоения знаний и овладение профессиональными (ПК) и общими (ОК) компетенциями: У 1-5; 31-6; ПК 1.1 - 1.3; ПК 2.1 – 2.3; ПК 3.2 – 3.4; ПК 4.1, 4.2; ОК01–ОК10;

- Исследовать электрические и магнитные потери энергии в ферромагнитном сердечнике.

Теоретические сведения:

Потери энергии в обмотке катушки

Энергия, потребляемая катушкой, расходуется на покрытие не только магнитных потерь (потерь в ферромагнитном сердечнике), но и электрических (потерь в обмотке).

Мощность электрических потерь - их часто называют потерями в меди пропорциональна квадрату тока и активному сопротивлению обмотки R :

$$P_э = I^2 R \quad (10.1)$$

Таким образом, активная мощность катушки

$$P = P_M + P_э \quad (10.2)$$

а активная составляющая тока

$$I_a = P/U \quad (10.3)$$

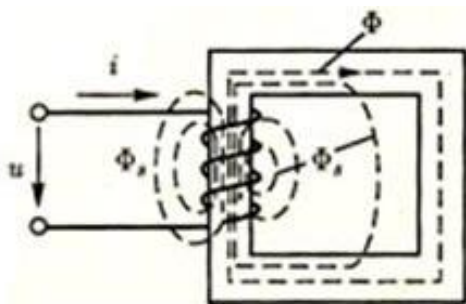


Рисунок 10.1

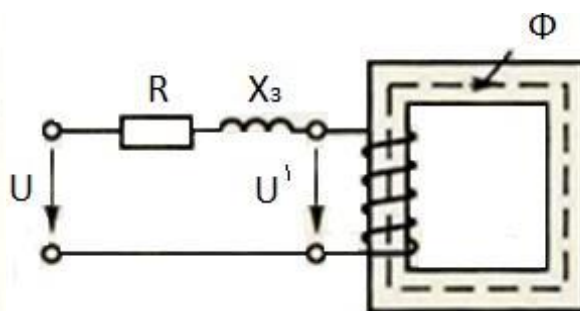


Рисунок 10.2

Магнитное рассеяние

Когда не учитывается магнитное рассеяние, предполагается, что магнитный поток катушки полностью замыкается по ферромагнитному сердечнику. Действительно, большая часть линий магнитной индукции замыкается по сердечнику, образуя основной магнитный поток Φ .

Но магнитное поле существует и в пространстве, окружающем сердечник, что можно изобразить линиями магнитной индукции, проведенными полностью или частично вне сердечника, в воздухе (рис.10.1).

Эти линии характеризуют другой магнитный поток $\Phi_{в}$, который называется потоком рассеяния.

Оба магнитных потока создаются одним и тем же током катушки, но из-за различия сред рассматриваются и определяются отдельно.

Основной магнитный поток Φ не пропорционален току, так как связан с ним нелинейной кривой намагничивания ферромагнитного сердечника. Поэтому ЭДС в катушке, наводимая основным потоком, определяется по формуле: $E = 4,44 Nf\Phi_m$ (10.4)

Порядок выполнения работы:

1. Собрать эл. схему цепи (рис. 10.3).
2. Параметры катушки:
 - а) количество витков $W_B=160$;
 - б) сечение сердечника $S_k = 4.8 \text{ см}^2$;
 - в) вес стали $G= 0,5 \text{ кг}$;
 - г) сопротивление катушки $R_k \sim 1,2 \text{ Ом}$,
3. Определить цену деления приборов.
4. Предъявить собранную схему цепи для проверки преподавателю.
5. Включить выключатель $S_{пит}$ переменного тока, предварительно установив потенциометр в положение $U = 0$. Изменяя напряжение, подводимое к катушке, от нуля до заданной преподавателем величины, снять показания приборов и занести их в таблицу №10.1.
6. По измеренным U, I, P вычислить $P_{ст.}$ - потери в стали, P_M - потери в меди, P_0 - удельные потери, B_M - максимальные потери, B - максимальное значение магнитной индукции.

$$P_{ст} = P - P_M;$$

$$P_M = I^2 R_k; P_0 = \frac{P_{ст}}{G};$$

$$B_m = \frac{l \cdot 10^4}{4,44 \cdot \varphi \cdot W \cdot S}$$

где S (см²)- сечение стального сердечника.

7. По полученным данным построить графики:

$$I=f(U); P_0=f(B_m)$$

8. Сделать выводы по работе.

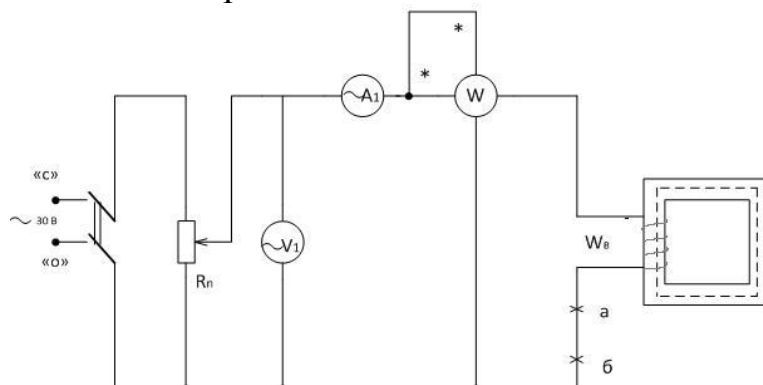


Рисунок 10.3

Таблица 10.1

Измеренные данные		Данные для вычислений					
U	I	P	f	P _{ст}	P _м	P ₀	B _м
В	А	Вт	Гц	Вт	Вт	Вт/кг	Т

Контрольные вопросы:

1. Какие нелинейные элементы применяются в цепях переменного тока, и какие практические задачи в технике решаются с их помощью?
2. Как изменяется индуктивность катушки с ферромагнитным сердечником при изменении напряжения на ней?
3. Как влияет магнитный гистерезис на форму кривой тока в катушке со стальным сердечником? Каким образом можно увидеть эту кривую тока и исследовать ее?
4. Какие потери энергии называют потерями в стали, и какие потерями в меди?
5. Что такое магнитное рассеяние?

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №11

НЕРАЗВЕТВЛЕННАЯ ЦЕПЬ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА С АКТИВНЫМ СОПРОТИВЛЕНИЕМ, ИНДУКТИВНОСТЬЮ И ЁМКОСТЬЮ

Цель работы:

- Формирование освоения умений и усвоения знаний и овладение профессиональными (ПК) и общими (ОК) компетенциями: У 1-5; 31-6; ПК 1.1 -

1.3; ПК 2.1 – 2.3; ПК 3.2 – 3.4; ПК 4.1, 4.2; ОК01–ОК10;

- Исследовать неразветвленную электрическую цепь переменного тока, содержащую активное и реактивное сопротивления.

- Научиться строить векторные диаграммы токов и напряжений.

Теоретические сведения.

В цепи с последовательно соединенными активным сопротивлением R , индуктивностью L и емкостью C проходит синусоидальный ток, то действующее значение напряжения на зажимах этой цепи равно:

$$U = \sqrt{(U_R + U_{R_K})^2 + (U_L - U_C)^2}, \quad U = I \cdot Z,$$

Сопротивление конденсатора определяется по формуле: $X_C = 1/2\pi fC$.

Индуктивное сопротивление катушки: $X_L = 2\pi fL$.

Полное сопротивление катушки: $Z_K = \sqrt{R_K^2 + X_K^2}$,

где $X_K = X_L - X_C$ - реактивное сопротивление цепи.

Полное сопротивление всей цепи определяется по формуле:

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

Падение напряжения на элементах цепи рассчитывается:

$$U_{R_K} = I \cdot R_K, \quad U_R = I \cdot R, \quad U_L = I \cdot X_L, \quad U_C = I \cdot X_C.$$

Активная мощность цепи: $P = U \cdot I \cdot \cos\varphi = I^2 \cdot (R + R_K) = I \cdot (U_R + U_{R_K})$

Реактивная мощность цепи: $Q = U \cdot I \cdot \sin\varphi = I^2 \cdot (X_L - X_C) = I(U_L - U_C)$;

Полная мощность цепи: $S = \sqrt{P^2 + Q^2} = I^2 \cdot Z = I \cdot U_{ВХ}$;

Коэффициент мощности: $\cos\varphi = R/Z$

Порядок выполнения работы:

1. Собрать электрическую цепь согласно рисунку 11.1 и предъявить её для проверки преподавателю.

2. Измерить силу тока, падение напряжения на каждом элементе цепи.

3. Вычислить мощности, сопротивления, углы сдвига фаз и ёмкость конденсатора.

4. Построить векторную диаграмму.

5. Ответить на контрольные вопросы.

6. Сделать вывод.

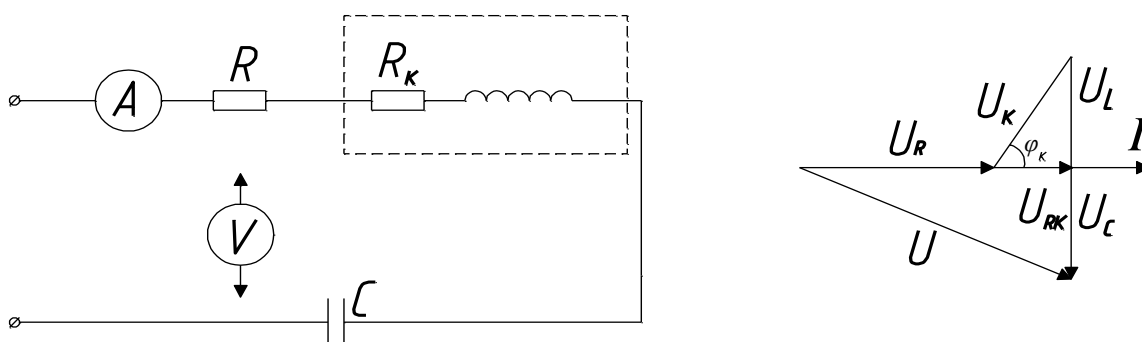


Рисунок 11.1 - Схема исследования последовательного соединения активного индуктивного и емкостного сопротивления

Таблица 11.1

	Участок цепи	I, А	R, Ом	X, Ом	Z, Ом	U, В	P, Вт	Q, Вар	S, ВА	cosφ	φ
1	резистор										
	конденсатор										
	индуктивность										
	вся цепь										

Контрольные вопросы:

1. Какое сопротивление электрической цепи называют активным?
2. Почему ток в цепи с индуктивностью отстает по фазе от напряжения на 90 градусов?
3. Что означает $\varphi > 0, \varphi < 0, \varphi = 0$?

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №12**РЕЗОНАНСНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЦЕПИ С ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНО СОЕДИНЕННЫМИ ЭЛЕМЕНТАМИ R, L, C****Цель работы:**

- Формирование освоения умений и усвоения знаний и овладение профессиональными (ПК) и общими (ОК) компетенциями: У 1-5; 31-6; ПК 1.1 - 1.3; ПК 2.1 – 2.3; ПК 3.2 – 3.4; ПК 4.1, 4.2; ОК01–ОК10;

- Проверить закон Ома для неразветвленной электрической цепи переменного тока, состоящей из последовательно включенных резистора, катушки индуктивности и конденсатора

- Ознакомиться с явлением резонанса напряжений и условиями, при которых он возникает.

Теоретические сведения.***Резонансный режим работы цепи***

Резонансный режим работы – это режим при котором сопротивление является чисто активным. По отношению к источнику питания элементы цепи ведут себя в резонансном режиме как активное сопротивление, поэтому ток и напряжение в неразветвленной части совпадают по фазе. Реактивная мощность цепи при этом равна нулю

В цепи с последовательно соединенными активным сопротивлением R, индуктивностью L и емкостью C проходит синусоидальный ток, то действующее значение напряжения на зажимах этой цепи равно:

$$U = \sqrt{(U_R + U_{RK})^2 + (U_L - U_C)^2}, \quad U = I \cdot Z,$$

Полное сопротивление катушки: $Z_L = U_K / I,$

Индуктивное сопротивление катушки: $X_L = \sqrt{(Z_L)^2 - (R_K)^2}$

Полное сопротивление всей цепи определяется по формуле:

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

Емкостное сопротивление определяется по формуле: $X_C = U_C / I$.

Падение напряжения на активном и индуктивном сопротивлениях катушки:

$$U_{RK} = I \cdot R_K, U_L = I \cdot X_L, U_C = I \cdot X_C.$$

Активная мощность цепи: $P = I \cdot (U_R + U_{RK})$

Полная мощность цепи: $S = I \cdot U$;

Коэффициент мощности: $\cos\varphi = P/S$

Порядок выполнения работы:

1. Собрать электрическую цепь согласно рисунку 12.1 и предъявить её для проверки преподавателю.
2. Измерить силу тока, падение напряжения на каждом элементе цепи результаты измерений занести в таблицу 12.1.
3. Вычислить недостающие данные таблицы 12.1
4. Построить векторную диаграмму.
5. Ответить на контрольные вопросы.
6. Сделать вывод.

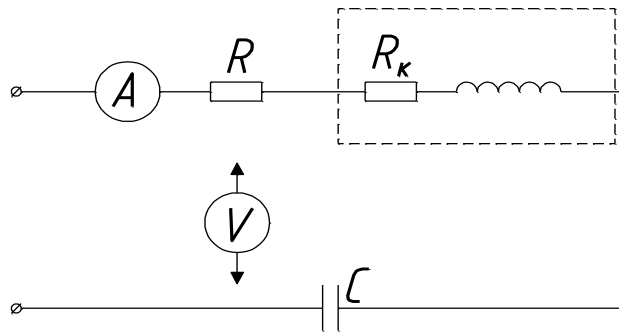


Рисунок 12.1 - Схема исследования последовательного соединения активного индуктивного и емкостного сопротивления

Таблица 12.1

Измеренные данные					Данные вычислений								
I	U	U _C	U _L	U _R	Z _L	X _L	X _C	U _{RK}	U _L	P	S	cosφ	φ
A	B	B	B	B	Ом	Ом	Ом	B	B	Вт	ВА		

Контрольные вопросы:

1. Изобразите векторы напряжений на индуктивности и емкости
2. Чему равно полное сопротивление цепи, состоящей из последовательно соединенных R, L и C?
3. Что такое резонанс напряжений?
4. Чему равен коэффициент мощности при резонансе напряжений?
5. Какую опасность может создать резонанс напряжения?

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №13

РАСЧЕТ НЕРАЗВЕТВЛЕННЫХ ЦЕПЕЙ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Цель работы:

- Формирование освоения умений и усвоения знаний и овладение профессиональными (ПК) и общими (ОК) компетенциями: У 1-5; 31-6; ПК 1.1 - 1.3; ПК 2.1 – 2.3; ПК 3.2 – 3.4; ПК 4.1, 4.2; ОК01–ОК10;
- Закрепить навыки расчета цепей переменного тока.
- Уметь строить векторные диаграммы напряжений и токов.

Порядок выполнения работы:

1. Изучить теоретические сведения.
2. Начертить неразветвленную цепь переменного тока.
3. Определить необходимые величины.
4. Начертить векторную диаграмму цепи
5. Сделать вывод.

Теоретические сведения:

Тема практического занятия относится к неразветвленным и разветвленным цепям переменного тока. Решение задачи требует знание закона Ома для всей цепи и ее участков, методики определения полного сопротивления цепи при последовательном соединении активных и реактивных элементов, а также умения вычислять мощности. Содержание задач и схемы цепей приведены в условии, а данные к ним – в табл. 13.1. Перед решением задачи рассмотрите типовой пример 1.

Пример 1. Неразветвленная цепь переменного тока содержит катушку с активным сопротивлением $R_K=3$ Ом и индуктивным $X_L=12$ Ом, активное сопротивление $R=5$ Ом и конденсатор с сопротивлением $X_C=6$ Ом (рис 13.1). К цепи приложено напряжение $U = 100$ В (действующее значение).

Определить:

- 1) полное сопротивление цепи;
- 2) ток;
- 3) коэффициент мощности;
- 4) активную, реактивную и полную мощности;
- 5) напряжение на каждом сопротивлении.
- 6) начертить в масштабе векторную диаграмму цепи.

Решение:

1. Определим полное сопротивление цеп:

$$Z = \sqrt{(R_K + R)^2 + (X_L - X_C)^2} \quad Z = \sqrt{8^2 + (12 - 6)^2} = 10 \text{ Ом.}$$

2. Определяем ток цепи $I = U/Z = 100/10 = 10$ А.

3. Находим коэффициент мощности цепи. Во избежание потери знака угла (косинус-функция четная определяем $\sin\varphi$): $\sin\varphi = (X_L - X_C)/Z = (12 - 6)/10 = 0,6$ по таблицам Брадиса $\varphi = 36^\circ 50'$, коэффициент мощности $\cos \varphi = \cos 36^\circ 50' = 0,8$

4. Определим активную, реактивную и полную мощности цепи:
 $P=UI\cos\varphi=100*10*0,8=800$ Вт или $P=I^2(R_K+R)=10^2(3+5)=800$ Вт,
 $Q=I^2(X_L-X_C)=10^2(12-6)=600$ Вар или $Q=UI\sin\varphi=100*10*0,6=600$

Вар,

$S=UI=100*10=1000$ ВА или $S=I^2Z=10^2*10=1000$ ВА или

$$S=\sqrt{P^2+Q^2}=\sqrt{600^2+800^2}=1000\text{ ВА}$$

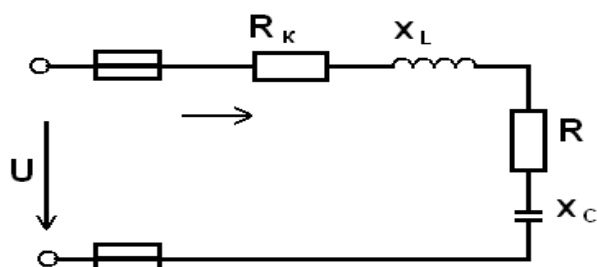


Рисунок 13.1 - Схема неразветвленной цепи переменного тока

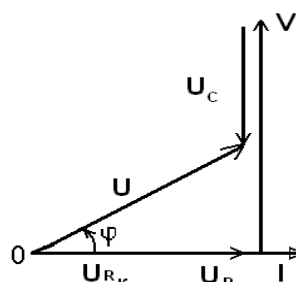


Рисунок 13.2 - Векторная диаграмма токов и напряжений

Задание: Варианты (1-30)

Неразветвленная цепь переменного тока, показанная на соответствующем рисунке, содержит активные и реактивные сопротивления, величины которых заданы в табл. 13.1. Кроме того, известна одна из дополнительных величин (U, I, P, Q, S). Определить следующие величины, если они не заданы в таблице вариантов: 1) полное сопротивление цепи Z ; 2) напряжение U , приложенное к цепи; 3) силу тока в цепи; 4) угол сдвига фаз (величину и знак); 5) активную P , реактивную Q , полную S мощности, потребляемые цепью.

Начертить в масштабе векторную диаграмму цепи и пояснить ее построение. С помощью логических рассуждений пояснить, как изменится ток в цепи и угол сдвига фаз, если частоту тока увеличить вдвое. Напряжение, приложенное к цепи, считать неизменным. Указание: Смотри решение примера 1.

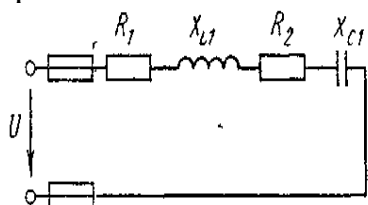


Рисунок 13.3

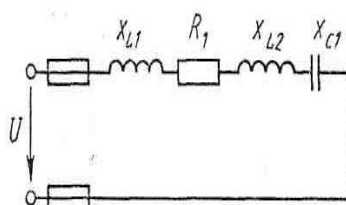


Рисунок 13.4

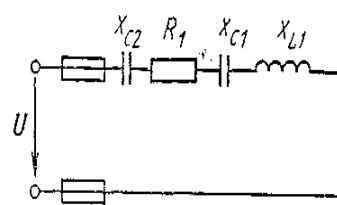


Рисунок 13.5

Таблица 13.1

№ Варианта	№ рисунка	R_1 , Ом	R_2 , Ом	X_{L1} , Ом	X_{L2} , Ом	X_{C1} , Ом	X_{C2} , Ом	Дополнительная величина
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	13.3	8	4	18	-	2	-	$I=10$ А
2	13.3	10	20	50	-	10	-	$P=120$ Вт
3	13.3	3	1	5	-	2	-	$P_2=100$ Вт

1	2	3	4	5	6	7	8	9
4	13.3	12	20	30	-	6	-	$U_1=72 \text{ В}$
5	13.3	4	8	18	-	2	-	$U=40 \text{ В}$
6	13.3	2	1	4	-	8	-	$Q_{C1}=-96 \text{ Вар}$
7	13.3	20	10	10	-	50	-	$Q=-640 \text{ Вар}$
8	13.3	1	3	2	-	5	-	$Q_{C1}=-125 \text{ Вар}$
9	13.3	1	2	8	-	4	-	$S=80 \text{ ВА}$
10	13.3	8	4	6	-	22	-	$P_1=32 \text{ Вт}$
11	13.4	6	-	2	10	4	-	$U=40 \text{ В}$
12	13.4	4	-	6	2	5	-	$P=16 \text{ Вт}$
13	13.4	16	-	15	5	8	-	$Q_{L1}=135 \text{ Вар}$
14	13.4	32	-	8	4	12	-	$Q_{L2}=16 \text{ Вар}$
15	13.4	8	-	2	2	10	-	$Q_{C1}=-20 \text{ Вар}$
16	13.4	3	-	10	12	26	-	$P_1=48 \text{ Вт}$
17	13.4	4	-	10	9	16	-	$U_1=12 \text{ В}$
18	13.4	16	-	3	5	20	-	$Q_{C1}=-720 \text{ Вар}$
19	13.4	6	-	10	2	4	-	$I=5 \text{ А}$
20	13.4	4	-	3	6	12	-	$S=500 \text{ ВА}$
21	13.5	4	-	9	-	3	3	$U=20 \text{ В}$
22	13.5	8	-	12	-	4	2	$Q_{L1}=48 \text{ Вар}$
23	13.5	80	-	100	-	25	15	$I=1 \text{ А}$
24	13.5	60	-	20	-	40	60	$Q_{C2}=-240 \text{ Вар}$
25	13.5	48	-	36	-	60	40	$P=432 \text{ Вт}$
26	13.5	4	-	6	-	4	5	$P=100 \text{ Вт}$
27	13.5	40	-	50	-	12	8	$Q_{L1}=200 \text{ Вар}$
28	13.5	12	-	16	-	10	6	$U_{L1}=160 \text{ В}$
29	13.5	24	-	28	-	35	25	$S=1000 \text{ ВА}$
30	13.5	8	-	6	-	8	4	$U_{C2}=20 \text{ В}$

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №14

РАЗВЕТВЛЕННАЯ ЦЕПЬ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА С АКТИВНЫМ СОПРОТИВЛЕНИЕМ, ИНДУКТИВНОСТЬЮ И ЕМКОСТЬЮ

Цель работы:

- Формирование освоения умений и усвоения знаний и овладение профессиональными (ПК) и общими (ОК) компетенциями: У 1-5; 31-6; ПК 1.1 - 1.3; ПК 2.1 – 2.3; ПК 3.2 – 3.4; ПК 4.1, 4.2; ОК01–ОК10;

- Закрепить навыки расчета трехфазных цепей переменного тока.

- Уметь строить векторные диаграммы напряжений и токов.

Теоретические сведения.

Токи в параллельных цепях условно разделяют на активную и реактивную составляющие. В данной работе изучается электрическая цепь синусоидального напряжения, состоящая из трёх параллельных ветвей. Резистор представляет собой активный элемент, поэтому:

$$I_A = I_1; I_P = 0; S = U \cdot I_1; P = S; Q = 0; \sin \varphi = 0.$$

Катушка индуктивности - это активно-реактивный элемент:

$$I_A = P_{\text{КАТ}}/U; I_P = \sqrt{I_2^2 - I_A^2}; P_{\text{КАТ}} = P_{\text{ЦЕПИ}} - P_{\text{РЕЗИСТОР}}; \sin\varphi = I_P / I_A; Q = U \cdot I_P; S = U \cdot I.$$

Конденсатор - реактивный элемент (нагревом пренебрегаем):

$$I_A = 0; I_P = I_3; P = 0; Q = S; S = U \cdot I_3; \sin\varphi = -1;$$

Расчётные формулы для всей цепи:

$$I_A = I_{A \text{ РЕЗ}} + I_{A \text{ КАТ}}; I_P = I_{P \text{ КАТ}} - I_{P \text{ КОНД}}; Q = Q_{\text{КАТ}} - Q_{\text{КОНД}}; S = U I; \sin\varphi = I_P / I.$$

Порядок выполнения работы:

1. Собрать электрическую схему согласно рисунку 14.1
2. Занести необходимые измерения в таблицу 14.1
3. Произвести необходимые расчёты, заполнить таблицу.
4. По данным опытов построить векторные диаграммы токов и напряжений. Построение начинать с вектора напряжения в соответствующем масштабе.
5. Ответить на контрольные вопросы.
6. Сделать вывод.

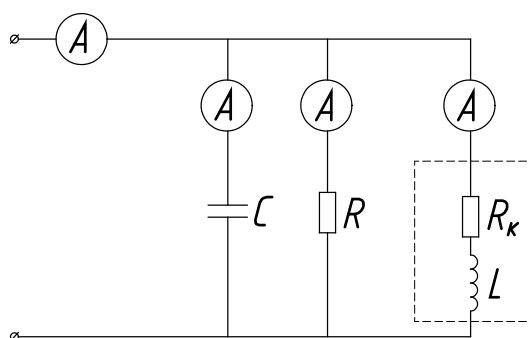


Рисунок 14.1 - Схема исследования параллельного соединения активно-реактивных элементов

Таблица 14.1

№	Нагрузка	I, А	R, Ом м	X, Ом м	Z, Ом м	U, В	P, Вт	Q, Вар	S, ВА	cosφ	φ
1	резистор										
	катушка										
	конденсатор										
	вся цепь										

Контрольные вопросы:

1. С какой целью повышают коэффициент мощности цепи?
2. Как вычислить коэффициент мощности цепи, если измерены ток, напряжение и активная мощность?
3. Как изменится активная мощность цепи, если параллельно активно-индуктивному потребителю подключить конденсатор?
4. За счет чего уменьшается потребляемый из сети ток, если параллельно активно-индуктивному потребителю подключить конденсатор?
5. Как рассчитать емкость конденсатора, необходимую для полной компенсации реактивной энергии?
6. Как построить векторную диаграмму цепи, содержащую параллельно включенные индуктивную катушку и резистор?

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 15

РАСЧЕТ РАЗВЕТВЛЕННЫХ ЦЕПЕЙ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Цель работы:

- Формирование освоения умений и усвоения знаний и овладение профессиональными (ПК) и общими (ОК) компетенциями: У 1-5; 31-6; ПК 1.1 - 1.3; ПК 2.1 – 2.3; ПК 3.2 – 3.4; ПК 4.1, 4.2; ОК01–ОК10;

- Научиться рассчитывать разветвленные цепи переменного тока и строить векторные диаграммы.

- Закрепить навыки расчета неразветвленных цепей переменного тока и векторных диаграмм для различных видов сопротивлений.

Методические указания к практической работе

Перед решением практической задачи рассмотрим пример решения подобных задач:

Пример: Цепь переменного тока состоит из двух ветвей, соединенных параллельно. Первая ветвь содержит катушку с активным $R_1 = 12$ Ом и индуктивным $X_{L1} = 16$ Ом сопротивлениями; во вторую ветвь включен конденсатор с емкостным сопротивлением $X_{C2} = 8$ Ом и последовательно активное сопротивление $R_2 = 6$ Ом. (рисунок 15а). Активная мощность, потребляемая ветвью, $P_1 = 48$ Вт.

Определить: токи в ветвях и неразделенной части цепи; активные и реактивные мощности цепи; напряжение, приложенное к цепи; угол сдвига фаз между током в неразветвленной части цепи и напряжением; начертить в масштабе векторную диаграмму цепи.

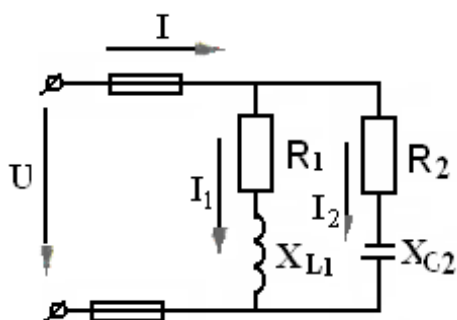


Рисунок 15а - Схема разветвленной цепи переменного тока

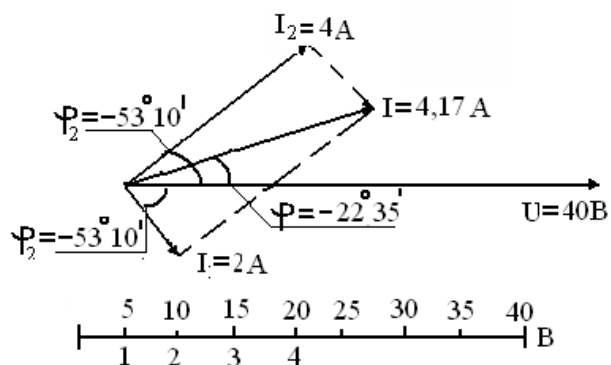


Рисунок 15б - Векторная диаграмма токов и напряжений

Решение:

1. Активная мощность P_1 теряется в активном сопротивлении R_1 . Поэтому $P_1 = I_1^2 R_1^2$. Отсюда

$$I_1 = \sqrt{P_1 / R_1} = \sqrt{48 / 12} = 2 \text{ А}$$

2. Определяем напряжение, приложенное к цепи:

$$U_{\text{вх}} = I_1 Z_1 = I_1 \sqrt{R_1^2 + X_L^2} = 2 \sqrt{12^2 + 16^2} = 40 \text{ В}$$

3. Определяем ток:

$$I_2 = U_{\text{вх}} / Z_2 = U_{\text{АВ}} \sqrt{R_2^2 + X_C^2} = 40 \sqrt{6^2 + 8^2} = 4 \text{ А}$$

4. Находим активную и реактивную мощности, потребляемые цепью:

$$P = I_1^2 R_1 + I_2^2 R_2 = 2^2 \cdot 12 + 4^2 \cdot 6 = 154 \text{ Вт.}$$

$$Q = I_1^2 X_L - I_2^2 X_C = 2^2 \cdot 16 - 4^2 \cdot 8 = -64 \text{ Вар.}$$

Знак «—» показывает, что преобладает реактивная мощность емкостного характера.

Полная мощность, потребляемая цепью,

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} = \sqrt{154^2 + 64^2} = 166,8 \text{ ВА.}$$

5. Определяем ток в неразветвленной части цепи:

$$I = S / U_{\text{вх}} = 166,8 / 40 = 4,17 \text{ А}$$

6. Угол сдвига фаз во всей цепи находим через $\sin \varphi$ во избежание потеря знака угла: $\sin \varphi = Q / S = -64 / 166,8 = -0,384$; $\varphi = -22^\circ 35'$.

Знак «—» подчеркивает, что ток цепи опережает напряжение $U_{\text{вх}}$.

Для построения векторной диаграммы определяем углы сдвига фаз в ветвях:

$$\sin \varphi_1 = X_L / Z_1 = 16 / \sqrt{12^2 + 16^2} = 0,8; \varphi_1 = 53^\circ 10'$$

$$\sin \varphi_2 = X_C / Z_2 = 6 / \sqrt{6^2 + 8^2} = 0,6; \varphi_2 = 36^\circ 50'$$

При построении векторной диаграммы за ось принимаем вектор входного напряжения, принимая его начальный угол за 0. Относительно него строим вектора токов в ветвях.

Сопrotивление в первой ветви имеет активно – индуктивный характер, поэтому ток I_1 отстает от напряжения по фазе на угол $\varphi_1 = 53^\circ 10'$. Откладываем данный угол по часовой стрелке от вектора напряжения и строим вектор тока I_1 в масштабе. Сопrotивление во второй ветви имеет активно – емкостный характер, поэтому ток I_2 опережает напряжение по фазе на угол $\varphi_2 = 36^\circ 50'$. Откладываем данный угол против часовой стрелке от вектора напряжения и строим вектор тока I_2 в масштабе.

Производим сложение векторов I_1 и I_2 и получаем вектор тока I в неразветвленной части цепи. Чтобы определить его значение необходимо длину вектора умножить на масштаб тока.

Задача Разветвленная цепь переменного тока состоит из двух параллельных ветвей, содержащих в зависимости от варианта активные сопротивления R_1 и R_2 и реактивные X_L и X_C . Полные сопротивления ветвей Z_1 и Z_2 . К цепи приложено напряжение U . Токи в ветвях соответственно равны I_1 и I_2 ток в неразветвленной части равен I . Ветви потребляют активные мощности P_1 и P_2 и реактивные Q_1 и Q_2 . Общие активная и реактивная мощности цепи P и Q , а полная мощность S . В таблице указан номер рисунка со схемой цепи. Определить значения, отмеченные прочерками в таблице вариантов, и начертить в масштабе векторную диаграмму цепи.

Таблица 15.1 – Исходные данные

№ вар.	№ рис.	R ₁ Ом	R ₂ Ом	X _L Ом	X _C Ом	Z ₁ Ом	Z ₂ Ом	U В	I ₁ А	I ₂ А	P ₁ Вт	Q ₁ Вар	P ₂ Вт	Q ₂ Вар
1	15.1	нет	3	2,5	4			50			нет			
2	15.1	нет	16	10				60			нет		576	
3	15.1	нет	3			2,5	5		20		нет			
4	15.1	нет	6	5				100		10	нет			
5	15.1	нет								10	нет	1000	300	400
6	15.2	8	нет	5	6			50					нет	
7	15.2		нет						5	10	200	150	нет	
8	15.2	8	нет							10	200		нет	500
9	15.2		нет		6			50	5				нет	500
10	15.2		нет	10	16							256	нет	640
11	15.3	нет	5	нет							нет			нет
12	15.3	нет	5	нет					5	4	нет			нет
13	15.3	нет		нет				40			нет	100	80	нет
14	15.3	нет	8	нет						2	нет	16		нет
15	15.3	нет		нет				24			нет	96	72	нет
16	15.4	4	6	8	нет			40				нет		
17	15.4		6		нет				10		400	нет	96	
18	15.4	25	6	8	нет						400	нет		
19	15.4	4		8	нет					4	400	нет		
20	15.4				нет			24	10	4		нет		128
21	15.5	нет	нет	10	20			100			нет		нет	
22	15.5	нет	нет	10					10	5	нет		нет	
23	15.5	нет	нет		3				5	5	нет		нет	
24	15.5	нет	нет					16			нет	128	нет	64
25	15.5	нет	нет	4	5			20			нет		нет	
26	15.6	8			нет					5	200	нет		250
27	15.6	12			нет			80	4	10		нет		
28	15.6				нет				4		48	нет	64	80
29	15.6				нет	20		60		4	144	нет		
30	15.6	8			нет	10	10					нет		150

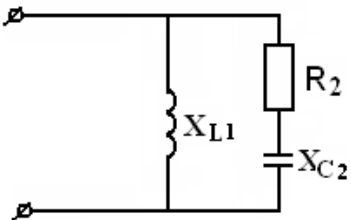


Рисунок 15.1

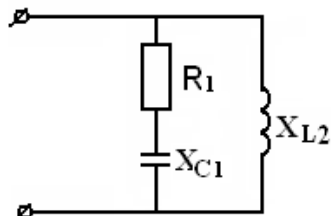


Рисунок 15.2

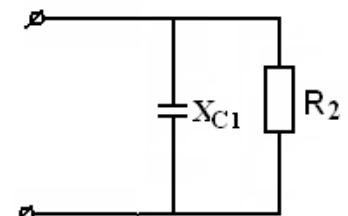


Рисунок 15.3

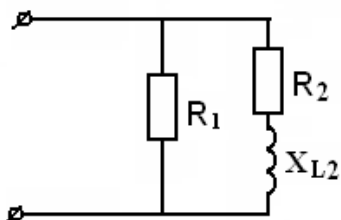


Рисунок 15.4

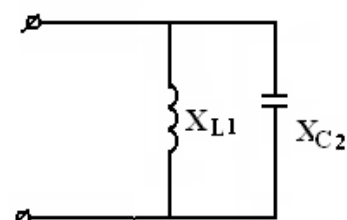


Рисунок 15.5

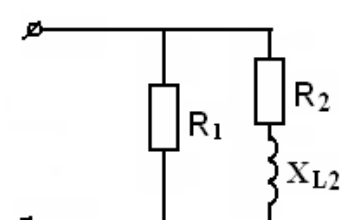


Рисунок 15.6

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №16

ТРЕХФАЗНАЯ ЦЕПЬ ПРИ СОЕДИНЕНИИ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ ЭНЕРГИИ «ЗВЕЗДОЙ»

Цель работы:

- Формирование освоения умений и усвоения знаний и овладение профессиональными (ПК) и общими (ОК) компетенциями: У 1-5; З1-6; ПК 1.1 - 1.3; ПК 2.1 – 2.3; ПК 3.2 – 3.4; ПК 4.1, 4.2; ОК01–ОК10;
- Установить соотношение между линейными и фазными токами напряжениями при различной нагрузке фаз.

Теоретические сведения:

Соединение звездой заключается в том, что концы приёмников X, Y, Z соединяют в одну общую точку, а на оставшиеся свободные начала ABC подают напряжение. В лабораторной работе исследуется четырехпроводная цепь, т.е. цепь с нулевым проводом. В качестве нагрузки (потребителя) служат последовательно соединённые резисторы. Коэффициент мощности равен единице (активная нагрузка), угол сдвига фаз между током и напряжением в каждой фазе равен нулю. Если полные сопротивления отдельных приёмников равны по величине и характеру нагрузки, то такую нагрузку называют симметричной:

$$R_A=R_B=R_C$$

В данной электрической цепи токи в фазах равны по величине и сдвинуты относительно друг друга на 120° . Ток в нулевом проводе отсутствует. При несимметричной нагрузке возникает ток в нулевом проводе:

$$I_0=I_A+I_B+I_C \text{ (сумма векторов)}$$

Сопротивления потребителей можно найти по формулам:

$$R_A= U_A/I_A, R_B= U_B/I_B, R_C= U_C/I_C$$

Обрыв линейного провода можно рассматривать как частный случай несимметричного режима трёхфазной цепи. Нулевой провод выравнивает фазные напряжения при несимметричном потребителе.

Порядок выполнения работы:

1. Установить равные значения сопротивлений всех фаз. Измерить токи и напряжения (в качестве нагрузки используем магазин сопротивлений).
2. Исследовать цепь при несимметричной нагрузке. Показания приборов занести в таблицу измерений 16.1.
3. Прodelать опыт обрыва линейного провода С.
4. По данным опытов вычислить сопротивления резисторов, мощность каждой фазы и всей цепи.
5. Построить векторные диаграммы токов и напряжений для 1 и 3 опытов. (Построение начинаем с симметричной системы напряжений.)

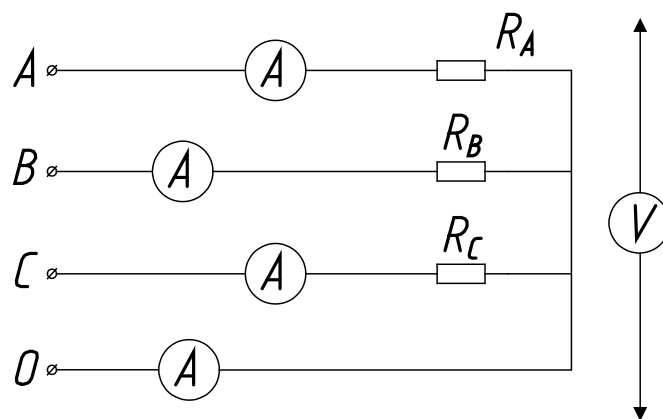


Рисунок 16.1 - Схема исследования трехфазной цепи при соединении потребителя «звездой»

Таблица 16.1

№	Нагрузка	I_A, A	I_B, A	I_C, A	I_0, A	U_A, B	U_B, B	U_C, B	U_{AB}, B	U_{BC}, B	U_{CA}, B
1	равномерная										
2	обрыв фазы С										
3	неравномерная										

Таблица вычислений

№	$R_A, Ом$	$R_B, Ом$	$R_C, Ом$	$P_A, Вт$	$P_B, Вт$	$P_C, Вт$	$P_{цепи}, Вт$
1							
2							
3							

Контрольные вопросы:

1. Какое соединение трех потребителей называется соединением по схеме «звезда»?
2. Какое напряжение потребителя называют фазным и какое линейным?
3. Какая трехфазная нагрузка называется симметричной?
4. В каком случае для подключения к сети потребителя, соединенного звездой, требуется четыре провода, а когда достаточно только трех проводов?
5. В каком соотношении находятся фазные напряжения сети и фазные напряжения потребителей при симметричной нагрузке; несимметричной нагрузке с нейтральным проводом и без него?
6. Как определяется ток в нейтральном проводе?
7. Почему при несимметричном потребителе, соединенном звездой, обрыв нейтрального провода является аварийным режимом?

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №17

ТРЕХФАЗНАЯ ЦЕПЬ ПРИ СОЕДИНЕНИИ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ ЭНЕРГИИ «ТРЕУГОЛЬНИКОМ»

Цель работы:

- Формирование освоения умений и усвоения знаний и овладение профессиональными (ПК) и общими (ОК) компетенциями: У 1-5; 31-6; ПК 1.1 - 1.3; ПК 2.1 – 2.3; ПК 3.2 – 3.4; ПК 4.1, 4.2; ОК01–ОК10;

- Установить соотношения между линейными и фазными токами и напряжениями при различной нагрузке фаз; выявить влияние обрыва линейного провода на работу трёхфазного потребителя.

Теоретические сведения:

При соединении в треугольник приёмники энергии с сопротивлениями R_{AB} , R_{BC} , R_{CA} подключаются непосредственно к линейным проводам, вследствие чего линейные напряжения в то же время являются и фазными напряжениями приёмников: U_{AB} , U_{BC} , U_{CA} . В фазах потребителя возникают фазные токи: I_{AB} , I_{BC} , I_{CA} в линейных проводах - линейные токи: I_A , I_B , I_C . На схеме показаны направления токов. Ток в каждом линейном проводе равен разности фазных токов двух фаз, которые соединены с данным проводом:

$$I_A = I_{AB} - I_{CA}, I_B = I_{BC} - I_{CA}, I_C = I_{CA} - I_{BC}.$$

Сопротивления потребителей можно найти по формулам:

$$Z_{AB} = U_{AB} / I_{AB}, Z_{BC} = U_{BC} / I_{BC}, Z_{CA} = U_{CA} / I_{CA}$$

При симметричной нагрузке фазные токи равны по величине и сдвинуты между собой на угол 120° . Линейные токи при этом больше фазных в 1,73 раза. Активную мощность всего трёхфазного потребителя находят арифметической суммой мощностей отдельных фаз:

$$P = P_{AB} + P_{BC} + P_{CA}.$$

Активную потребляемую мощность каждой фазы находят по формуле:

$$P_{AB} = U_{AB} \cdot I_{AB} \cdot \cos \varphi_{AB}$$

Если сопротивления фаз будут разными, то режим работы называется несимметричным, фазные токи изменятся; изменятся и линейные токи. Обрыв линейного провода С можно рассматривать как частный случай несимметричного режима: фазы ВС и СА окажутся соединёнными последовательно и включёнными под линейное напряжение U_{AB} . Напряжение на фазе АВ не изменится, и она будет работать в прежнем режиме.

Порядок выполнения работы:

1. Установить равные значения сопротивлений всех фаз. Измерить токи и напряжения (в качестве нагрузки используем магазин сопротивлений).

2. Исследовать цепь при несимметричной нагрузке. Показания приборов занести в таблицу измерений 17.1.

3. Прodelать опыт обрыва линейного провода С.

4. По данным опытов вычислить сопротивления резисторов, мощность каждой фазы и всей цепи.

5. Построить векторные диаграммы токов и напряжений для 1 и 2 опытов.
6. Ответить на контрольные вопросы.
7. Сделать вывод.

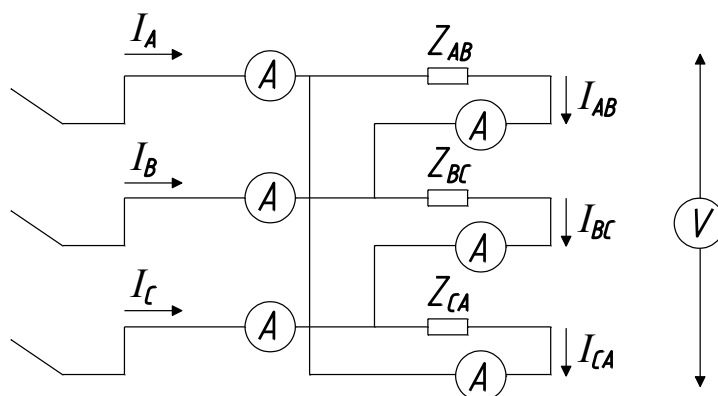


Рисунок 17.1 - Схема исследования трехфазной цепи при соединении потребителя «треугольником»

Таблица 17.1

№	Нагрузка	$U_{AB}, В$	$U_{BC}, В$	$U_{CA}, В$	$I_A, А$	$I_B, А$	$I_C, А$	$I_{AB}, А$	$I_{BC}, А$	$I_{CA}, А$
1	равномерная									
2	неравномерная									
3	обрыв фазы С									

Таблица вычислений

№	$R_{AB}, Ом$	$R_{BC}, Ом$	$R_{CA}, Ом$	$P_{AB}, Вт$	$P_{BC}, Вт$	$P_{CA}, Вт$	$P_{цепи}, Вт$
1							
2							
3							

Контрольные вопросы

1. Какое соединение трех потребителей называется соединением по схеме «треугольник»?
2. Какое напряжение потребителя называют фазным и какое линейным?
3. В каком соотношении находятся линейные и фазные напряжения и токи?

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №18

РАСЧЕТ ТРЕХФАЗНЫХ ЦЕПЕЙ

Цель работы:

- Формирование освоения умений и усвоения знаний и овладение профессиональными (ПК) и общими (ОК) компетенциями: У 1-5; 31-6; ПК 1.1 - 1.3; ПК 2.1 – 2.3; ПК 3.2 – 3.4; ПК 4.1, 4.2; ОК01–ОК10;
- Закрепить навыки расчета трехфазных цепей переменного тока.

- Уметь строить векторные диаграммы напряжений и токов.

Теоретические сведения:

Выполнение данного практического занятия требует знания учебного материала темы: Трехфазные электрические цепи. Представления об особенностях соединения источников и потребителей в звезду и треугольник, соотношениях между линейными и фазными напряжениями и токами при таких соединениях, умения строить векторные диаграммы при симметричной и несимметричной нагрузках, а также в аварийных режимах. Для пояснения методики решения задач на трехфазные цепи приведен пример с подробным решением.

Пример 1.

В трехфазную сеть включили треугольником несимметричную нагрузку (рис. 18.1, а): в фазу АВ - активное сопротивление $R_{AB} = 10$ Ом; в фазу ВС - индуктивное сопротивление $X_{BC} = 6$ Ом и активное $R_{BC} = 8$ Ом; в фазу СА - активное сопротивление $R_{CA} = 5$ Ом. Линейное напряжение сети $U_{НОМ} = 220$ В. Определить фазные токи и начертить векторную диаграмму цепи, из которой графически найти линейные токи в следующих случаях: 1) в нормальном режиме; 2) при аварийном отключении линейного провода А; 3) при аварийном отключении фазы АВ.

Решение:

1. Нормальный режим.

Определяем фазные токи: $I_{AB} \equiv U_{НОМ} / R_{AB} = 220/10 = 22$ А; $I_{BC} = U_{НОМ} / Z_{BC} = U_{НОМ} / \sqrt{R_{BC}^2 + X_{BC}^2} = 220 / \sqrt{8^2 + 6^2} = 22$ А; $I_{CA} = U_{НОМ} / R_{CA} = 220/5 = 44$ А. Вычисляем углы сдвига фаз в каждой фазе: $\varphi_{AB} = 0$;

$$\varphi_{BC} = X_{BC} / Z_{BC} = 6 / \sqrt{8^2 + 6^2} = 0,6; \varphi_{BC} = 36^\circ 50'; \varphi_{CA} = 0.$$

Для построения векторной диаграммы выбираем масштаб по току: 1 см = 10 А и напряжению: 1 см = 40 В. Затем в принятом масштабе откладываем векторы фазных (они же линейные) напряжений U_{AB} , U_{BC} , U_{CA} под углом 120° друг относительно друга (рис. 18.1, б). Затем откладываем векторы фазных токов: ток в фазе АВ совпадает с напряжением U_{AB} ; в фазе ВС ток отстает от напряжения U_{BC} на угол $\varphi_{BC} = 36^\circ 50'$; ток в фазе СА совпадает с напряжением U_{CA} . Затем строим векторы линейных токов на основании известных уравнений:

$$I_A = I_{AB} + (-I_{CA}); I_B = I_{BC} + (-I_{CA}); I_C = I_{CA} + (-I_{BC}).$$

Измеряя длины векторов линейных токов и пользуясь масштабом, находим их значение:

$$I_A = 55 \text{ А}; I_B = 43 \text{ А}; I_C = 48 \text{ А}.$$

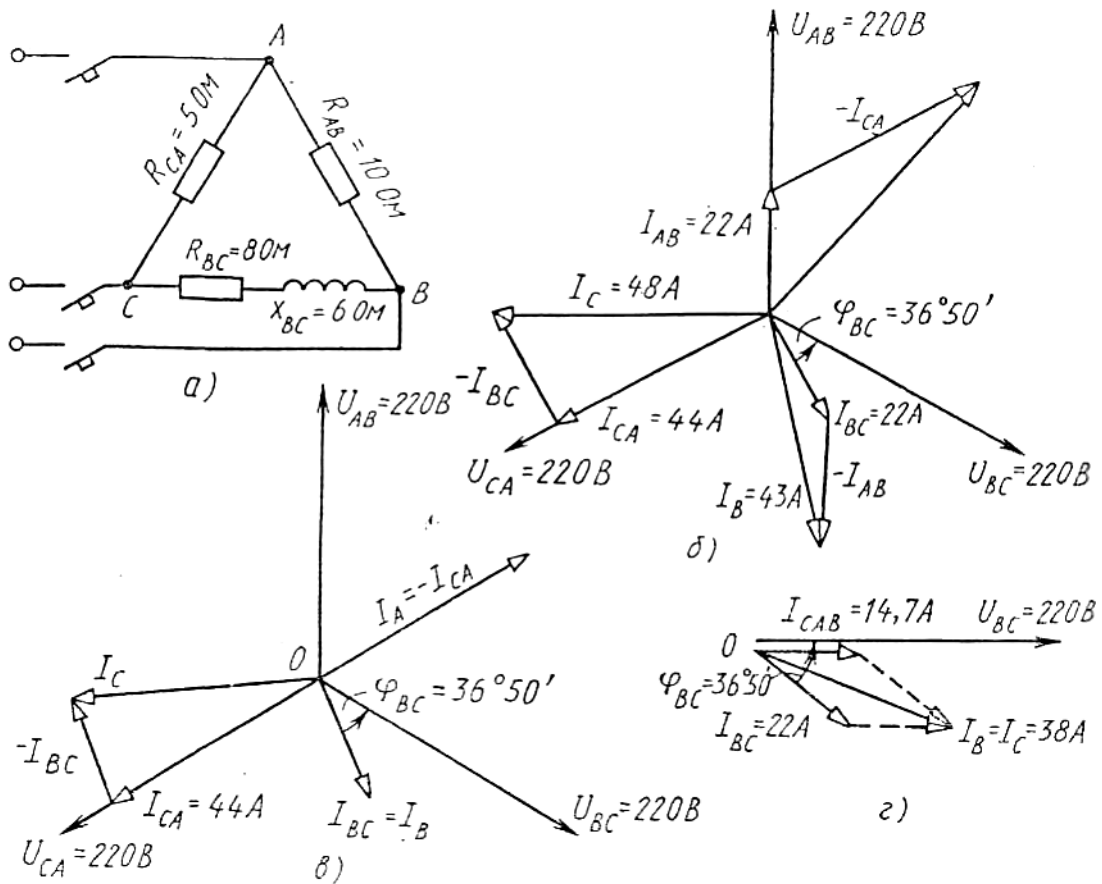


Рисунок 18.1

2. Аварийное отключение линейного провода А.

В этом случае трехфазная цепь превращается в однофазную с двумя параллельно включенными ветвями САВ и ВС и рассчитывается как обычная однофазная схема с одним напряжением U_{BC} . Определяем токи I_{CAB} и I_{BC} .

Полное сопротивление ветви САВ: $Z_{CAB} = R_{CA} + R_{AB} = 5 + 10 = 15 \text{ Ом}$.

Сила тока $I_{CAB} = U_{BC} / Z_{CAB} = 220 / 15 = 14,7 \text{ А}$; $\varphi_{CAB} = 0$.

Полное сопротивление ветви ВС: $Z_{BC} = \sqrt{R_{BC}^2 + X_{BC}^2} = \sqrt{8^2 + 6^2} = 10 \text{ Ом}$.

Сила тока $I_{BC} = U_{BC} / Z_{BC} = 220 / 10 = 22 \text{ А}$; $\varphi_{BC} = X_{BC} / Z_{BC} = 6 / \sqrt{8^2 + 6^2} = 0,6$;

$\varphi_{BC} = 36^\circ 50'$ На (рис. 18.1, г) построена векторная диаграмма цепи. Из

диаграммы находим линейные токи: $I_B = I_C = 38 \text{ А}$. По направлению же эти токи обратны.

3. Аварийное отключение фазы АВ. При этом ток в отключенной фазе равен нулю, а токи в двух других фазах остаются прежними. На (рис.18.1, в) показана векторная диаграмма для этого случая. Ток $I_{AB} = 0$; линейные токи определяются согласно уравнениям: $I_A = I_{AB} + (-I_{CA})$; $I_B = I_{BC} + (-I_{AB})$; $I_C = I_{CA} + (-I_{BC})$. Таким образом, только линейный ток I_C сохраняет свою величину; токи I_A и I_B изменяются до фазных значений. Из диаграммы графически находим линейные токи: $I_A = 44 \text{ А}$; $I_B = 22 \text{ А}$; $I_C = 45 \text{ А}$.

Задание: Варианты 1-10

В трехфазную сеть включили три одинаковые катушки, соединенные в

треугольник. Активное сопротивление катушки R , индуктивное X_L . Линейное напряжение сети $U_{ном}$. Определить: 1) линейные и фазные токи; 2) активную и реактивную мощности, потребляемые цепью; 3) угол сдвига фаз; 4) начертить в масштабе векторную диаграмму цепи. Данные для своего варианта взять из табл. 18.1.

Таблица 18.1 – Исходные данные

Номер варианта	$R, \text{ Ом}$	$X_L, \text{ Ом}$	$U_{ном}, \text{ В}$
1	3	4	380
2	8	6	380
3	4	3	220
4	32	24	220
5	12	16	660
6	6	8	220
7	24	32	660
8	12	16	220
9	32	24	380
0	16	12	380

ПЕРЕЧЕНЬ РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ:

Электронные учебные издания **основной литературы:**

1. Гальперин М. В. Электротехника и электроника: Учебник / Гальперин М.В. - М.:Форум, НИЦ ИНФРА-М, 2019. - 480 с. - (Профессиональное образование) [Электронный ресурс; Режим доступа <http://znanium.com>]

2. Лоторейчук Е. А. Теоретические основы электротехники: Учебник / Е.А. Лоторейчук. - М.: ИД ФОРУМ: НИЦ ИНФРА-М, 2019. - 320 с. [Электронный ресурс; Режим доступа <http://znanium.com>]

3. Немцов М. В. Электротехника и электроника: учебник для студ. учреждений сред. проф. образования – М.: Академия, 2018. – 480 с. [Электронный ресурс; Режим доступа <http://www.academia-moscow.ru>] Электронные учебные издания **дополнительной литературы:**

1. Лоторейчук Е.А. Расчет электрических и магнитных цепей и полей. Решение задач: учебное пособие. — М.: ИД «ФОРУМ»: ИНФРА-М, 2019. — 272 с. [Электронный ресурс; Режим доступа <http://znanium.com>]

2. Потапов Л.А. Теоретические основы электротехники: краткий курс.- М.: Издательство "Лань", 2018. – 376 с. [Электронный ресурс; Режим доступа <https://e.lanbook.com>]

3. Рыбков И. С. Электротехника: Учебное пособие / И.С. Рыбков. - М.: ИЦ РИОР: НИЦ Инфра-М, 2018. - 160 с. [Электронный ресурс; Режим доступа <http://znanium.com>]

4. Славинский А. К. Электротехника с основами электроники: Учебное пособие / А.К. Славинский, И.С. Туревский. - М.: ИД ФОРУМ: НИЦ ИНФРА-М, 2019. - 448 с. [Электронный ресурс; Режим доступа <http://znanium.com>]

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
ОБЩИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ.....	5
ТЕМАТИКА ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ.....	5
ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №1.....	6
ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №2.....	7
ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №3.....	8
ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №4.....	11
ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №5.....	13
ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №6.....	14
ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №7.....	17
ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №8.....	20
ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №9.....	23
ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №10.....	25
ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №11.....	27
ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №12.....	29
ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №13.....	31
ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №14.....	33
ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №15.....	35
ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №16.....	38
ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №17.....	40
ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №18.....	41
ПЕРЕЧЕНЬ РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТРАТУРЫ.....	44

ОП.03 ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

08.00.00 ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ СТРОИТЕЛЬСТВА

специальность 08.02.09 Монтаж, наладка и эксплуатация
электрооборудования промышленных и гражданских зданий

**Методические указания к практическим занятиям
для обучающихся 2 курса очной формы обучения
образовательных организаций
среднего профессионального образования**

Методические указания
разработал преподаватель: Даценко Оксана Владимировна

Подписано к печати *10.11.2022 г.*

Формат 60x84/16

Тираж

Объем **2,9** п.л.

Заказ

1 экз.

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Югорский государственный университет» (ЮГУ)
НЕФТЯНОЙ ИНСТИТУТ
**(ФИЛИАЛ) ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ЮГОРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**
628615 Тюменская обл., Ханты-Мансийский автономный округ,
г. Нижневартовск, ул. Мира, 37.