

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
КЫРГЫЗСКОЙ РЕСПУБЛИКИ**

ОШСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

ИННОВАЦИОННЫЙ КОЛЛЕДЖ STEM

Предметный цикл по техническим дисциплинам

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ПРАКТИЧЕСКИХ
РАБОТ
ПО ДИСЦИПЛИНЕ**

«Физические основы электроэнергетики»

2020

СОДЕРЖАНИЕ

1 ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА	3
2 ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ РАБОТ	4
3 МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ПРАКТИЧЕСКИХ РАБОТ	5
4 СПИСОК РЕКОМЕНДОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	54

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Практическое занятие – это одна из форм систематических учебных занятий, на которых слушатели приобретают необходимые умения и навыки по тому или иному разделу определенной дисциплины, входящей в состав учебного плана.

Общие цели практического занятия сводятся к закреплению теоретических знаний, более глубокому освоению уже имеющихся у обучающихся умений и навыков и приобретению новых умений и навыков, необходимых им для осуществления своей профессиональной деятельности и составляющих квалификационные требования к специалисту.

В результате выполнения практических работ обучающиеся должны:

Уметь:

- производить расчет параметров электрических цепей;
- собирать электрические схемы и проверять их работу.

В рамках дисциплины «Физические основы электроэнергетики»

на практические занятия отводится 15 часов, предполагается выполнение следующих работ:

Практическое занятие №1 «Закон Кулона».

Практическое занятие № 2. «Потенциал и напряжённость электрического поля»

Практическая работа № 3. «Электрические цепи постоянного тока»

Практическая работа № 4«Закон Ома»

Практическая работа № 5 «Законы Кирхгофа»

Практическое занятие №6 «Эквивалентные цепи»

Практические занятия №7 «Электрический ток в различных средах»

Практическая работа № 8 «Ёмкость конденсаторов»

Практическое занятие №9 «Закон электромагнитной индукции»

Практическое занятие №10 «Однофазный переменный электрический ток»

Практическое занятие №11 «Трёхфазные электрические цепи»

Практическое занятие №12 «Расчёт сопротивления заземления»

Практическое занятие №13 «Расчёт параметров трансформатора»

Практическое занятие №14 «Расчёт параметров АД»

Выполнение практических работ предусматривается в рамках практического занятия, также в рамках часов предусмотренных на самостоятельную работу по каждому заданию закреплено по 1 часу для подготовки к защите работы и собственно её защита, которая осуществляется в рамках часов предусмотренных на консультации. В случае если обучающийся имеет задолженности по защите практических работ, то он не допускается к сдаче зачета по дисциплине.

ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ РАБОТ

2.1 Рекомендации по выполнению работ

При выполнении практических работ, деятельность обучающегося начинается с ознакомлением теоретического материала задания, а после тем заданием, которое перед ним поставлено. После ознакомлением с текстом задания, обучающийся приступает к его

выполнению и по ходу выполнения оформляет его в тетрадь. Порядок выполнения частей работы указывается в каждом конкретном задании отдельно.

2.2 Оформление практической работы

Оформление это важный этап выполнения практической работы или задачи, который позволяет структурировать материал, а также последовательно изложить ход рассуждений обучающегося в ходе работы над заданием.

Практические работы по дисциплине Основы электротехники предполагается оформлять согласно пунктам, предложенным в тексте задания. Каждую задачу предписано завершать ответом, позволяющим вкратце обобщить полученный расчетный материал, а также предложить свои рекомендации.

2.3 Критерии оценки практической работы:

Оценивается отметкой «5», если:

- работа выполнена полностью;
- в логических рассуждениях нет пробелов и ошибок;
- в решении нет технических ошибок (возможны некоторые неточности, опiski, которая не является следствием незнания или непонимания учебного материала).

Отметка «4» ставится в следующих случаях:

- работа выполнена полностью, но обоснования шагов решения недостаточны (если умение обосновывать рассуждения не являлось специальным объектом проверки);
- допущены одна ошибка, или есть два – три недочёта в термических терминах, чертежах (если эти виды работ не являлись специальным объектом проверки).

Отметка «3» ставится, если:

- допущено не более двух ошибок или более двух – трех недочетов в термических терминах, чертежах, но обучающийся обладает обязательными умениями по проверяемой теме.

Отметка «2» ставится, если:

- допущены существенные ошибки, показавшие, что обучающийся не обладает обязательными умениями по данной теме в полной мере.

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ПРАКТИЧЕСКИХ РАБОТ

Алгоритм решения задач

1. Прочитать условие задачи.
2. Записать в «Дано» все перечисленные в условии физические величины и константы.
3. Перевести единицы измерения в систему СИ.
4. Выяснить к какому разделу электротехники относится задача. При необходимости сделать рисунок, график. Выбрать и записать формулы и законы которые способствуют решению.
5. Преобразовать формулы и подставить в них цифровые значения из условия.
6. Математически рассчитать.
7. Произвести проверку. Сверить с ответами, оценить реальность полученных данных.

8.Записать выкладку единиц измерения.

9.Записать ответ.

Форма оформления решения задачи

Дано:

Решение:

.....
.....
.....
.....

.....
.....

Найти?

.....

Ответ: _____

Практические работы по дисциплине:

«Физические основы электроэнергетики»

Практическая работа 1

Определение параметров электрических и магнитных полей

Цель занятия:

- 1.Познакомить с основными законами электродинамики определяющими *расчет* электрических и магнитных полей.
- 2.На основе законов электродинамики научить вычислять основные характеристики электрического поля.
- 3.На основе законов электродинамики научить вычислять основные характеристики магнитного поля.

Необходимо:

- 1.Определение основные характеристики электрического поля
- 2.Определение основные характеристики магнитного поля.

Задания:1-5, источник 4.

Формулы для выполнения практической работы 3

Физическая величина	Формула, единицы измерения
Напряжённость электростатического поля	$E = \frac{F_{эл}}{Q}, \left[\frac{В}{м} \right]$

	$E = \frac{F}{Q_2} = \frac{Q_1}{4\pi \cdot \varepsilon \cdot r^2} \left[\frac{B}{M} \right]$
Электрический потенциал	$\varphi_N = \frac{W_N}{Q}, [B]$
Напряжение	$U_{1,2} = \varphi_1 - \varphi_2, [B]$
	$U = \frac{A}{Q} = E \cdot L, [B]$
Закон Кулона	$F = \frac{Q_1 \cdot Q_2}{4\pi \cdot \varepsilon \cdot r^2}, [H]$
Диэлектрическая проницаемость среды	$\varepsilon = \varepsilon_r \cdot \varepsilon_0$
Диэлектрическая проницаемость в вакууме	$\varepsilon_0 = \frac{1}{4\pi \cdot 9 \cdot 10^9} = 8,85 \cdot 10^{-12}$
Закон Ампера	$F = \frac{I_1 \Delta l_1 \cdot I_2 \Delta l_2 \cdot \mu_a}{4\pi \cdot R^2} \cdot \sin \alpha, [H]$
Магнитная проницаемость	$\mu_a = \mu \cdot \mu_0, [\Gamma H / M]$
Постоянная магнитного поля	$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \Gamma H / M$
Магнитная индукция	$B = \frac{F}{Q \cdot v}, [Tл]$
Напряжённость магнитного поля	$H = \frac{B}{\mu_a}, \left[\frac{A}{M} \right]$
Напряжённость длинного прямого проводника	$H = \frac{I}{2\pi l}, \left[\frac{A}{M} \right]$
Напряжённость обмотки с витками	$H = \frac{Iw}{l_{cp}}, \left[\frac{A}{M} \right]$
Магнитный поток	$\Phi = B \cdot S \cdot \cos \beta, [B\sigma]$
	$\Phi = \frac{Iw}{R_\mu}, [B\sigma]$
Магнитное сопротивление	$R_\mu = \frac{l_{cp}}{\mu_a S}, [Om]$
Сила притяжения, создаваемая электромагнитом	$F = 4 \cdot 10^5 \cdot S \cdot B^2, [H]$

Задание 1 Определение основные характеристики электрического поля

- 1*. Заряженные шарики одинаковой массы, подвешены на нитях (рисунок 1 и 2). Определить знаки зарядов
- 2*. Определите знак заряда шариков, подвешенных на нитях (рисунок 3).
- 3*. Одинаковые ли силы действуют на равные заряды q_1 и q_2 со стороны поля заряженного металлического шара (рисунок 4). Указать направление этих сил.

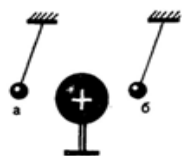


Рисунок 1

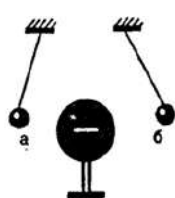


Рисунок 2

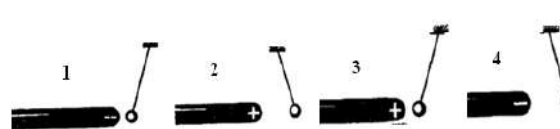


Рисунок 3



Рисунок 4

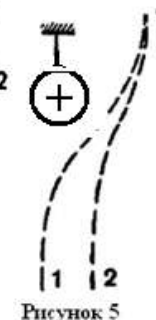


Рисунок 5

4*. На рисунке 5 линиями 1 и 2 показаны траектории движения двух одинаковых капелек воды, которые при свободном падении попали в поле заряженного шара. Какая капелька имела больший заряд? Каков заряд капелек?

5*. Пылинка падает под действием силы тяжести (рисунок 6). Оказавшись над пластинкой А, заряженной отрицательным зарядом, пылинка замедлила свое движение. Изменится ли скорость движения пылинки, если пластинка будет заряжена положительным зарядом?

6*. Капельке масла сообщили отрицательный заряд, и она медленно движется к пластинке А (рисунок 6). Заряд пластинки мы можно изменить.

Что необходимо сделать, чтобы:

- остановить движение капельки;
- заставить капельку двигаться вверх.

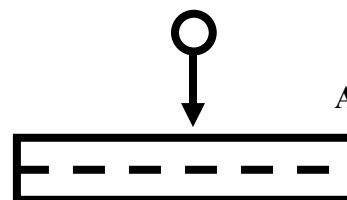


Рисунок 6

7*. Как изменится сила взаимодействия между двумя заряженными телами Q_1 и Q_2 , если заряд Q_2 увеличить в 2 раза?

8*. Как изменится сила взаимодействия между двумя заряженными телами Q_1 и Q_2 , если расстояние между зарядами уменьшить в 2 раза?

9*. Как изменится сила взаимодействия между двумя заряженными телами Q_1 и Q_2 , если заряд Q_2 увеличить в 2 раза, а расстояние между зарядами удвоить?

10*. Как изменится сила взаимодействия между двумя заряженными телами Q_1 и Q_2 , если разделяющий их воздух заменить дистиллированной водой ($\epsilon_r = 81$)?

11*. Расстояние между электрическими зарядами возросло в три раза. Как должны измениться величины зарядов Q_1 и Q_2 , чтобы сила взаимодействия между ними возросла в девять раз?

12*. Сила взаимодействия между двумя зарядами равна 3,7 кН. Величина одного заряда $2 \cdot 10^{-5}$ Кл. Определите величину другого заряда, если они помещены в керосин ($\epsilon_r = 2$) и находятся на расстоянии 10 см друг от друга.

13*. Сила взаимодействия между электрическими зарядами равна 2,32 кН, находящимися в дистиллированной воде ($\epsilon_r = 81$). Определите расстояние между зарядами, если величина заряда $q_1 = 5 \cdot 10^{-4}$ Кл и $q_2 = 2 \cdot 10^{-5}$ Кл.

14*. Величина одного заряда $2 \cdot 10^{-5}$ Кл, другого — $4 \cdot 10^{-4}$ Кл. Определите силу взаимодействия между ними, если они помещены в керосин ($\epsilon = 2$) и находятся на расстоянии 10 см друг от друга.

15*. Определите потенциал точки электрического поля, в которую из бесконечности внесен заряд $q = 3 \cdot 10^{-6}$ Кл, если при этом силами поля совершена работа $A = 6 \cdot 10^{-6}$ Дж.

16*. Вычислите напряженность двух различных электрических полей, действующих на заряд $q = 0,004$ Кл с силами $F_1 = 0,08$ Н и $F_2 = 0,012$ Н.

17*. Определите напряженность электрического поля плоского конденсатора, если расстояние между пластинами 2 мм, а напряжение 220 В.

18*. Потенциал электрического поля в точке А составляет 60 В, а в точке Б — 7 В. Заряд $q = 6$ Кл перенесен из точки А в точку Б. Определить величину работы.

19*. Определить направление силы взаимодействия между электрическими зарядами на рисунках 1 и 2.

- 20[☆]. Определить направление силы взаимодействия между электрическими зарядами на рисунках 2 и 3.
- 21[☆]. Определить направление силы взаимодействия между электрическими зарядами на рисунках 3 и 4

Задание 2 Определение основные характеристики магнитного поля

- 1[☆]. Определить напряженность магнитного поля, создаваемого в магнитопроводе катушкой, имеющей 100 витков, если по ней течет ток 15А, а длина средней силовой линии магнитного поля 0,2 м.
- 2*. Определить величину магнитного потока, который будет протекать по замкнутому магнитопроводу, если намагничивающая сила обмотки 500А, а магнитное сопротивление магнитопровода $2,5 \cdot 10^5$ 1/Гн.
- 3[☆]. К обмотке катушки, имеющей 500 витков, приложено постоянное напряжение 27В. Сопротивление обмотки равно 4 Ом. Сечение провода обмотки равно $2,5 \text{ мм}^2$. Определить величину магнитодвижущей силы катушки и плотность тока в проводе обмотки.

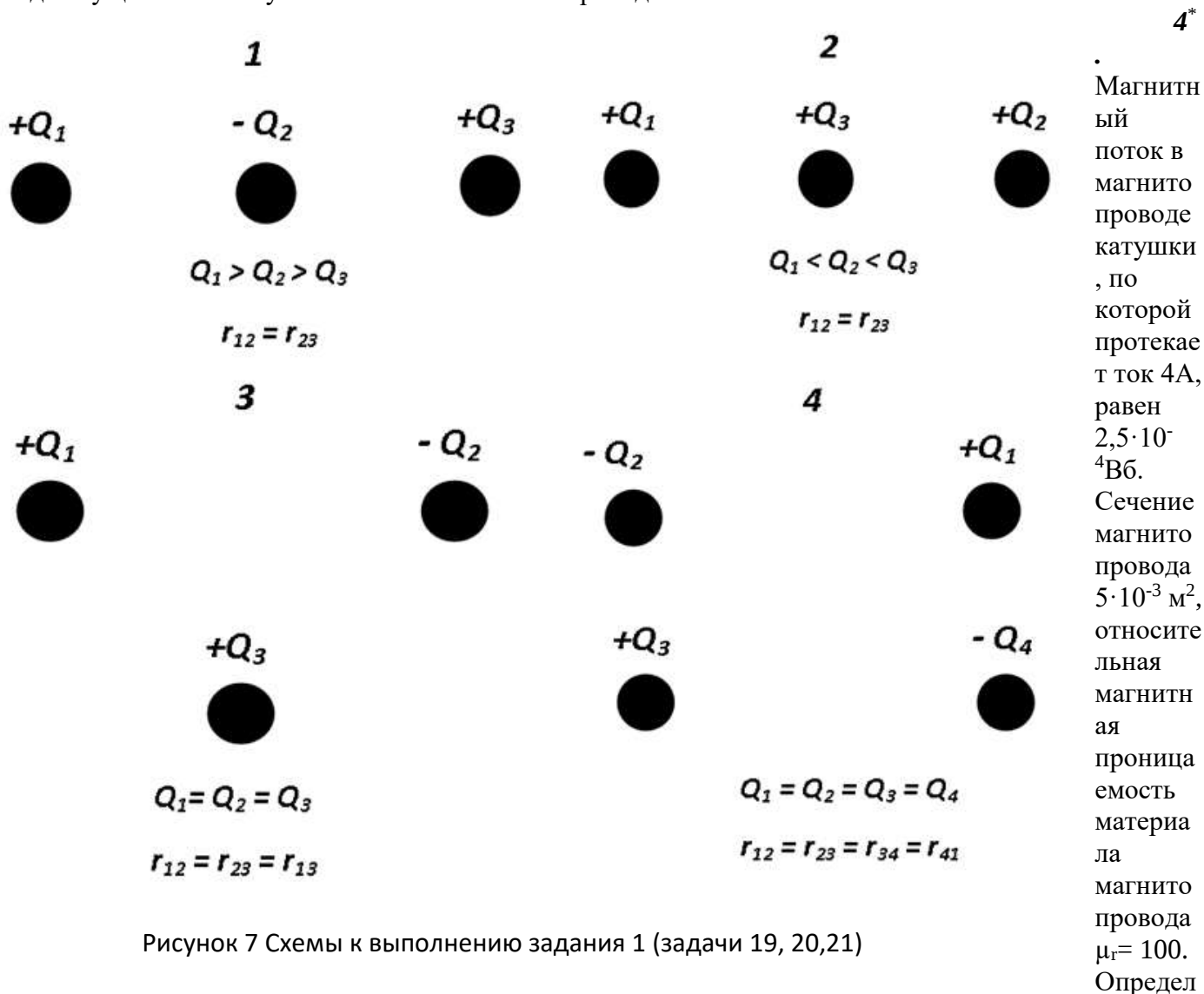


Рисунок 7 Схемы к выполнению задания 1 (задачи 19, 20, 21)

ить число витков на единицу длины должна иметь катушка.

5[☆]. Обмотка катушки индуктивности с числом витков $w = 100$ намотана на магнитопровод из литой стали ($\mu_r = 100$) со следующими конструктивными параметрами: $S = 4 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$ и $l = 0,2 \text{ м}$. Определить магнитный поток и магнитное сопротивление при токи обмотки 8 А.

6[☆]. Определить диапазон значений магнитного сопротивления магнитопровода при изменении его длины от 0,1 до 0,3 м, а площади поперечного сечения от 0,1 до $0,05 \text{ м}^2$. Магнитопровод выполнен из материала с относительной магнитной проницаемостью $\mu_r = 500$.

7*. Определить силу, которую создаёт подковообразный электромагнит, если площадь поперечного сечения обоих полюсов $0,002 \text{ м}^2$, а магнитная индукция 1,5 Тл. Определить магнитную индукцию, необходимую для создания силы притяжения 3 000 Н.

8*. По двум параллельным шинам длиной 20м протекает ток 1000А. Определить на каком расстоянии друг от друга необходимо разместить шины, чтобы действующие на них силы не превышали 10 Н.

9*. Сила притяжения электромагнита составила 1000Н при магнитной индукции в магнитопроводе 0,1 Тл. Определить силу, создаваемую электромагнитом при индукции 0,5 Тл.

10*. На кольцевой однородный магнитопровод намотана намагничивающая обмотка с числом витков $w = 150$. Наружный диаметр кольца $D = 140$ мм; внутренний диаметр $d = 80$ мм, его поперечное сечение квадратное.

Определить ток и магнитодвижущую силу обмотки, необходимые для создания в магнитопроводе потока $\Phi = 1,53 \cdot 10^{-3}$ Вб.

Определить величину магнитного сопротивления магнитопровода, если напряжённость магнитного поля равна 3000 А/м.

11*. На кольцевой однородный магнитопровод намотана намагничивающая обмотка с числом витков $w = 100$. Наружный диаметр кольца $D = 9$ см, внутренний $d = 5$ см, его поперечное сечение прямоугольной формы толщиной 3 см.

Определить магнитный поток и напряжённость магнитного поля в магнитопроводе, если он выполнен из ферромагнитного материала, имеющего $\mu_r = 250$ при токе намагничивающей обмотки 10 А.

12*. Определить ток, протекающий по обмотке электромагнита, намотанной на магнитопровод, если она имеет 500 витков. Длина средней силовой линии 2 м, площадь поперечного сечения магнитопровода $0,28 \text{ м}^2$. Магнитный поток в магнитопроводе из электротехнической стали 3411 ($\mu_r = 50$) равен 0,05 Вб.

13*. Магнитопровод имеет две обмотки число витков первой $w_1 = 500$, а второй $w_2 = 300$. Определить напряжённость магнитного поля, если токи в обмотках одинаковы и равны 2 А, а длина средней силовой линии магнитного поля 0,2 м.

14*. Определить магнитный поток в магнитопроводе, площадь поперечного сечения которого $2 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$, а магнитная индукция 1,5 Тл.

15*. Определить при каком соотношении диаметров двух круглых магнитопроводов магнитный поток в одном из них при одинаковой индукции будет в 5 раз меньше магнитного потока другого.

16*. Определить напряжённость магнитного поля в воздухе на расстоянии 0,5 м от проводника с током, равным 10 А. Вычислить магнитную индукцию в той же точке.

17*. Определить абсолютную магнитную проницаемость ферромагнитного материала, если магнитная индукция в нем 1,5 Тл при напряженности магнитного поля 2 250 А/м. Рассчитать относительную магнитную проницаемость материала.

18*. При внесении в магнитное поле ферромагнитного бруска индукция в нем оказалась в 500 раз выше, чем магнитная индукция, создаваемая полем той же напряженности в воздухе. Определить абсолютную проницаемость материала бруска.

Занятие №2. Тема: Расчет электрических цепей постоянного тока.

Необходимо:

1. Определить количество ветвей и задать направление токов в ветвях.
2. Задать направление обхода в независимых контурах.
3. Составить уравнения по I и II закону Кирхгофа.
4. Определить токи в ветвях.
5. Составить баланс мощности системы

Цель занятия:

1. Познакомить с основными законами, законами Кирхгофа, определяющими расчет электрической цепи.
2. На основе законов Кирхгофа научить составлять разработку ряд а практических методов расчета электрических цепей постоянного тока, позволяющих сократить вычисления при расчете сложных схем.
3. Научить существенно упрощать вычисления, а в некоторых случаях и снизить трудоемкость расчета, возможно с помощью эквивалентных преобразований схемы.
4. Научить составлять баланс мощности системы

Решение задач *Расчет электрических цепей постоянного тока методом эквивалентных преобразований*

Задача 1. Для цепи (рис. 1), **определить эквивалентное сопротивление** относительно входных зажимов $a-g$, если известно: $R_1 = R_2 = 0,5$ Ом, $R_3 = 8$ Ом, $R_4 = R_5 = 1$ Ом, $R_6 = 12$ Ом, $R_7 = 15$ Ом, $R_8 = 2$ Ом, $R_9 = 10$ Ом, $R_{10} = 20$ Ом.

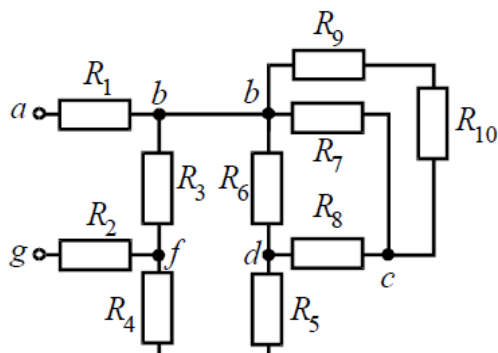


Рис. 1

Решение

Начнем эквивалентные преобразования схемы с ветви наиболее удаленной от источника, т.е. от зажимов $a-g$:

$$R_{11} = R_9 + R_{10} = 10 + 20 = 30 \text{ Ом}; \quad R_{12} = \frac{R_{11} \cdot R_7}{R_{11} + R_7} = \frac{30 \cdot 15}{30 + 15} = 10 \text{ Ом};$$

$$R_{13} = R_8 + R_{12} = 2 + 10 = 12 \text{ Ом}; \quad R_{14} = \frac{R_6 \cdot R_{13}}{R_6 + R_{13}} = \frac{12 \cdot 12}{12 + 12} = 6 \text{ Ом};$$

$$R_{15} = R_{14} + R_5 + R_4 = 6 + 1 + 1 = 8 \text{ Ом}; \quad R_{16} = \frac{R_3 \cdot R_{15}}{R_3 + R_{15}} = \frac{8 \cdot 8}{8 + 8} = 4 \text{ Ом};$$

$$R_g = R_1 + R_{16} + R_2 = 0,5 + 4 + 0,5 = 5 \text{ Ом}.$$

Задача 2. Для цепи (рис. 2, а), **определить входное сопротивление** если известно: $R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = 40$ Ом.

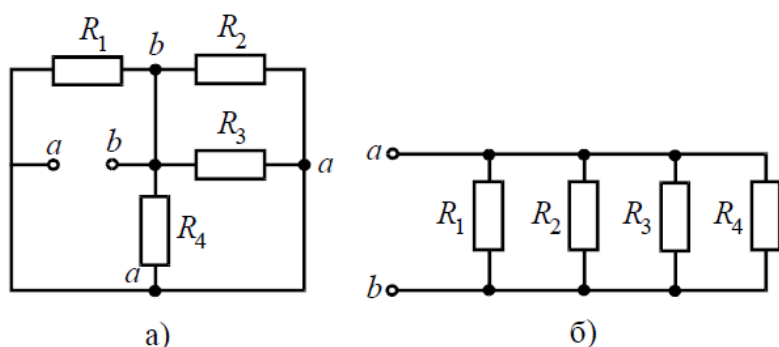


Рис. 2

Решение

Исходную схему можно перерисовать относительно входных зажимов (рис. 2, б), из чего видно, что все сопротивления включены параллельно. Так как величины сопротивлений равны, то для определения величины эквивалентного сопротивления можно воспользоваться формулой:

$$R_g = \frac{R}{n}, \quad \text{где } R - \text{величина сопротивления, Ом};$$

n – количество параллельно соединенных сопротивлений.

$$R_g = \frac{40}{4} = 10 \text{ Ом}.$$

Задача 3. **Определить эквивалентное сопротивление** относительно зажимов $a-b$, если $R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = R_5 = R_6 = 10 \text{ Ом}$ (рис. 3, а).

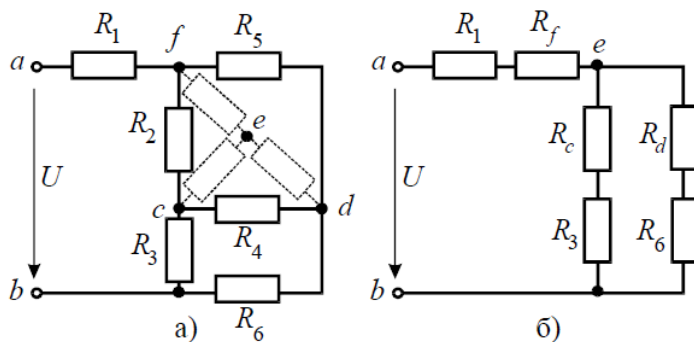


Рис. 3

Решение

Преобразуем соединение «треугольник» $f-d-c$ в эквивалентную «звезду». Определяем величины преобразованных сопротивлений (рис. 3, б):

$$R_f = \frac{R_2 \cdot R_5}{R_2 + R_5 + R_4} = \frac{10 \cdot 10}{10 + 10 + 10} = \frac{100}{30} = 3,33 \text{ Ом}.$$

По условию задачи величины всех сопротивлений равны, а значит:

$$R_f = R_d = R_c = 3,33 \text{ Ом}.$$

На преобразованной схеме получили параллельное соединение ветвей между узлами $e-b$, тогда эквивалентное сопротивление равно:

$$R_{eb} = \frac{(R_c + R_3) \cdot (R_d + R_6)}{(R_c + R_3) + (R_d + R_6)} = \frac{(3,33 + 10) \cdot (3,33 + 10)}{(3,33 + 10) + (3,33 + 10)} = 6,67 \text{ Ом}.$$

И тогда эквивалентное сопротивление исходной схемы представляет последовательное соединение сопротивлений:

$$R_{ab} = R_1 + R_f + R_{eb} = 10 + 3,33 + 6,67 = 20 \text{ Ом}.$$

Задача 4. В заданной цепи (рис. 4, а) **определить методом эквивалентных преобразований** входные сопротивления ветвей $a-b$, $c-d$ и $f-b$, если известно, что: $R_1 = 4 \text{ Ом}$, $R_2 = 8 \text{ Ом}$, $R_3 = 4 \text{ Ом}$, $R_4 = 8 \text{ Ом}$, $R_5 = 2 \text{ Ом}$, $R_6 = 8 \text{ Ом}$, $R_7 = 6 \text{ Ом}$, $R_8 = 8 \text{ Ом}$.

Решение

Для определения входного сопротивления ветвей исключают из схемы все источники ЭДС. При этом точки c и d , а также b и f соединяются накоротко, т.к. внутренние сопротивления идеальных источников напряжения равны нулю.

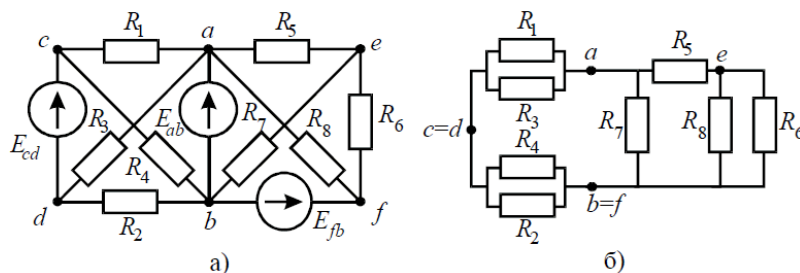


Рис. 4

Ветвь $a-b$ разрывают, и т.к. сопротивление $R_{a-b} = 0$, то входное сопротивление ветви равно эквивалентному сопротивлению схемы относительно точек a и b (рис. 4, б):

$$R'_{ab} = \frac{R_1 \cdot R_3}{R_1 + R_3} + \frac{R_2 \cdot R_4}{R_2 + R_4} = \frac{4 \cdot 4}{4 + 4} + \frac{8 \cdot 8}{8 + 8} = 6 \text{ Ом};$$

$$R''_{ab} = \frac{\left(R_5 + \frac{R_6 \cdot R_8}{R_6 + R_8} \right) \cdot R_7}{R_5 + \frac{R_6 \cdot R_8}{R_6 + R_8} + R_7} = \frac{\left(2 + \frac{8 \cdot 8}{8 + 8} \right) \cdot 6}{2 + \frac{8 \cdot 8}{8 + 8} + 6} = 3 \text{ Ом};$$

$$R_{ab} = \frac{R'_{ab} \cdot R''_{ab}}{R'_{ab} + R''_{ab}} = \frac{6 \cdot 3}{6 + 3} = 2 \text{ Ом}.$$

Аналогично *методом эквивалентных преобразований* определяются входные сопротивления ветвей R_{cd} и R_{bf} . Причем, при вычислении сопротивлений учтено, что соединение *накоротко* точек a и b исключает («закорачивает») из схемы сопротивления R_1, R_2, R_3, R_4 в первом случае, и R_5, R_6, R_7, R_8 во втором случае.

$$R_{cd} = \frac{R_1 \cdot R_4}{R_1 + R_4} + \frac{R_2 \cdot R_3}{R_2 + R_3} = \frac{4 \cdot 8}{4 + 8} + \frac{8 \cdot 4}{8 + 4} = \frac{16}{3} \text{ Ом}$$

$$R_{bf} = \frac{\left(R_6 + \frac{R_5 \cdot R_8}{R_5 + R_8} \right) \cdot R_7}{R_6 + \frac{R_5 \cdot R_8}{R_5 + R_8} + R_7} = \frac{\left(8 + \frac{2 \cdot 8}{2 + 8} \right) \cdot 6}{8 + \frac{2 \cdot 8}{2 + 8} + 6} = \frac{48}{13} \text{ Ом}.$$

Задача 5. В цепи (рис. 5) *определить методом эквивалентных преобразований* токи I_1, I_2, I_3 и *составить баланс мощностей*, если известно: $R_1 = 12 \text{ Ом}, R_2 = 20 \text{ Ом}, R_3 = 30 \text{ Ом}, U = 120 \text{ В}$.

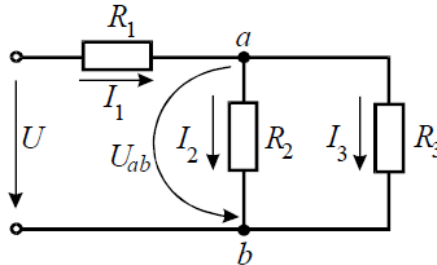


Рис. 5

Решение

Эквивалентное сопротивление для параллельно включенных сопротивлений:

$$R_{23} = \frac{R_2 \cdot R_3}{R_2 + R_3} = \frac{20 \cdot 30}{20 + 30} = 12 \text{ Ом}.$$

Эквивалентное сопротивление всей цепи:

$$R_{\Sigma} = R_1 + R_{23} = 12 + 12 = 24 \text{ Ом}.$$

Ток в неразветвленной части схемы:

$$I_1 = U / R_{\Sigma} = 120 / 24 = 5 \text{ А}.$$

Напряжение на параллельных сопротивлениях:

$$U_{ab} = R_{23} \cdot I_1 = 12 \cdot 5 = 60 \text{ В}.$$

Токи в параллельных ветвях:

$$I_2 = U_{ab} / R_2 = 60 / 20 = 3 \text{ А};$$

$$I_3 = U_{ab} / R_3 = 60 / 30 = 2 \text{ А}.$$

Баланс мощностей:

$$P_{ист} = I_1 \cdot U = 5 \cdot 120 = 600 \text{ Вт};$$

$$P_{потр} = I_1^2 \cdot R_1 + I_2^2 \cdot R_2 + I_3^2 \cdot R_3 = 5^2 \cdot 12 + 3^2 \cdot 20 + 2^2 \cdot 30 = 600 \text{ Вт}.$$

Домашнее задание: Задания:

5,6, стр.29-30. источник 4.

Задача 6. В цепи (рис. 6, а), **определить методом эквивалентных преобразований показания амперметра**, если известно: $R_1 = 2 \text{ Ом}$, $R_2 = 20 \text{ Ом}$, $R_3 = 30 \text{ Ом}$, $R_4 = 40 \text{ Ом}$, $R_5 = 10 \text{ Ом}$, $R_6 = 20 \text{ Ом}$, $E = 48 \text{ В}$. Сопротивление амперметра можно считать равным нулю.

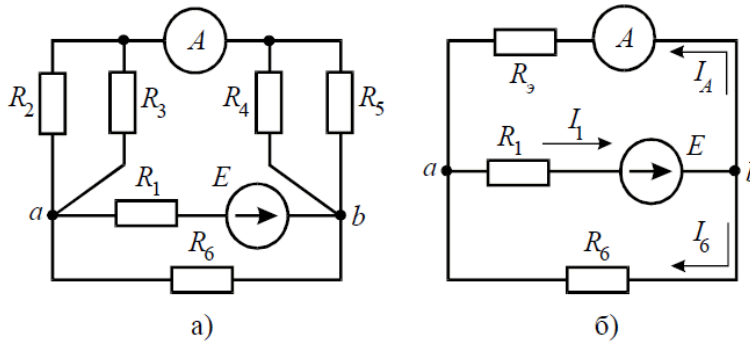


Рис. 6

Решение

Если сопротивления R_2, R_3, R_4, R_5 заменить одним эквивалентным сопротивлением R_3 , то исходную схему можно представить в упрощенном виде (рис. 6, б).

Величина эквивалентного сопротивления:

$$R_3 = \frac{R_2 \cdot R_3}{R_2 + R_3} + \frac{R_4 \cdot R_5}{R_4 + R_5} = \frac{20 \cdot 30}{20 + 30} + \frac{40 \cdot 10}{40 + 10} = 20 \text{ Ом}$$

Преобразовав параллельное соединение сопротивлений R_3 и R_6 схемы (рис. 6, б), получим замкнутый контур, для которого по **второму закону Кирхгофа** можно записать уравнение:

$$I_1 \cdot \left(R_1 + \frac{R_3 \cdot R_6}{R_3 + R_6} \right) = E,$$

откуда ток I_1 :

$$I_1 = \frac{E}{R_1 + \frac{R_3 \cdot R_6}{R_3 + R_6}} = \frac{48}{2 + \frac{20 \cdot 20}{20 + 20}} = 4 \text{ А}.$$

Напряжение на зажимах параллельных ветвей U_{ab} выразим из уравнения по **закону Ома** для пассивной ветви, полученной преобразованием R_3 и R_6 :

$$U_{ab} = I_1 \cdot \frac{R_3 \cdot R_6}{R_3 + R_6}.$$

Тогда амперметр покажет ток:

$$I_A = I_1 \cdot \frac{R_6}{R_3 + R_6} = 4 \cdot \frac{20}{20 + 20} = 2 \text{ А}.$$

Задача 7. **Определить токи ветвей схемы методом эквивалентных преобразований** (рис. 7, а), если $R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = 3 \text{ Ом}$, $J = 5 \text{ А}$, $R_5 = 5 \text{ Ом}$.

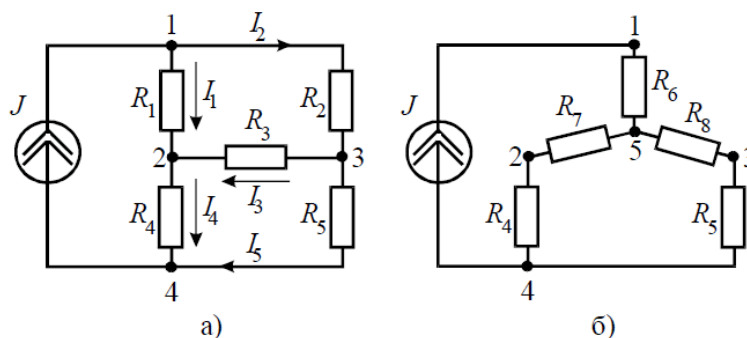


Рис. 7

Решение

Преобразуем «треугольник» сопротивлений R_1, R_2, R_3 в эквивалентную «звезду» R_6, R_7, R_8 (рис. 7, б) и определим величины полученных сопротивлений:

$$R_6 = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2 + R_3} = \frac{3 \cdot 3}{3 + 3 + 3} = 1 \text{ Ом};$$

$$R_7 = \frac{R_1 \cdot R_3}{R_1 + R_2 + R_3} = \frac{3 \cdot 3}{3 + 3 + 3} = 1 \text{ Ом};$$

$$R_8 = \frac{R_2 \cdot R_3}{R_1 + R_2 + R_3} = \frac{3 \cdot 3}{3 + 3 + 3} = 1 \text{ Ом}.$$

Преобразуем параллельное соединение ветвей между узлами 4 и 5

$$R_9 = \frac{(R_4 + R_7) \cdot (R_5 + R_8)}{(R_4 + R_7) + (R_5 + R_8)} = \frac{(1 + 3) \cdot (1 + 5)}{1 + 3 + 1 + 5} = 2,4 \text{ Ом}.$$

Ток в контуре, полученном в результате преобразований, считаем равным току источника тока J , и тогда напряжение:

$$U_{54} = J \cdot R_9 = 5 \cdot 2,4 = 12 \text{ В}.$$

И теперь можно определить токи I_4 и I_5 :

$$I_4 = \frac{U_{54}}{R_7 + R_4} = \frac{12}{1 + 3} = 3 \text{ А}; \quad I_5 = \frac{U_{54}}{R_8 + R_5} = \frac{12}{1 + 5} = 2 \text{ А}.$$

Возвращаясь к исходной схеме, определим напряжение U_{32} из уравнения по второму закону Кирхгофа:

$$U_{32} + I_4 R_4 - I_5 R_5 = 0 \Rightarrow U_{32} = I_5 R_5 - I_4 R_4 = 2 \cdot 5 - 3 \cdot 3 = 1 \text{ В}.$$

Тогда ток в ветви с сопротивлением R_3 определится:

$$I_3 = \frac{U_{32}}{R_3} = \frac{1}{3} = 0,33 \text{ А}.$$

Величины оставшихся неизвестными токов можно определить из уравнений по первому закону Кирхгофа для узлов 3 и 1:

Занятие № 3 Расчет сложных цепей постоянного тока методом узловых и контурных уравнений

Цель занятия:

1. Познакомить с основными законами, законами Кирхгофа, определяющими *расчет электрической цепи*.
2. На основе законов Кирхгофа научить составлять разработку ряда практических методов *расчета электрических цепей постоянного тока*, методом узловых и контурных уравнений, позволяющих сократить вычисления при расчете сложных схем.
3. Научить существенно упрощать вычисления, а в некоторых случаях и снизить трудоемкость расчета, возможно с помощью эквивалентных преобразований схемы.
4. Научить составлять баланс мощности системы

Необходимо:

- 1*. Определить количество ветвей и задать направление токов в ветвях.
- 2*. Задать направление обхода в независимых контурах.
- 3*. Составить уравнения по I и II закону Кирхгофа.
- 4*. Определить токи в ветвях.
5. Составить баланс мощности системы.

Схемы для расчета приведены на рисунке 6.2– 6.3, числовые значения переменных приведены в таблице 1.

Примеры выполнения практической работы 3

Задано:	$E_1 = 100\text{В}, E_2 = 80\text{В}, E_3 = 60\text{В}, R_1 = 6,4\text{Ом}, R_2 = 8,2\text{Ом}, R_3 = 3,5\text{Ом},$ $R_{01} = R_{02} = R_{03} = 0,5\text{Ом},$ схема (рисунок 6.1)
Определить:	$I_1, I_2, I_3, \text{ВМ}$

Решение:

1. Цепь содержит три ветви, два узла и три контура.
2. В цепи три неизвестных тока, следовательно, система уравнений должна иметь три уравнения:
 - одно по I закону Кирхгофа;
 - два по II Закону Кирхгофа.
3. Система уравнений по законам Кирхгофа:

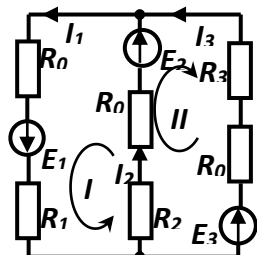


Рисунок 6.1

Система уравнений по законам Кирхгофа:

$$\begin{cases} I_1 = I_2 + I_3 \\ E_2 - E_3 = I_2 \cdot (R_{02} + R_2) - I_3 \cdot (R_{03} + R_3) \\ E_1 + E_2 = I_1 \cdot (R_{01} + R_1) + I_2 \cdot (R_{02} + R_2) \end{cases}$$

$$\begin{cases} I_1 = I_2 + I_3 \\ 80 - 60 = I_2 \cdot (0,5 + 8,2) - I_3 \cdot (0,5 + 3,5) \\ 180 + 80 = I_1 \cdot (0,5 + 6,4) + I_2 \cdot (0,5 + 8,2) \end{cases} \quad \begin{cases} I_1 = I_2 + I_3 \\ 20 = 8,7I_2 - 4I_3 \\ 260 = 6,9I_1 + 8,7I_2 \end{cases}$$

4. Решить полученную систему методом постановки и определяем значение токов в ветвях:

$$I_1 = 17,243\text{А}, \quad I_2 = 7\text{А}, \quad I_3 = 10,24\text{А}$$

5. Баланс мощности цепи

$$\sum P_u = \sum P_n \quad \sum P_u = \sum (E_n \cdot I_n) \quad \sum P_n = \sum (I_n^2 \cdot R_n)$$

$$\sum P_u = E_1 \cdot I_1 + E_2 \cdot I_2 + E_3 \cdot I_3 \quad \sum P_u = 100 \cdot 17,243 + 80 \cdot 7 + 60 \cdot 10,243 = 2899,724\text{Вт}$$

$$\sum P_n = I_1^2 \cdot (R_1 + R_{01}) + I_2^2 (R_{02} + R_2) + I_3^2 (R_{03} + R_3)$$

$$\sum P_n = 17,243^2 \cdot (6,4 + 0,5) + 7^2 \cdot (0,5 + 8,2) + 10,24^2 \cdot (0,5 + 3,5) = 2897,245\text{Вт}$$

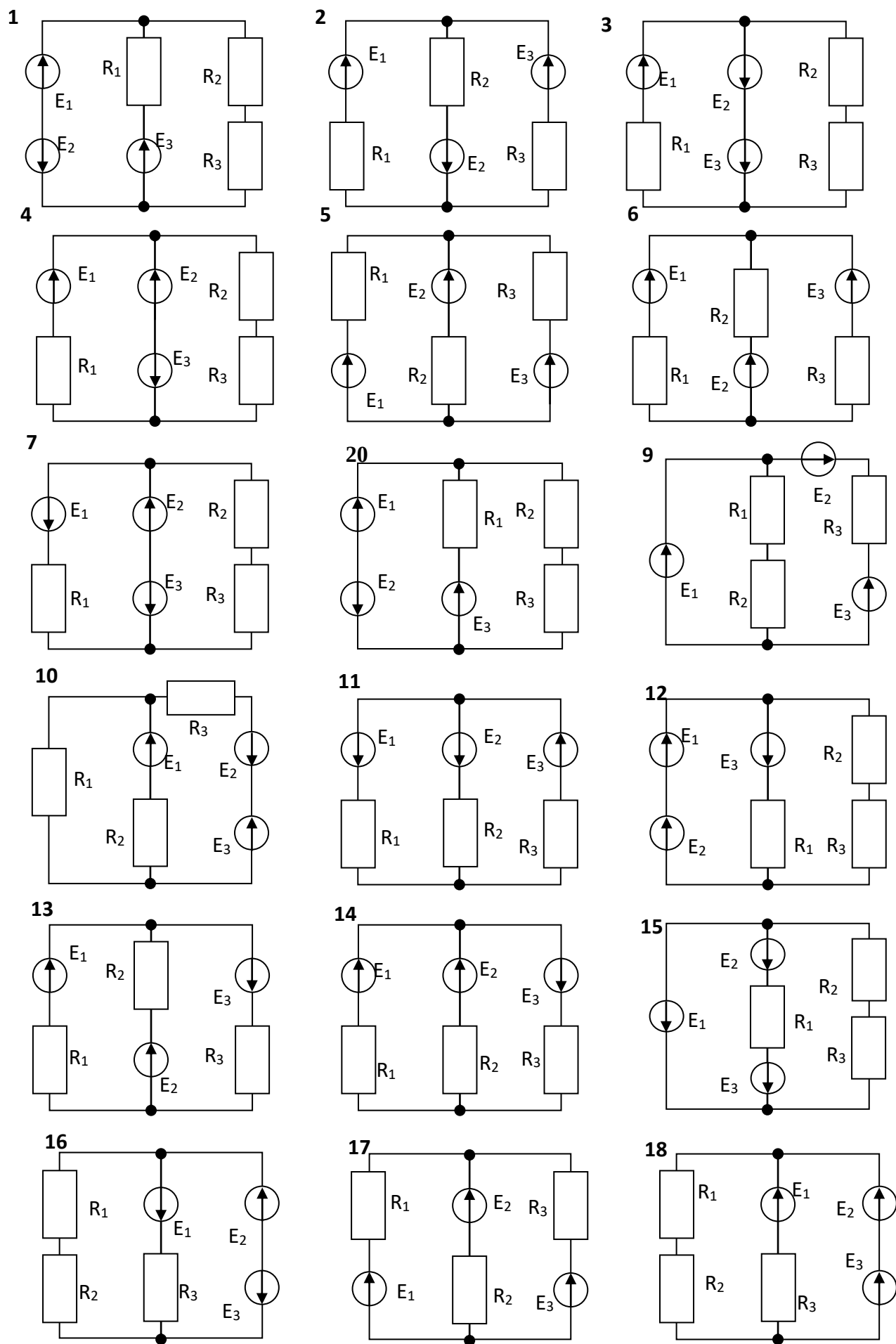


Рисунок 6.2 - Схемы для выполнения практической работы 6

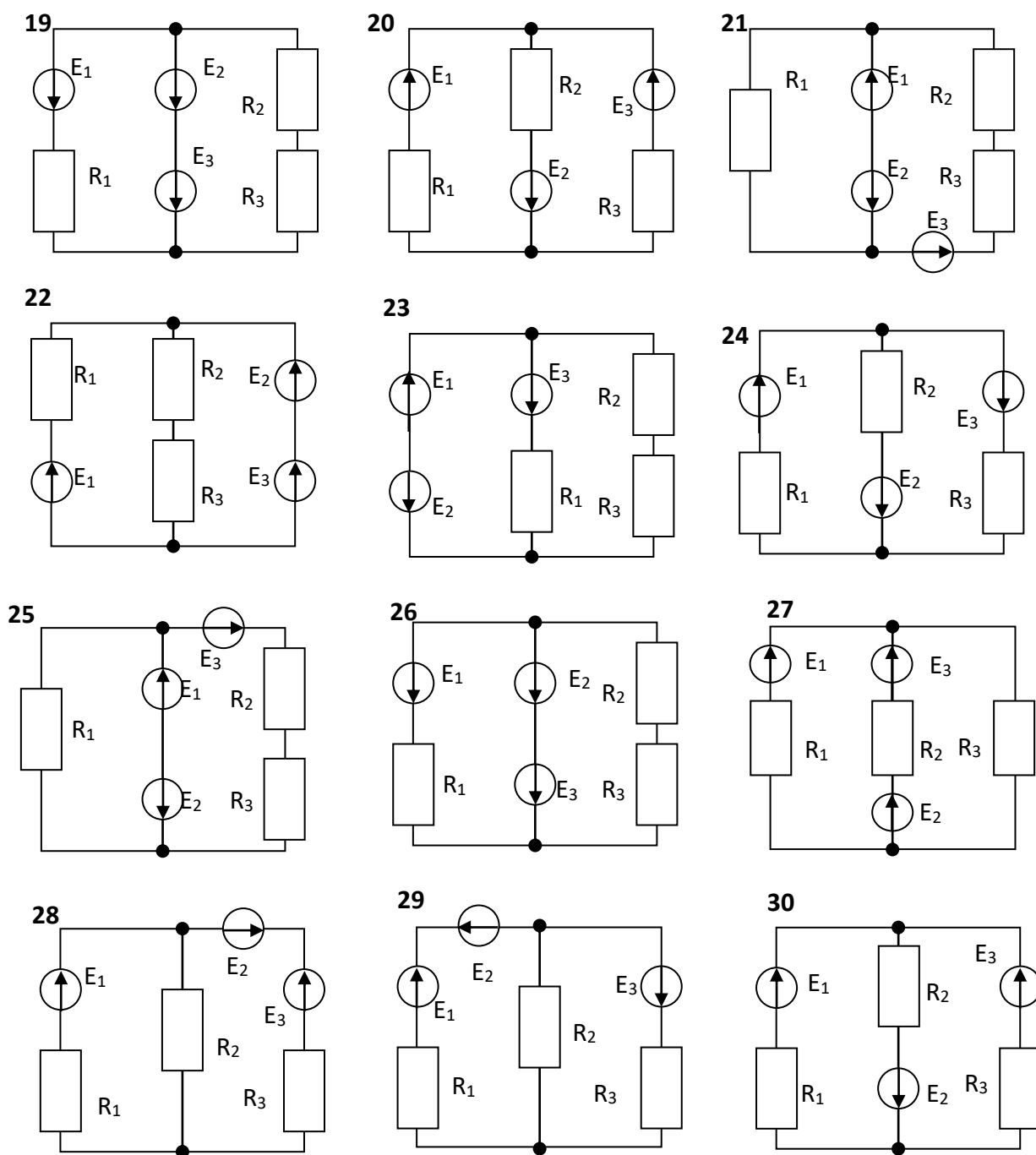


Рисунок 6.3 - Схемы для выполнения практической работы 6

Практическая работа 4 **Законы Кирхгофа**

Цель :решить задачи на закон Кирхгофа.

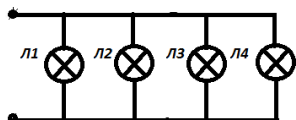
Задание:

1.Сформулируйте первый закон Кирхгофа.

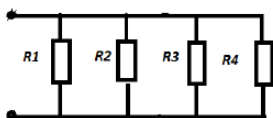
2.Сформулируйте второй закон Кирхгофа.

Решите задачи:

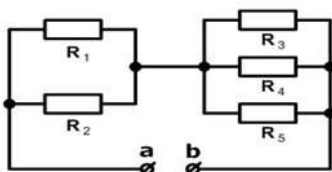
3.Напряжение сети 42В Общий ток ,потребляемый четырьмя параллельно включёнными одинаковыми лампочками ,равен 6 А. Определите сопротивление каждой лампочки.



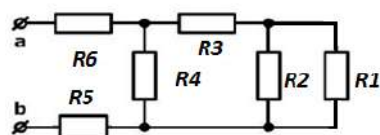
4. Имеется разветвление ,состоящие из четырёх параллельно включённых сопротивлений в 6,4,2и 8Ом. Ток протекающий в точке разветвления, равен 10 А. Определите ток, протекающей по каждой ветке?



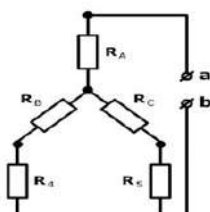
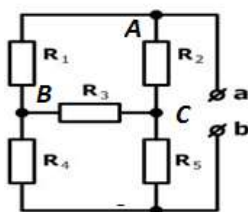
5 Найти эквивалентное сопротивление R_{ab} между зажимами а и в для цепи, показанной на рисунке 2.1, если $R_1 = 30 \text{ Ом}$; $R_2 = 60 \text{ Ом}$; $R_3 = 20 \text{ Ом}$; $R_4 = 30 \text{ Ом}$; $R_5 = 60 \text{ Ом}$.



6.Вычислите эквивалентное сопротивление цепи , если $R_1 = 1 \text{ Ом}$; $R_2 = 2 \text{ Ом}$; $R_3 = 3 \text{ Ом}$; $R_4 = 4 \text{ Ом}$; $R_5 = 5 \text{ Ом}$ $R_6 = 6 \text{ Ом}$



7.Найти эквивалентное сопротивление R_{ab} между зажимами а и в для цепи, показанной на рисунке 3.1, если $R_1 = 10 \text{ Ом}$; $R_2 = 30 \text{ Ом}$; $R_3 = 60 \text{ Ом}$; $R_4 = 14 \text{ Ом}$; $R_5 = 2 \text{ Ом}$.



Приложение

Закон Ома

$$I = U/R$$

Эквивалентное сопротивление Параллельной цепи	$R_{\text{общ}} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$
Эквивалентное сопротивление Последовательной цепи	$R_{\text{общ}} = R_1 + R_2$
первый закон Кирхгофа.	$\sum I_n = 0$
второй закон Кирхгофа.	$\sum I_n R_n = \sum \varepsilon_n$ или $\sum \varepsilon_n = \sum U_n$
Преобразование сопротивлений из треугольник в звезду R_A, R_B, R_C	: $R_A = R_1 R_2 / (R_1 + R_2 + R_3);$ $R_B = R_1 R_3 / (R_1 + R_2 + R_3);$ $R_C = R_2 R_3 / (R_1 + R_2 + R_3);$

Практическая работа

Тема : Законы Кирхгофа

Цель : решить задачи на закон Кирхгофа.

Задание:

1.Сформулируйте первый закон Кирхгофа.

Ответ: Алгебраическая сумма токов в узле электрической цепи равна нулю.

$$\sum I_n = 0$$

2.Сформулируйте второй закон Кирхгофа.

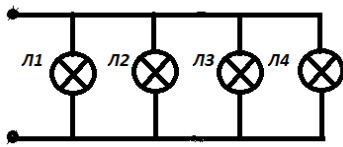
Ответ: В замкнутом контуре алгебраическая сумма падений напряжения на участках цепи равна алгебраической сумме ЭДС.

$$\sum I_n R_n = \sum \varepsilon_n \quad \text{или} \quad \sum \varepsilon_n = \sum U_n$$

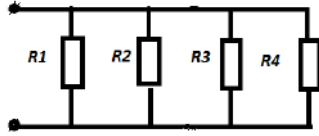
Ответьте на вопросы:

Решите задачи:

3.Напряжение сети 42В Общий ток ,потребляемый четырьмя параллельно включёнными одинаковыми лампочками ,равен 6 А. Определите сопротивление каждой лампочки.

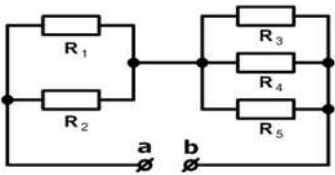
Дано: $U=42\text{В}$ $I_{\text{общ.}}=6\text{ А}$ $I_1=I_2=I_3=I_4$	Решение: $I_{\text{общ.}}=I_1+I_2+I_3+I_4=6\text{А}$ $I_1=6/4=1.5\text{А}$ $I_1=I_2=I_3=I_4=1.5\text{А}$ $R_1=U/I_1$ $R_1=42/1.5=28\text{Ом}$ $R_1=R_2=R_3=R_4=28\text{Ом}$	
Найти: $R_{1-4}=?$	Ответ: $R_1=R_2=R_3=R_4=28\text{Ом}$	

4. Имеется разветвление ,состоящие из четырёх параллельно включённых сопротивлений в 6,4,2и 8Ом. Ток протекающий в точке разветвления, равен 10 А. Определите ток, протекающей по каждой ветке?

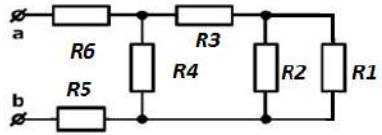
Дано: $I_{\text{общ.}}=10\text{ А}$ $R_1=6\text{Ом}$ $R_2=4\text{Ом}$ $R_3=2\text{Ом}$ $R_4=8\text{Ом}$	Решение: $U=I_{\text{общ.}}/R_{\text{общ.}}$ $R_{12}=\frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$ $R_{12}=\frac{6 \times 4}{6 + 4}=2.4\text{Ом}$ $R_{123}=\frac{2.4 \times 2}{2.4 + 2}=1.1\text{Ом}$	
--	---	--

	$R_{\text{общ}} = \frac{1.1 \times 8}{1.1 + 8} = 0.97 \text{ Ом}$ $U = 10 / 0.97 = 10.3 \text{ В}$ $I_1 = U / R_1 = 10.3 / 6 = 1.7 \text{ А}$ $I_2 = U / R_2 = 10.3 / 4 = 2.6 \text{ А}$ $I_3 = U / R_3 = 10.3 / 2 = 5.15 \text{ А}$ $I_4 = U / R_4 = 10.3 / 8 = 1.3 \text{ А}$ $\Sigma I = 0 = I - (I_1 + I_2 + I_3 + I_4);$
Найти: $I_1 = I_2 = I_3 = I_4 = ?$	Ответ: $I_1 = 1.7 \text{ А} \quad I_2 = 2.6 \text{ А} \quad I_3 = 5.15 \text{ А} \quad I_4 = 1.3 \text{ А}$

5 Найти эквивалентное сопротивление R_{ab} между зажимами а и б для цепи, показанной на рисунке 2.1, если $R_1 = 30 \text{ Ом}$; $R_2 = 60 \text{ Ом}$; $R_3 = 20 \text{ Ом}$; $R_4 = 30 \text{ Ом}$; $R_5 = 60 \text{ Ом}$.

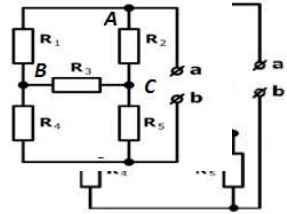
Дано: $R_1 = 30 \text{ Ом}$ $R_2 = 60 \text{ Ом}$ $R_3 = 20 \text{ Ом}$ $R_4 = 30 \text{ Ом}$ $R_5 = 60 \text{ Ом}$	Решение: $R_{12} = R_1 R_2 / (R_1 + R_2);$ $R_{12} = 30 \times 60 / (30 + 60) = 20 \text{ Ом}.$ $R_{45} = R_4 R_5 / (R_4 + R_5);$ $R_{45} = 30 \times 60 / (30 + 60) = 20 \text{ Ом}.$ $R_{345} = R_3 \times R_{45} / (R_3 + R_{45});$ $R_{345} = 20 \times 20 / (20 + 20) = 10 \text{ Ом}.$ $R_{ab} = R_{12} + R_{345};$ $R_{ab} = 20 + 10 = 30 \text{ Ом}.$	
Найти: $R_{ab} = ?$	Ответ: $R_{ab} = 30 \text{ Ом}$	

6. Вычислите эквивалентное сопротивление цепи, если $R_1 = 1 \text{ Ом}$; $R_2 = 2 \text{ Ом}$; $R_3 = 3 \text{ Ом}$; $R_4 = 4 \text{ Ом}$; $R_5 = 5 \text{ Ом}$ $R_6 = 6 \text{ Ом}$

Дано: $R_1 = 1 \text{ Ом}$ $R_2 = 2 \text{ Ом}$ $R_3 = 3 \text{ Ом}$ $R_4 = 4 \text{ Ом}$ $R_5 = 5 \text{ Ом}$ $R_6 = 6 \text{ Ом}$	Решение: $R_{12} = R_1 R_2 / (R_1 + R_2);$ $R_{12} = 1 \times 2 / (1 + 2) = 0.7 \text{ Ом}.$ $R_{123} = R_{12} + R_3;$ $R_{123} = 0.7 + 3 = 3.7 \text{ Ом}$ $R_{1-4} = R_{1-3} \times R_4 / (R_{1-3} + R_4);$ $R_{1-4} = 3.7 \times 4 / (3.7 + 4) = 1.9 \text{ Ом}$ $R_{ab} = R_{1-4} + R_5 + R_6$ $R_{ab} = 1.9 + 5 + 6 = 12.9 \text{ Ом}.$	
Найти: $R_{ab} = ?$	Ответ: $R_{ab} = 12.9 \text{ Ом}$	

7. Найти эквивалентное сопротивление R_{ab} между зажимами а и б для цепи, показанной на рисунке 3.1, если $R_1 = 10 \text{ Ом}$; $R_2 = 30 \text{ Ом}$; $R_3 = 60 \text{ Ом}$; $R_4 = 14 \text{ Ом}$; $R_5 = 2 \text{ Ом}$.

Дано: $R_1 = 10 \text{ Ом}$ $R_2 = 30 \text{ Ом}$ $R_3 = 60 \text{ Ом}$ $R_4 = 14 \text{ Ом}$ $R_5 = 2 \text{ Ом}$	Решение: Преобразуем треугольник сопротивлений R_1, R_2, R_3 в звезду $1) R_A, R_B, R_C :$ $R_A = R_1 R_2 / (R_1 + R_2 + R_3);$ $R_A = 10 \times 30 / (10 + 30 + 60) = 3 \text{ Ом};$ $R_B = R_1 R_3 / (R_1 + R_2 + R_3);$ $R_B = 10 \times 60 / (10 + 30 + 60) = 6 \text{ Ом};$ $R_C = R_2 R_3 / (R_1 + R_2 + R_3);$ $R_C = 30 \times 60 / (10 + 30 + 60) = 10 \text{ Ом};$ $2) R_{B4} = R_B + R_4;$ $R_{B4} = 6 + 14 = 20 \text{ Ом};$ $R_C = R_C + R_5;$
---	--

	$R_{C5} = 18 + 2 = 20 \text{ Ом}$ $3) R_{B4C5} = R_{B4} \cdot R_{C5} / (R_{B4} + R_{C5});$ $R_{B4C5} = 20 \times 20 / (20 + 20) = 10 \text{ Ом};$ $4) R_{ab} = R_A + R_{B4C5};$ $R_{ab} = 3 + 10 = 13 \text{ Ом}$	
Найти: $R_{ab} = ?$	Ответ: $R_{ab} = 13 \text{ Ом}$	

Расчет параметров разветвлённой однофазной цепи переменного тока

Необходимо:

- 1*. Рассчитать величину проводимостей отдельных ветвей и всей цепи.
- 2*. Рассчитать величину составляющих тока ветвей.
- 3*. Рассчитать величину тока неразветвлённой ветви.
4. Определить сдвиг фаз между током и напряжением в цепи.
- 5*. Построить векторную диаграмму.

Схемы для расчета приведены на рисунке 4.2, числовые значения переменных приведены в таблице 4.

Пример выполнения практической работы 4

Задано:	$R_1 = 10 \text{ Ом}, R_2 = 20 \text{ Ом}, L_2 = 20 \text{ мГн}, L_3 = 15 \text{ мГн}, C_1 = 400 \text{ мкФ},$ $C_2 = 300 \text{ мкФ}, U = 12,72 \text{ В}, f = 50 \text{ Гц},$ схема рисунок 12.1
Определить:	$I_1; I_2; I_3; I; \text{ВД}$

Решение:

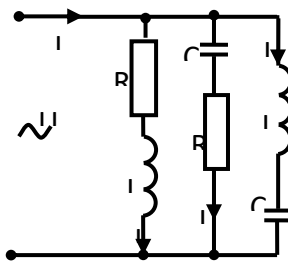


Рисунок 4.1 –

параллельных ветвей:

1. Определить полное сопротивление

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

$$Z_1 = \sqrt{R_1^2 + X_{L2}^2} = \sqrt{1^2 + 6,28^2} = 6,359 \text{ Ом}$$

$$Z_2 = \sqrt{R_2^2 + X_{C1}^2} = \sqrt{2^2 + (7,96)^2} = 8,207 \text{ Ом} \quad Z_3 = \sqrt{(X_{L3} - X_{C3})^2} = \sqrt{(4,71 - 10,62)^2} = 5,91 \text{ Ом}$$

2. Определить проводимость отдельной ветви

$$\text{- активная } g = \frac{R}{Z^2} \quad g_1 = \frac{1}{6,359^2} = 0,02476 \text{ См}, \quad g_2 = \frac{2}{8,207^2} = 0,02969 \text{ См}, \quad g_3 = 0 \text{ См}$$

$$\text{- реактивная } b = \frac{X_L - X_C}{Z^2} \quad b_1 = \frac{6,28}{6,359^2} = 0,155 \text{ См}, \quad b_2 = \frac{-7,96}{8,207^2} = -0,11818 \text{ См},$$

$$b_3 = \frac{4,71 - 10,62}{5,91^2} = -0,1692 \text{ См}$$

3. Определить проводимость всей цепи

$$\text{- активная } g_{123} = g_1 + g_2 + g_3 \quad g_{123} = 0,02476 + 0,02969 = 0,05445 \text{ См}$$

$$\text{- реактивная } b_{123} = b_1 - b_2 - b_3 \quad b_{123} = 0,155 - 0,11818 - 0,1692 = -0,13238 \text{ См}$$

$$\text{- полная } y_{123} = \sqrt{g_{123}^2 + (\pm b_{123})^2} \quad y_{123} = \sqrt{0,05445^2 + (-0,13238)^2} = 0,14314 \text{ См}$$

4. Определить составляющие сопротивления цепи

- активное $R_{123} = \frac{g_{123}}{y_{123}^2} \quad R_{123} = \frac{0,05445}{0,14314^2} = 2,6619 \text{ Ом}$

- реактивное $X_{123} = \frac{\pm b_{123}}{y_{123}^2} \quad X_{123} = \frac{-0,13238}{0,14314^2} = -6,461 \text{ Ом}$

- полное $Z_{123} = \sqrt{2,6619^2 + (-6,461)^2} = 6,9878 \text{ Ом}$

5. Определить сдвиг фаз между током и напряжением

$$\varphi = \arctg \frac{X_{123}}{R_{123}} \quad \varphi = \arctg \frac{-6,461}{2,6619} = -51,3^\circ$$

6. Построение векторной диаграммы

6.1 Составляющие тока

- активная $I_{An} = U \cdot g_n \quad I_{A1} = 12,72 \cdot 0,02476 = 0,31489 \text{ А}, \quad I_{A2} = 12,72 \cdot 0,02969 = 0,3776 \text{ А}$

$$\Sigma I_A = I_{A1} + I_{A2} + I_{A3} \quad \Sigma I_A = 0,31489 + 0,3776 + 0 = 0,69248 \text{ А}$$

- реактивная $I_{pn} = U \cdot b_n \quad I_{P1} = 12,72 \cdot 0,155 = 1,9713 \text{ А},$

$$I_{P2} = 12,72 \cdot (-0,11818) = -1,50301 \text{ А}, \quad I_{P3} = 12,72 \cdot (-0,1692) = -2,15188 \text{ А}$$

$$\Sigma I_P = \pm I_{P1} \pm I_{P2} \pm I_{P3} \quad \Sigma I_P = 1,9713 - 1,50301 - 2,15188 = -1,6836 \text{ А}$$

- полный ток в параллельной ветви $I = \sqrt{I_A^2 + (\pm I_P)^2} \quad I_1 = \sqrt{0,31489^2 + 1,9713^2} = 1,99 \text{ А},$

$$I_2 = \sqrt{0,3776^2 + (-1,50301)^2} = 1,5497 \text{ А}, \quad I_3 = \sqrt{0^2 + (-2,15188)^2} = 2,15188 \text{ А},$$

- общий ток $I = \sqrt{0,69248^2 + (-1,6836)^2} = 1,82 \text{ А}$

6.2 Определить длины векторов, задавшись масштабом по току и напряжению

по току - $m_I = 0,25 \frac{\text{А}}{\text{см}},$ по напряжению - $m_U = 1 \frac{\text{В}}{\text{см}}$

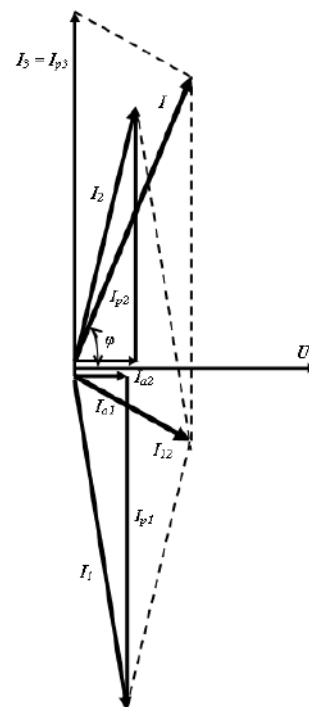
Длины векторов: $l_{Ia1} = \frac{0,3149}{0,25} = 1,25 \text{ см},$

$$l_{Ip1} = \frac{1,97}{0,25} = 7,8 \text{ см}, \quad l_{I1} = \frac{2}{0,25} = 8 \text{ см} \quad l_{Ia2} = \frac{0,3776}{0,25} = 1,51 \text{ см}$$

$$l_{Ip2} = \frac{1,5}{0,25} = 6 \text{ см}, \quad l_{I2} = \frac{1,55}{0,25} = 6,2 \text{ см} \quad l_{Ip3} = \frac{2,15}{0,25} = 8,6 \text{ см},$$

$$l_{I3} = \frac{2,15}{0,25} = 8,6 \text{ см} \quad l_{Ia} = \frac{0,692}{0,25} = 2,768 \text{ см}, \quad l_{Ip} = \frac{1,68}{0,25} = 6,7 \text{ см},$$

$$l_I = \frac{1,82}{0,25} = 7,28 \text{ см} \quad l_U = \frac{5,79}{1} = 5,79 \text{ см}$$



Векторная диаграмма и

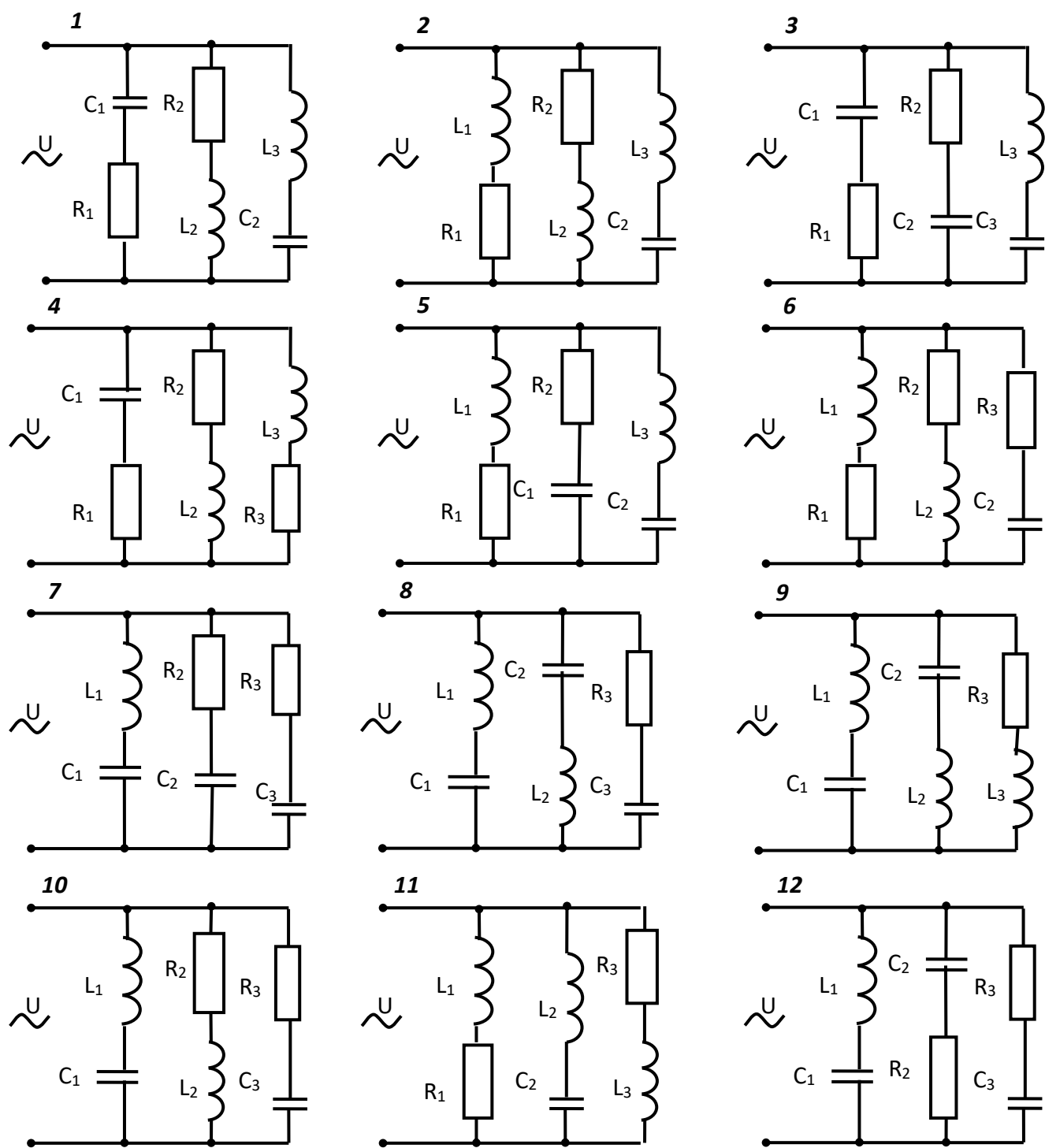


Рисунок 4.2 - Схемы для выполнения практической работы 4

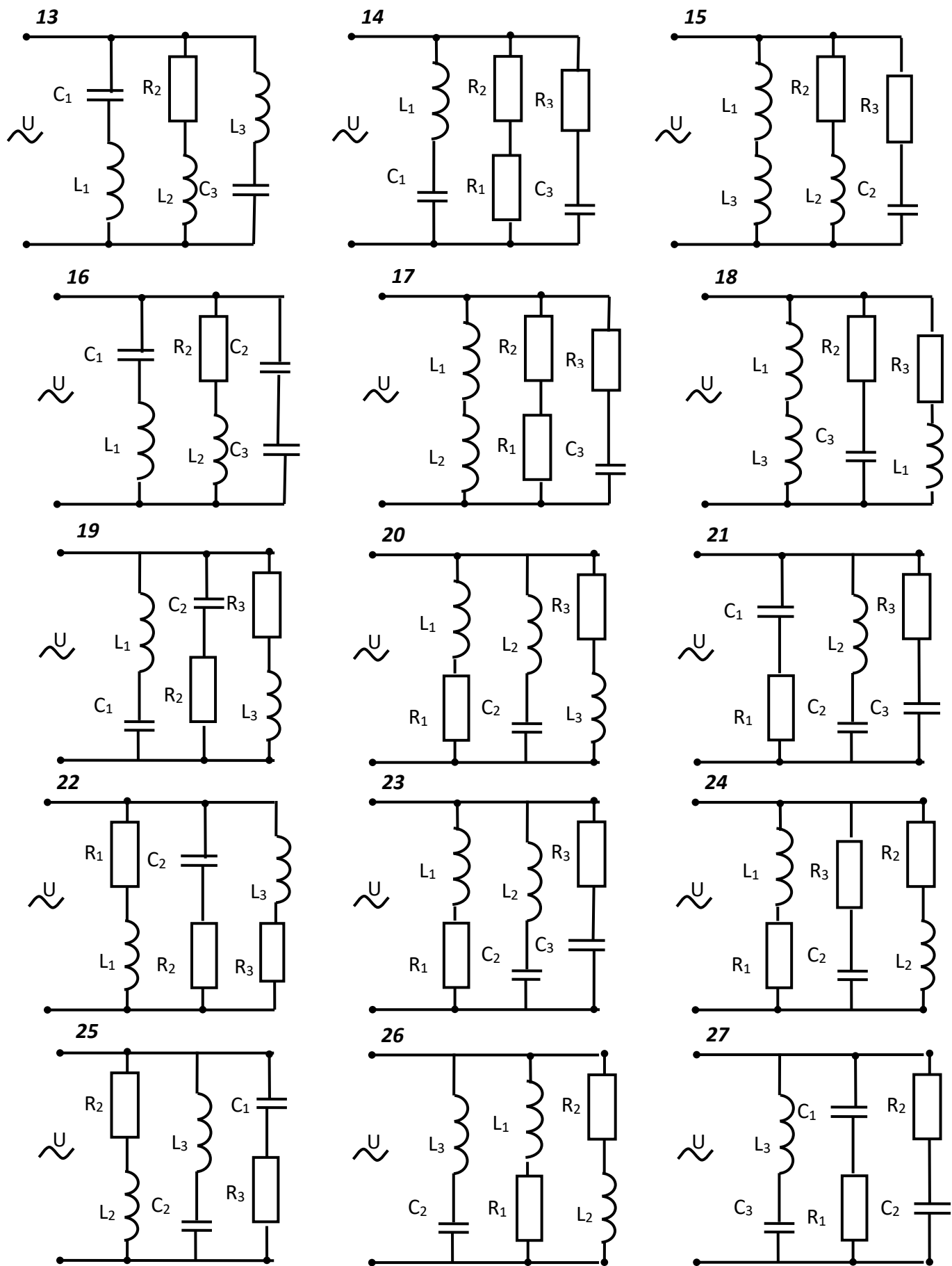


Рисунок 4.2 - Схемы для выполнения практической работы 4

Практическое занятие № 13

Расчёт трёхфазных цепей

Цель. Приобрести навыки расчёта трёхфазных цепей.

Строить и читать векторные диаграммы и по ним создавать схемы трёхфазных цепей. **Задание:** По заданной векторной диаграмме для трёхфазной цепи определить характер нагрузки в каждой фазе, изобразить предполагаемую схему и вычислить значение каждого сопротивления в фазах. По векторной диаграмме, построенной в масштабе, определить графически ток в нулевом проводе.

Задачи для самостоятельного решения

Задача 1 (5.3 Евдокимов)

Осветительная установка здания имеет 150 электрических ламп с номинальной мощностью 60 Вт каждая при номинальном напряжении $U_{\text{ном}} = 220$ В. Лампы включены в трёхфазную сеть с линейным напряжением $U_{\text{л}} = 220$ В и образуют равномерную нагрузку. Определить фазные и линейные токи, мощность осветительной нагрузки в каждой фазе и всей цепи. Изобразить схему.

Задача 2. Осветительная установка здания имеет 150 электрических ламп с номинальной мощностью $P = 60$ Вт каждая при номинальном напряжении $U_{\text{ном}} = 127$ В. Лампы включены в трёхфазную сеть с линейным напряжением $U_{\text{л}} = 220$ В и образуют равномерную нагрузку. Определить способ включения ламп; необходимые токи в электрической цепи. Изобразить схему.

Задача 3. В трёхфазную четырёхпроводную сеть с линейным напряжением 380 В включены шесть одинаковых электроламп ($P_{\text{ном}} = 100$ Вт, $U_{\text{ном}} = 220$ В, по две в фазе). Определить токи в проводах (линейных и нулевом). Изобразить схему электрической цепи. Построить векторную диаграмму

Задача 4. В трёхфазной цепи с нулевым проводом в одной из фаз перегорела лампа. Как изменится работа цепи, если нагрузка была равномерная.

Выполнив работу, студент должен:

Знать:

1. Электротехническую терминологию:

- трёхфазные системы, соединения фаз генератора и потребителя по схеме: звезда и треугольник
- нулевой провод, его назначение; линейные провода
- линейные и фазные напряжения и токи, их обозначения и формулы расчёта.

Практическое занятие № 15

Определение параметров величин переменного тока текущий контроль

Задание №1. (рассчитано 25-30 минут)

Цель: Проверить степень освоения и закрепления материала.

Проводится письменный опрос по заданию сразу после изучения темы «Параметры величин переменного тока и способы их изображения»

а) Определить **параметры величин** тока и напряжения. б) Построить векторную диаграмму и прочесть её.

Задание №2 (рассчитано на 60-80 мин.)

Цель: Проверить степень освоения и закрепления материала по теме «Электрические цепи переменного тока»

Проводится после изучения темы: «Особенности цепей переменного тока», как итоговая работа.

По индивидуальным карточкам необходимо:

- определить параметры тока и напряжения;
- рассчитать сдвиг фаз между напряжением и током;
- определить характер нагрузки (либо по векторной диаграмме, либо по сдвигу фаз между током и напряжением);
- построить предполагаемую схему замещения электрической цепи; д) рассчитать полученную электрическую цепь;
- определить **параметры цепи** переменного тока по изображенной схеме.

Пункты «д,е» рассчитаны на студентов с хорошими и отличными знаниями по теории, способности

мыслить нестандартно.

Задание. По данным законам изменения тока и напряжения определить: параметры величин, построить векторную диаграмму, сдвиг фаз, изобразить предполагаемую схему.

Вариант № 1.	$u = 84,6 \sin (251,2 t + 30^\circ) \text{ В}$ $i = 5,64 \sin (251,2 t - 60^\circ) \text{ А.}$
Вариант № 2	$u = 42,3 \sin (376,8 t - 45^\circ) \text{ В,}$ $i = 4,23 \sin (376,8 t - 45^\circ) \text{ А.}$
Вариант № 3	$u = 169,2 \sin (1256 t - 90^\circ) \text{ В,}$ $i = 28,2 \sin (1256 t - 45^\circ) \text{ А.}$
Вариант № 4	$u = 112,8 \sin (1884 t + 32^\circ) \text{ В,}$ $i = 28,2 \sin (1884 t - 58^\circ) \text{ А.}$
Вариант № 5	$u = 119,85 \sin (150,72 t - 60^\circ) \text{ В,}$ $i = 4,23 \sin (150,72 t - 30^\circ) \text{ А.}$
Вариант № 6	$u = 211,5 \sin (3768 t - 50^\circ) \text{ В,}$ $i = 1,49 \sin (3768 t - 30^\circ) \text{ А.}$
Вариант № 7	$u = 310,2 \sin (157 t + 42^\circ) \text{ В,}$ $i = 0,31 \sin (157 t - 90^\circ) \text{ А.}$
Вариант № 8	$u = 179 \sin (471 t + 29^\circ) \text{ В,}$ $i = 3,58 \sin (471 t + 79^\circ) \text{ А.}$
Вариант № 9	$u = 70,5 \sin (105 t - 37^\circ) \text{ В,}$ $i = 0,705 \sin (105 t - 90^\circ) \text{ А.}$
Вариант № 10	$u = 169,2 \sin (3140 t + 53^\circ) \text{ В,}$ $i = 7,05 \sin (3140 t - 37^\circ) \text{ А.}$
Всего 36 вариантов	

13

Практическое занятие № 16

Расчёт цепей с двумя параметрами

Определение параметров реальной катушки

Цель. Приобретение навыков по расчёту цепей переменного тока с двумя параметрами и закрепление знаний полученных на теоретических занятиях и в процессе самостоятельной подготовки по данной теме.

Задание. По показаниям приборов определить параметры реальной катушки, построить векторную диаграмму и записать законы изменения тока и напряжений, если амперметр и вольтметр при включении катушки в цепь постоянного тока показали 0,5 А и 20 В, в цепи переменного тока 1 А и 50 В. Изобразить схему замещения с измерительными приборами. Дано: $U = 20$ $U_{\sim} = 50$
 $I = 0,5 \text{ А, } I_{\sim} = 1 \text{ А}$

Найти:

1. Параметры катушки: R, L
2. Рассчитать цепь;
3. Построить векторную диаграмму;
4. Записать мгновенные значения тока и напряжений.

Решение.

1. Рассчитать **активное сопротивление катушки** (по показаниям приборов в цепи постоянного тока):

$$R = U / I = 20 / 0,5 = 40 \text{ Ом}$$

2. Рассчитать полное сопротивление цепи Z:

$$Z = U_{\sim} / I_{\sim} = 50 / 1 = 50 \text{ Ом,} \quad \text{но} \quad \underline{\hspace{2cm}} \quad L$$

$$X^2 = Z^2 - R^2 = 50^2 - 40^2 = 900; \quad X = 30 \text{ Ом,} \quad \text{но} \quad X = 2 \pi f L = \omega L$$

4. Индуктивность катушки:

$$L = X_L / 2 \pi f = 30 / 2 \cdot 3,14 \cdot 50 = 0,0955 \text{ Гн.}$$

Параметры катушки найдены:

$$R = 40 \text{ Ом, } L = 0,0955 \text{ Гн} = 95,5 \text{ мГн}$$

Для построения векторной диаграммы рассчитаем:

- действующие значения величин напряжений:

$$U_R = I \cdot R = 1 \cdot 40 = 40 \text{ Ом; } U_L = I \cdot X_L =$$

$$1 \cdot 30 = 30 \text{ Ом;}$$

- коэффициент мощности $\cos \varphi$:

$$\cos \varphi = R / Z = 40 / 50 = 0,8$$

- сдвиг фаз между напряжением и током φ :

14

$$\varphi = + 37^\circ, \text{ но } \varphi = \Psi_u - \Psi_i$$

- начальная фаза напряжения равна 0° ;

- начальная фаза тока:

$$\Psi_i = \Psi_u - \varphi = 0^\circ - 37^\circ = - 37^\circ$$

- угловая скорость ω : $\omega = 2\pi f = 2 \cdot 3,14 \cdot 50 = 314 \text{ рад/с,}$ так как

промышленная частота: $f = 50 \text{ Гц}$

Для построения векторной диаграммы выбирают масштаб (для токов один, для всех напряжений - одинаковый).

План построения векторной диаграммы:

1. Построить вектор тока (с учетом его начальной фазы), так как в последовательной цепи по всем элементам течет один ток.

2. Векторы напряжений строить относительно тока строго в той последовательности, как параметры изображены на схеме замещения (**помни:** на участке с активным сопротивлением ток и напряжение совпадают по фазе, с индуктивностью - вектор напряжения опережает вектор тока на 90°).

Законы изменения тока и напряжений:

$$i = I_m \sin(\omega t + \Psi_i) = 1,41 \sin(314t - 37^\circ) \text{ А. } u = U_m \sin \omega t = 70,5 \sin 314 t \text{ В.}$$

$$u_R = U_m \sin(\omega t + \Psi_{uR}) = 56,4 \sin(314 t - 37^\circ) \text{ В, } u_L = U_m \sin(\omega t + \Psi_{uL}) = 42,3 \sin(314 t + 53^\circ) \text{ В}$$

Контрольные вопросы:

1. Записать формулу мгновенного значения тока, (напряжения) и дать характеристику параметров, входящих в нее.
2. Перечислить параметры реальной катушки, объяснить физический смысл.
3. Объяснить методику построения векторных диаграмм.
4. Как рассчитать сдвиг фаз между током и напряжением в цепи?
5. Какие значения (мгновенные, действующие, амплитудные) показывают измерительные приборы электромагнитной и динамической системы в цепях переменного тока?

Рекомендуемая литература:

1. Березкина Т.Ф. и др. «Задачник по общей электротехнике с основами электроники» Учеб. пособие для студ. М. Высш.шк.2001г. стр.84-87.
2. Евдокимов Ф.Е. «ТОЭ» учеб. для студ. образоват. учреждений средн. проф.образования М.Издательский центр «Академия»,2004. стр.278-286.

Практическое занятие №17

Расчет неразветвленных цепей

Цель: приобрести навыки расчёта неразветвлённых цепей переменного тока и закрепить знания студентов, полученные на теоретических занятиях и в процессе самостоятельной подготовки по данной теме.

Контрольные вопросы:

1. Назвать параметры цепей переменного тока; их физический смысл.
2. Объяснить особенности цепи RLC. Как определить характер нагрузки по реактивным сопротивлениям?
3. Объяснить методику построения векторных диаграмм.
4. Как рассчитать сдвиг фаз между током и напряжением в цепи?
5. Как определить характер нагрузки по сдвигу фаз φ между током и напряжением? 15

Задание. Катушка с активным сопротивлением 10 Ом и индуктивностью 60 мГн соединена последовательно с конденсатором ёмкостью 72 мкФ и подключена к источнику переменного напряжения с частотой 50 Гц и амплитудным значением напряжения 110 В. Определить действующее значение тока, полное сопротивление цепи, полную, активную и реактивную мощности. Построить векторную диаграмму тока и напряжений.

Выполнив работу, студент должен:

Знать:

3. *Электротехническую терминологию:*
 - Амплитудные, действующие и мгновенные значения величин их формулы;
 - Параметры цепей переменного тока: индуктивность, ёмкость, активное сопротивление, их физический смысл.
 - Реактивные сопротивления электрической цепи переменного тока, их обозначения и формулы расчёта.
 - Полное сопротивление цепи;
 - Сдвиг фаз, характеристика цепи по сдвигу фаз
4. *Основные законы и принципы теоретической электротехники:* особенности цепей переменного тока
5. *Методы расчета и измерения основных параметров электрических, магнитных цепей:* особенности цепей переменного тока, решение задач по векторным диаграммам.

Уметь:

Рассчитывать параметры электрических и магнитных цепей, строить векторные диаграммы

Образец решения задачи:

Задача. В неразветвленной цепи RLC, напряжение на входе изменяется по закону: $u = 112,8 \sin(800t + 60^\circ)$ В; параметры цепи: $C = 31,25$ мкФ, $L = 125$ мГн, $R = 80$ Ом. Изобразить схему замещения. Рассчитать цепь. Построить векторную диаграмму.

Решение.

1. Найдем реактивные сопротивления:
 $X_L = \omega L = 800 \cdot 0,125 = 100$ Ом; $X_C = 1 / \omega C = 10^6 / 800 \cdot 31,25 = 40$ Ом.
2. Вычислим полное сопротивление цепи Z :
 $Z = 100$ Ом.

3. Определим действующие значения величин:
$$\sqrt{2} U = U_m / \sqrt{2} = 112,8 / 1,41 = 80$$
 В,

$$I = U / Z = 80 : 100 = 0,8 \text{ А},$$
$$U_C = I \cdot X_C = 0,8 \cdot 40 = 32 \text{ В}, U_R = I \cdot R = 0,8 \cdot 80 = 64 \text{ В}, U_L = I \cdot X_L = 0,8 \cdot 100 = 80 \text{ В}.$$

4. Составляющие напряжения всей цепи:
активная $U_a = U_R = 64$ В,
реактивная $U_p = U_L - U_C = 100 - 80 = 20$ В.

$$\cos \varphi = R : Z = 80 : 100 = 0,8,$$

6. Сдвиг фаз между напряжением и током φ :
 $\varphi = +37^\circ$, так как $X_L > X_C$

$$\varphi = \psi_u - \psi_i,$$

5. Коэффициент мощности $\cos \varphi$:

7. Начальные фазы:

напряжения $\Psi_u = 60^\circ$, (по условию)тока $\psi_i = \Psi_u - \varphi$
 $= 60 - 37 = 23^\circ$

активная: $P = I \cdot U_R = 0,8 \cdot 64 = 51,2$ Вт,
 $I \cdot U = 0,8 \cdot 80 = 64$ ВА.

8. Мощности цепи:
реактивная: $Q = I \cdot U_p = 0,8 \cdot 20 = 16$ ВАр, полная: $S =$

Указания к построению векторной диаграммы.

1. Выбрать масштаб для тока и напряжений.
2. Построить начальную фазу тока (угол $\psi_i = +23^\circ$)
3. На луче угла построить вектор тока.
4. Векторы напряжений строить относительно тока строго по схеме замещения

ПРИМЕЧАНИЕ: вектор тока опережает вектор напряжения на ёмкости **C** на угол 90° ,
на активном сопротивлении **R** ток и напряжение совпадают по фазе,
на индуктивности **L** – напряжение опережает ток на угол 90° .

5. Прочитать векторную диаграмму, сделать вывод о характере нагрузки по векторной диаграмме.

Задачи для самостоятельного решения:

№ 5.126 Березкина Т.Ф., Гусев Н.Г., Масленников В.В. «Задачник по общей электротехнике с основами электроники» Учеб. пособие для студ. М. Высш.шк.2001г

Рекомендуемая литература:

1. Березкина Т.Ф. и др. «Задачник по общей электротехнике с основами электроники» Учеб. пособие для студ. М. Высш.шк.2001г. стр.84-90.
2. Евдокимов Ф.Е. «ТОЭ» учеб. для студ. образоват. учреждений средн. проф.образования М.Издательский центр «Академия»,2004. стр.291- 302.

Практическое занятие № 18

КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА №2

РАСЧЁТ ЦЕПЕЙ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Цель: проверить уровень практических навыков расчёта цепей переменного тока и знания студентов, полученные на теоретических занятиях и в процессе самостоятельной подготовки по данной теме.

Задание: По данной схеме рассчитать электрическую цепь, построить векторную диаграмму тока и напряжений, проанализировать работу электрической цепи при изменении частоты источника, если характер нагрузки не изменился.

Работа состоит из следующих этапов:

2. Краткая запись условия задачи:

- единицы измерения электрических величин и параметров в системе СИ;
- 3. Изображение схемы данной электрической цепи: с соблюдением:
 - порядка следования элементов;
 - размеры элементов согласно ГОСТ 2.702 -75

4. Расчёт цепи:

- а) полное сопротивление цепи;б) общий ток;
- в) напряжения на отдельных элементах
- г) активную и реактивную составляющие напряжения всей цепи;д) коэффициент мощности;
- е) сдвиг фаз между напряжением и током всей цепи;ж) мощности цепи: активную, реактивную, полную.

5. Построение векторной диаграммы:

а) начальная фаза тока;

б) построение вектора тока и напряжений, с соблюдением масштаба;в) чтение векторной диаграммы и вывод о характере нагрузки;

6. Анализ работы цепи: как изменились указанные величины: X_L , X_C , Z , I , U , U_a , U_p , $\cos$

φ , φ , U_L , U_C , P , Q , S , при изменении частоты источника, если характер нагрузки в целом не изменился:

построив необходимые графики для доказательства.

Примечание: для проведения анализа изобразить графики реактивных сопротивлений X_L , X_C , в зависимости от частоты.

↓ - величина уменьшилась;

→ - величина не изменилась;

↑ - величина увеличилась

1. электротехники: особенности трёхфазных цепей; назначение нулевого провода

2. Методы расчета и измерения основных параметров электрических, магнитных цепей:

расчёт цепей трёхфазного тока, решение задач по векторным диаграммам.

4. СПИСОК РЕКОМЕНДОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

Основные источники:

1. Ярочкина Г.В Основы электротехники 2013г

Дополнительные источники:

1. . Иньков Ю.М. Электротехника и электроника / Под ред. Инькова Ю.М. (9-е изд., стер.) учебник 2013.

2. Бутырин П.А. Электротехника 2006, 2007, 2010г.,

3. Прошин В.М Лабораторные работы по электротехнике, 2007г., 1экз

4. Петленко Б.И. Электротехника и электроника 2007г.

5. Ярочкина Т.В., Володарская А.А. Электротехника. Рабочая тетрадь. Издательство: ИРПО, Академия, 2008

Электронный ресурс:

1. Мультимедийный курс-видеохроника «В мир электричества - как в первый раз»

Интернет ресурсы:

1. Ванюшин М. Мультимедийный курс «В мир электричества как в первый раз». 2009 <http://www.eltray.com>.

2. Клиначёв Н.В. Учебно-методический комплекс «Электрические цепи постоянного тока». 1999-2008.

<http://model.exponenta.ru/electro/0022.htm>

3. Общая Электротехника. Электронный учебник.

http://dvoika.net/education/matusko/contents_m.html

4.Электронный справочник по направлению "Электротехника, электромеханика и электротехнологии". Московский энергетический институт (технический университет). 2007. <http://ftemk.mpei.ac.ru/elpro/>