

**НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**

Инженерный институт

ЭЛЕКТРОТЕНИКА И ЭЛЕКТРОНИКА

**Методические указания к самостоятельной работе
и выполнению контрольной работы**

Новосибирск 2023

Кафедра техносферной безопасности и электротехнологий

УДК 621.38 (075)

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

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

Электротехника и электроника: методические указания к самостоятельной работе по выполнению контрольной работы / Новосибир. гос. аграр. ун-т. Инж. ин-т; сост.: Е.И. Гаршина. – Новосибирск, 2023. – 56 с.

Содержат основные сведения по теоретическим основам и методам расчета электрических цепей. Представлены варианты заданий по расчету линейных цепей постоянного, переменного однофазного и трехфазного тока; примеры решений задач по расчету электрических цепей, а также варианты задания по выполнению контрольной работы.

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

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

© Новосибирский государственный аграрный университет 2023

ВВЕДЕНИЕ

Дисциплина *Теоретические основы электротехники* в соответствии с требованиями ФГОС ВО направлена на формирование следующих компетенций:

- Общепрофессиональные: способность к использованию основных законов естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности;
- профессиональных:
- способность к профессиональной эксплуатации машин и технологического оборудования и электроустановок;
- способность использовать типовые технологии технического обслуживания, ремонта и восстановления изношенных деталей машин и электрооборудования.

В результате изучения дисциплины студент должен

Знать:

-основные положения, методы и законы естественнонаучных дисциплин:

- электротехническую терминологию и символику, основы теории электромагнитного поля и электрических цепей, основные величины, характеризующие электрические и магнитные цепи и поля и единицы их измерения, принципы электрических измерений электрических и неэлектрических величин, принципы устройства основных электронных приборов, свойства и области применения основных электротехнических и электронных устройств;
- иметь представление по практическому применению электромагнитных процессов, электротехнических и электронных приборов и устройств.

Уметь:

-применять основные законы естественнонаучных дисциплин по профессиональной деятельности:

- читать электрические и электронные схемы, рассчитывать электрические и магнитные цепи и поля, выбирать элементы электрических цепей и средства измерения электрических величин, анализировать работу электротехнических устройств;

- обеспечивать эффективную и безопасную работу персонала с электрическими и электронными устройствами.

Владеть:

- методами математического анализа, исследования, расчета и моделирования электромагнитных процессов и преобразователей энергии;

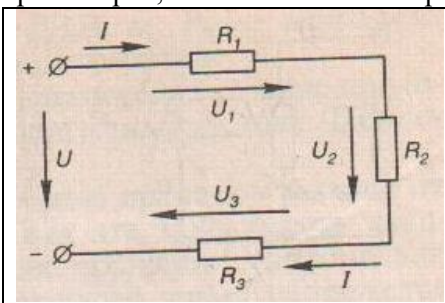
- приемами использования средств измерения, методами определения погрешности и оценки результатов измерений.

ТЕМА 1. РАСЧЕТ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ ПОСТОЯННОГО ТОКА

1.1 Основные сведения.

Приступая к расчету электрических цепей, необходимо знать способы соединения (последовательное, параллельное, смешанное) как приемников, так и источников электрической энергии.

Так, при последовательном соединении резисторов полное эквивалентное сопротивление равно сумме сопротивлений всех резисторов, включенных в электрическую цепь:

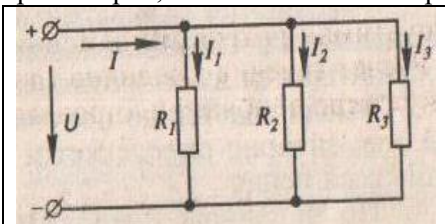


$$R_{\text{экв}} = \sum R_i$$

где $R_{\text{экв}}$ — эквивалентное или полное сопротивление электрической цепи;

R_i — омическое сопротивление i -го резистора.

а при параллельном соединении резисторов полное эквивалентная проводимость равна сумме проводимостей всех резисторов, включенных в электрическую цепь:



$$\frac{1}{R_{\text{экв}}} = \sum \frac{1}{R_i}$$

где $R_{\text{экв}}$ — эквивалентное или полное сопротивление электрической цепи;

R_i — омическое сопротивление i -го резистора;

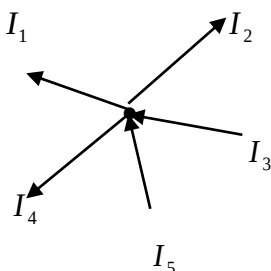
$\frac{1}{R_{\text{экв}}}$, $\frac{1}{R_i}$ — проводимости, соответственно, полная и эквивалентная i -го элемента электрической цепи.

При расчете электрической цепи обычно пользуются законами Ома и Кирхгофа. Закон Ома определяется выражением:

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

Законы Кирхгофа определяются выражениями:

Первый закон: Алгебраическая сумма токов, соединенных в один узел, равна нулю



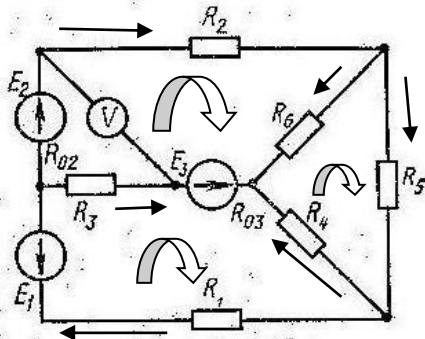
$$\sum I = 0,$$

или для примера

$$-I_1 - I_2 + I_3 - I_4 + I_5 = 0$$

Примечание: направление токов в ветвях определяется произвольно: например, токи, входящие в узел, принимают положительными, а выходящие из узла – отрицательными

Второй закон: Алгебраическая сумма ЭДС в замкнутом контуре электрической цепи равна алгебраической сумме падений напряжений на всех участках этой цепи



$$\sum E_i = \sum R_i \cdot I_i$$

Примечание: для определения знаков в алгебраической сумме произвольно задаются направлением обхода контура: по часовой стрелки или против. ЭДС источника и направление токов ветвей, совпадающие с выбранным направлением обхода контура, считаются положительным, а не совпадающие – отрицательной.

1.2. Расчет простых электрических цепей постоянного тока методом свертывания (метод эквивалентного сопротивления).

Суть метода свертывания заключается в преобразовании схемы замещения электрической цепи таким образом, чтобы в результате этого преобразования получилась простейшая цепь, содержащая один эквивалентный источник ЭДС и одно сопротивление $R_{\text{экв}}$. Преобразование осуществляется на основании правил замены нескольких элементов цепи одним элементом с эквивалентным сопротивлением, соответствующим типу соединения этих элементов (см. рис.1 и 2). Данный метод может быть использован для расчета только простых электрических цепей.

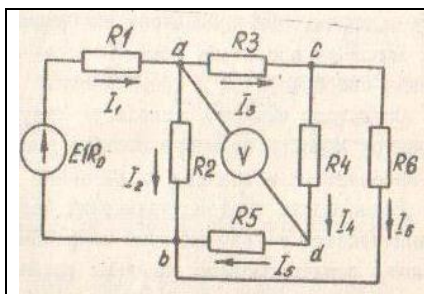


Рис.1 - 5а

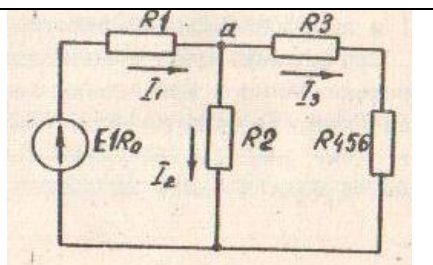


Рис.1 - 5б

Представленная на рис. 1 -5а электрическая цепь есть простая, так как является многоконтурной, но содержащей один источник энергии.

Если цепь содержит несколько источников, но включенных в одну ветвь, такая цепь тоже является простой. Суть метода заключается в том, что по заданным значениям сопротивлений резисторов $R_1, R_2, R_3, R_4, R_5, R_6$ и ЭДС источника E_1 с внутренним сопротивлением R_0 требуется определить токи во всех ветвях цепи и напряжение, которое покажет

вольтметр (сопротивление его велико и ток через этот прибор не протекает), включенный между точками схемы **a** и **d**.

Алгоритм расчета простой электрической цепи со смешанным (последовательным и параллельным) соединением резисторов представляет следующую последовательность действий (на примере цепи по рис. 1 -5).

При этом, свертывание производят всегда в направлении к источнику поэтапно. При рассмотрении схемы на рис. 1-5 направление свертывания –это направление справа налево до первой пары узлов.

1. Так резисторы R_4 и R_5 , соединены последовательно, а резистор R_6 – с ними параллельно, поэтому их эквивалентное сопротивление

$$R_{4,5,6} = R_{4,5} \times R_6 / (R_{4,5} + R_6), \text{ Ом}$$

$$\text{где } R_{4,5} = (R_4 + R_5), \text{ Ом}$$

2. После проведенных преобразований схема принимает вид, показанный на рис.1 -5б, а эквивалентное сопротивление всей цепи определяется по формуле

$$R_{\text{эКВ}} = R_0 + R_1 + R_2 \times (R_{4,5,6} + R_3) / (R_2 + R_{4,5,6} + R_3), \text{ Ом}$$

3. Ток I_1 в неразветвленной части схемы определяется по закону Ома:

$$I_1 = E / R_{\text{эКВ}}, \text{ А}$$

4. Воспользовавшись схемой (рис. 1- 5б), найдем токи I_2 и I_3 :

$$I_2 = I_1 \times ((R_{4,5,6} + R_3) / (R_2 + R_{4,5,6} + R_3)), \text{ А}$$

$$I_3 = I_1 \times (R_2 / (R_2 + R_{4,5,6} + R_3)), \text{ А}$$

5. Переходя к рис. 1- 5а , определим токи I_4 , I_5 и I_6 по аналогичным уравнениям:

$$I_4 = I_5 = I_3 \times (R_6 / (R_4 + R_5 + R_6)), \text{ А}$$

$$I_6 = I_3 \times ((R_4 + R_5) / (R_4 + R_5 + R_6)), \text{ А};$$

6. Зная ток I_1 , можно найти ток I_2 другим способом. Согласно второму закону Кирхгофа,

$$U_{ab} = E - (R_0 + R_1) \times I_1, \text{ В}$$

$$\text{тогда } I_2 = U_{ab} / R_2, \text{ А.}$$

7. Показания вольтметра можно определить, составив уравнение по второму закону Кирхгофа, например, для контура $aacd$:

$$R_3 I_3 + R_4 I_4 = U_{cd}, \text{В}$$

8. Для проверки правильности решения можно воспользоваться первым законом Кирхгофа и уравнением баланса мощностей, которые для схемы, изображенной на рис.1-5а, примут вид

$$I_1 = I_2 + I_3, \text{А}; \quad I_3 = I_4 + I_6, \text{А};$$

$$E I_1 = (R_0 + R_1) I_1^2 + R_2 I_2^2 + R_3 I_3^2 + (R_4 + R_5) I_4^2 + R_6 I_6^2, \text{Вт.}$$

1.3. Задание 1.1.

Расчет простых электрических цепей постоянного тока методом свертывания

Для электрической цепи, схема замещения которой изображена на рис. 1.1-1 – 1.1-30, по заданным значениям сопротивлений и ЭДС выполнить следующее:

- упростить методом свертывания электрическую цепь, представленную на рис. 1.1-1 – 1.1-30;
- найти токи, протекающие во всех ветвях, пользуясь законами Ома и Кирхгофа;
- составить уравнение баланса мощностей для заданной схемы и определить значение активной мощности.

Номер варианта задания соответствует номеру студента в списочном составе группы.

E1	80	B
E2	160	B
R1	10	OM
R2	15	OM
R3	7	OM
R4	2	OM
R5	8	OM
R6	3	OM
R7	7	OM
R8	4	OM

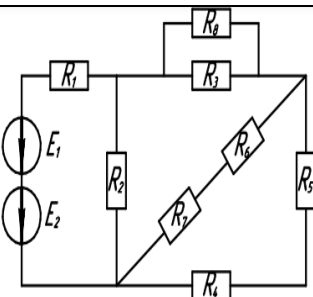


Рис. 1.1-1

E1	30	B
R1	10	OM
R2	10	OM
R3	5	OM
R4	5	OM
R5	12	OM
R6	5	OM
R7	15	OM
R8	15	OM
R9	2	OM
R10	4	OM

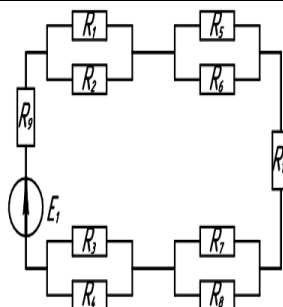


Рис. 1.1-2

E1	160	B
R1	10	OM
R2	20	OM
R3	10	OM
R4	15	OM
R5	15	OM
R6	5	OM
R7	12	OM
R8	6	OM
R9	4	OM

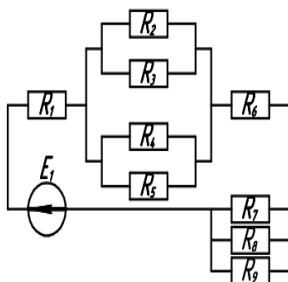


Рис. 1.1-3

E1	100	B
R1	7	OM
R2	24	OM
R3	12	OM
R4	10	OM
R5	15	OM
R6	3	OM
R7	12	OM
R8	6	OM

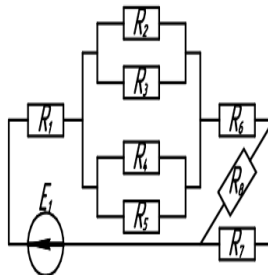


Рис. 1.1-4

E1	100	B
R1	5	OM
R2	2	OM
R3	4	OM
R4	1	OM
R5	8	OM
R6	4	OM
R7	12	OM
R8	4	OM
R9	2	OM

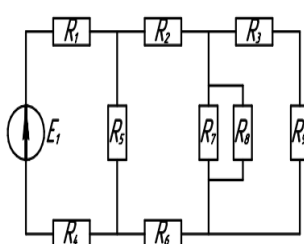


Рис. 1.1-5

E1	75	B
R1	2	OM
R2	3	OM
R3	5	OM
R4	10	OM
R5	10	OM
R6	10	OM
R7	10	OM
R8	4	OM
R9	6	OM

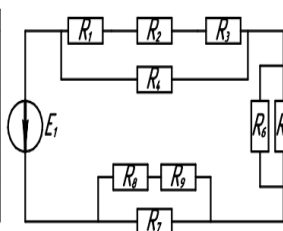
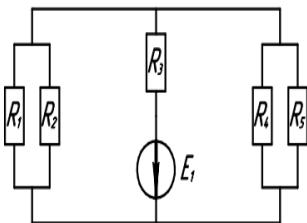


Рис. 1.1-6

E1	15	B
R1	10	OM
R2	10	OM
R3	10	OM
R4	10	OM
R5	10	OM



E1	91	B
R1	3	OM
R2	12	OM
R3	4	OM
R4	4	OM
R5	3	OM
R6	4	OM
R7	10	OM

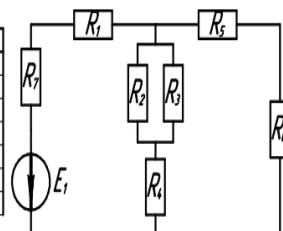


Рис. 1.1-7

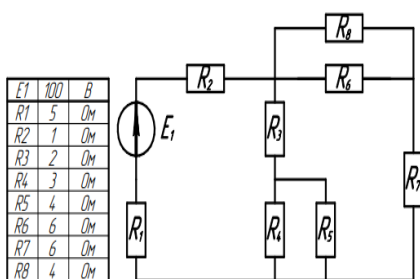


Рис. 1.1-8

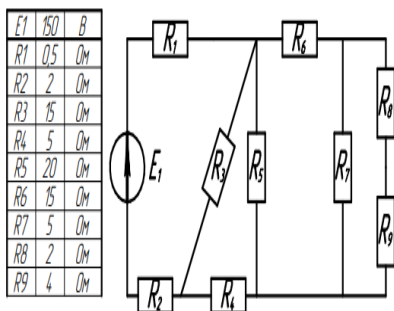


Рис. 1.1-9

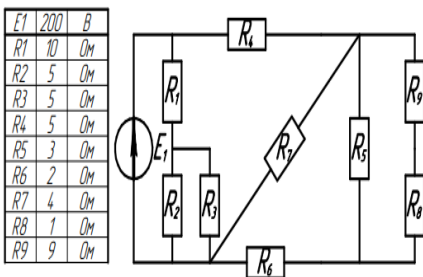


Рис. 1.1-10

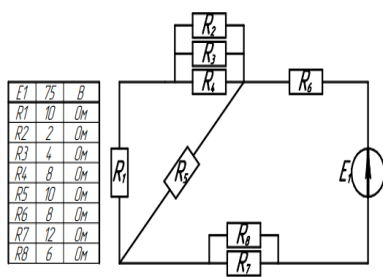


Рис. 1.1-11

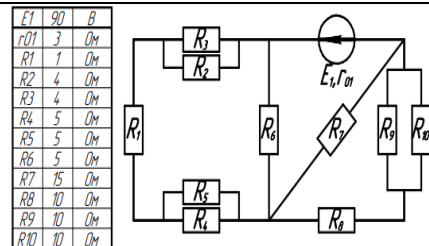


Рис. 1.1-12

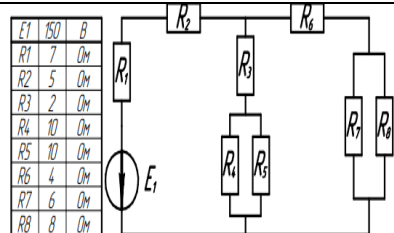


Рис. 1.1-13



Рис. 1.1-14



E_1	100	B
R_1	2	Ω
R_2	5	Ω
R_3	4	Ω
R_4	3	Ω
R_5	8	Ω
R_6	7	Ω
R_7	3	Ω
R_8	10	Ω
R_9	10	Ω

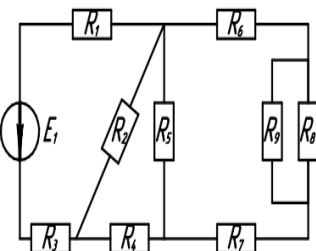


Рис. 1.1-15

E_1	150	B
R_1	16	Ω
R_2	6	Ω
R_3	7.8	Ω
R_4	10	Ω
R_5	20	Ω
R_6	5	Ω
R_7	5	Ω
R_8	10	Ω

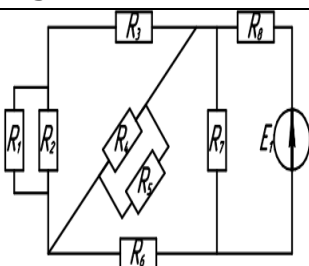


Рис. 1.1-17

E_1	80	B
R_1	8	Ω
R_2	2	Ω
R_3	6	Ω
R_4	20	Ω
R_5	5	Ω
R_6	10	Ω
R_7	7	Ω
R_8	3	Ω

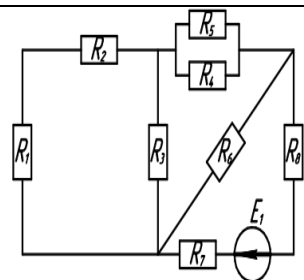


Рис. 1.1-19

E_1	25	B
E_2	10	B
R_1	10	Ω
R_2	15	Ω
R_3	6	Ω
R_4	7	Ω
R_5	5	Ω
R_6	5	Ω
R_7	7.5	Ω
R_8	35	Ω
R_9	15	Ω

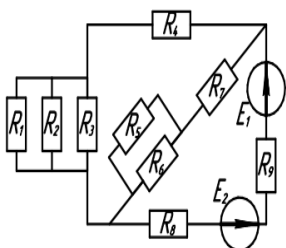


Рис. 1.1-16

E_1	100	B
R_1	12	Ω
R_2	6	Ω
R_3	20	Ω
R_4	20	Ω
R_5	5	Ω
R_6	8	Ω
R_7	4	Ω
R_8	2	Ω
R_9	10	Ω
R_{10}	10	Ω

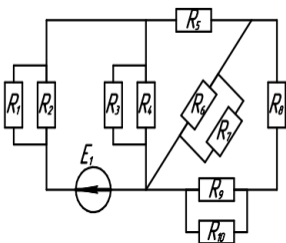


Рис. 1.1-18

E_1	72	B
R_1	25	Ω
R_2	3.5	Ω
R_3	15	Ω
R_4	15	Ω
R_5	4.5	Ω
R_6	9	Ω
R_7	7.5	Ω
R_8	15	Ω

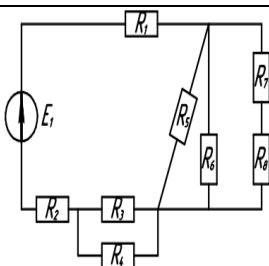
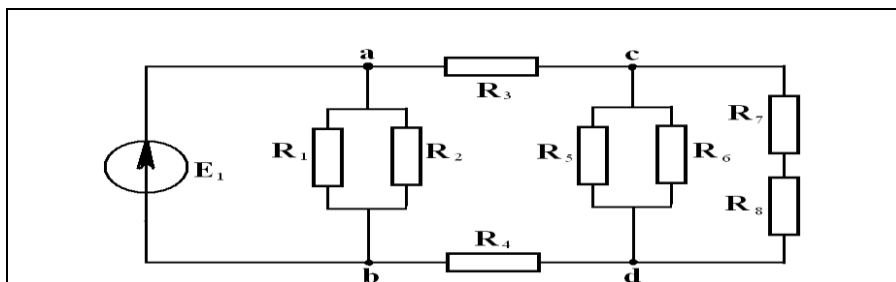
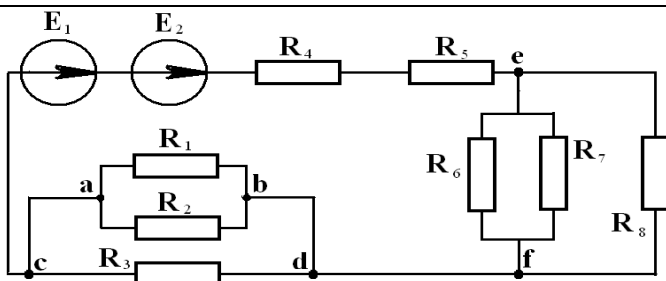


Рис. 1.1-20



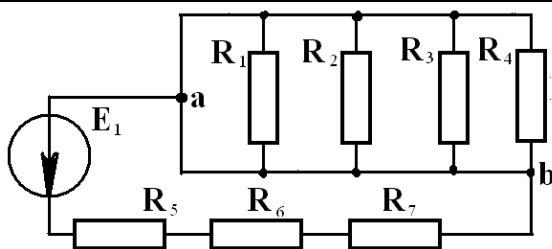
$E_1=25\text{ В}; R_1=10\text{ Ом}; R_2=15\text{ Ом}; R_3=25\text{ Ом}; R_4=7\text{ Ом}; R_5=5\text{ Ом};$
 $R_6=10\text{ Ом}; R_7=8\text{ Ом}; R_8=6\text{ Ом}.$

Рис. 1.1-21



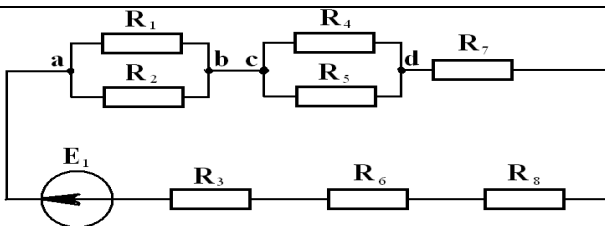
$E_1=35\text{ В}; E_2=15\text{ В}; R_1=12\text{ Ом}; R_2=8\text{ Ом}; R_3=15\text{ Ом}; R_4=3\text{ Ом}; R_5=5\text{ Ом};$
 $R_6=10\text{ Ом}; R_7=8\text{ Ом}; R_8=6\text{ Ом}.$

Рис. 1.1-22



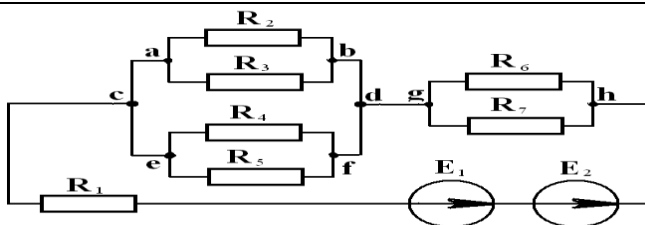
$E_1=50\text{ В}; R_1=2\text{ Ом}; R_2=8\text{ Ом}; R_3=4\text{ Ом}; R_4=6\text{ Ом}; R_5=10\text{ Ом};$
 $R_6=10\text{ Ом}; R_7=5\text{ Ом}.$

Рис. 1.1-23



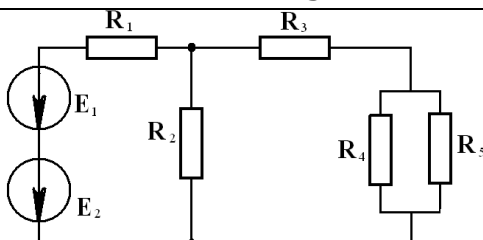
$E_1=40\text{ В}; R_1=2\text{ Ом};$
 $R_2=8\text{ Ом}; R_3=4\text{ Ом}; R_4=6\text{ Ом}; R_5=10\text{ Ом}; R_6=10\text{ Ом}; R_7=5\text{ Ом}; R_8=6\text{ Ом}.$

Рис. 1.1-24



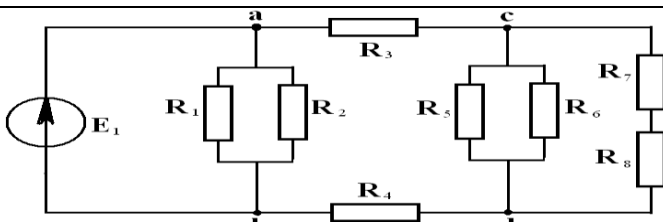
$E_1=35 \text{ B}$; $E_2=15 \text{ B}$; $R_1=12 \text{ OM}$; $R_2=8 \text{ OM}$; $R_3=15 \text{ OM}$; $R_4=3 \text{ OM}$;
 $R_5=5 \text{ OM}$; $R_6=10 \text{ OM}$; $R_7=8 \text{ OM}$.

Рис. 1.1-25



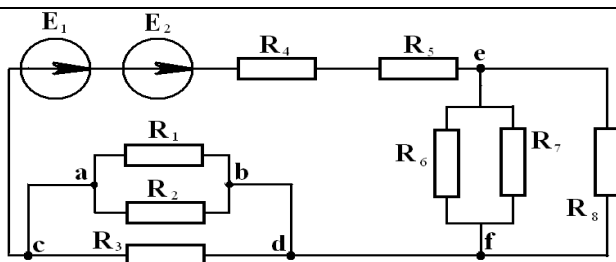
$E_1=15 \text{ B}$; $E_2=35 \text{ B}$; $R_1=8 \text{ OM}$; $R_2=9 \text{ OM}$; $R_3=12 \text{ OM}$; $R_4=7 \text{ OM}$; $R_5=5 \text{ OM}$.

Рис. 1.1-26



$E_1=75 \text{ B}$; $R_1=7 \text{ OM}$; $R_2=3,5 \text{ OM}$; $R_3=8 \text{ OM}$; $R_4=5 \text{ OM}$; $R_5=5 \text{ OM}$; $R_6=10 \text{ OM}$;
 $R_7=2 \text{ OM}$; $R_8=6 \text{ OM}$.

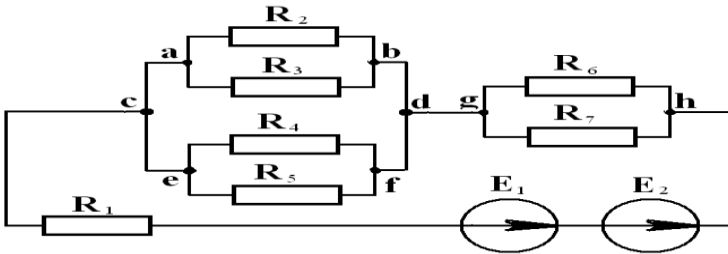
Рис. 1.1-27



$E_1=13 \text{ B}$; $E_2=17 \text{ B}$; $R_1=6 \text{ OM}$; $R_2=8 \text{ OM}$; $R_3=15 \text{ OM}$; $R_4=3 \text{ OM}$; $R_5=5 \text{ OM}$;

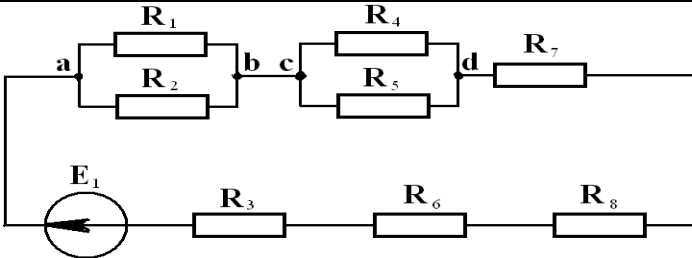
$R_6 = 10 \text{ Ом}; R_7 = 8 \text{ Ом}; R_8 = 6 \text{ Ом}.$

Рис. 1.1-28



$E_1 = 35 \text{ В}; E_2 = 15 \text{ В}; R_1 = 12 \text{ Ом}; R_2 = 8 \text{ Ом}; R_3 = 15 \text{ Ом}; R_4 = 3 \text{ Ом};$
 $R_5 = 5 \text{ Ом}; R_6 = 10 \text{ Ом}; R_7 = 8 \text{ Ом}$

Рис. 1.1-29



$E_1 = 50 \text{ В}; R_1 = 2 \text{ Ом}; R_2 = 8 \text{ Ом}; R_3 = 4 \text{ Ом}; R_4 = 6 \text{ Ом}; R_5 = 10 \text{ Ом}; R_6 = 10 \text{ Ом};$
 $R_7 = 5 \text{ Ом}; R_8 = 6 \text{ Ом}.$

Рис. 1.1-30

1.4. Задание 1.2

Для электрической цепи, схема замещения которой изображена на рис. 1.1 – 1.27, по заданным в табл.1 значениям сопротивлений и ЭДС выполнить следующее:

- указать на схеме токи во всех ветвях, предварительно, если это необходимо, упростить схему, заменив треугольник сопротивлений эквивалентной звездой;
- составить систему уравнений по законам Кирхгофа;
- найти токи, протекающие во всех ветвях, пользуясь методом контурных токов;
- определить показание вольтметра, установленного в цепь, и составить баланс мощностей для заданной схемы;
- построить в масштабе потенциальную диаграмму для внешнего контура.

Номер варианта задания соответствует номеру в списочном составе группы.

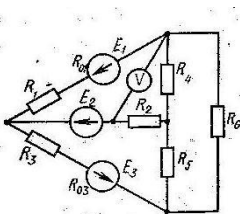


Рис 1.1

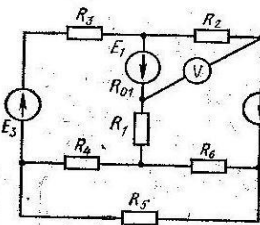


Рис.1.2

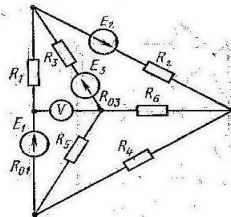


Рис.1.3

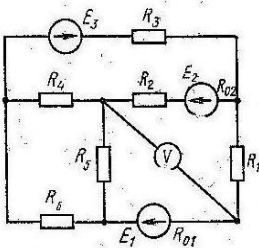


Рис.1.4

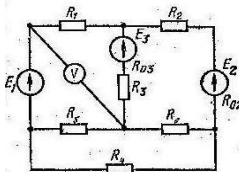


Рис.1.5

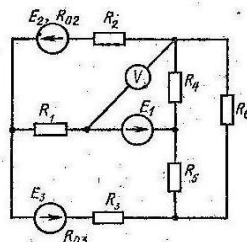


Рис.1.6

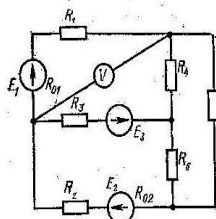


Рис.1.7

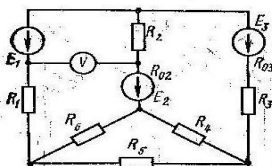


Рис.1.8

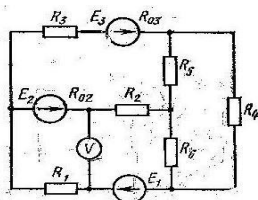


Рис.1.9

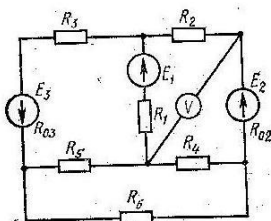


Рис.1.10

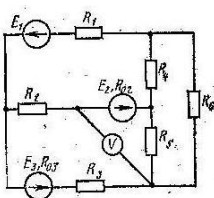


Рис.1.11

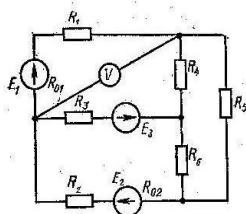


Рис.1.12

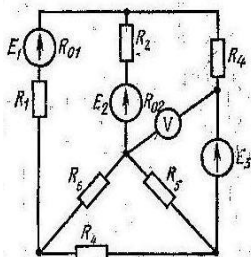


Рис.1.13

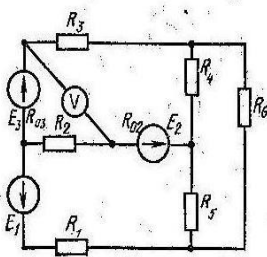


Рис.1.14

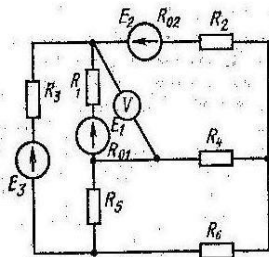


Рис.1.15

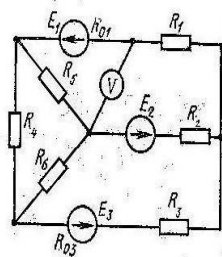


Рис.1.16

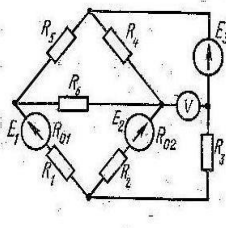


Рис.1.17

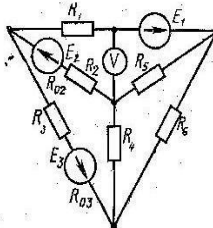


Рис.1.18

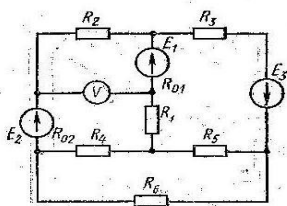


Рис.1.19

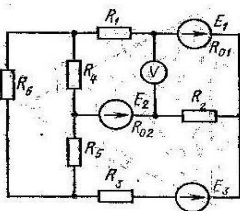


Рис.1.20

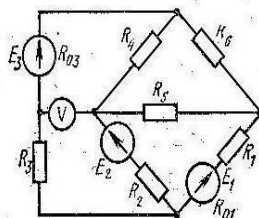


Рис.1.21

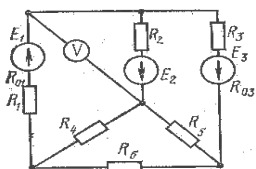


Рис.1.22

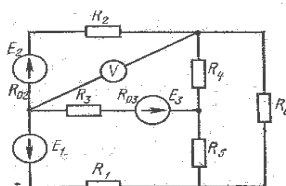


Рис.1.23

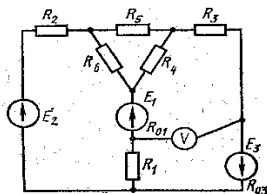


Рис.1.24

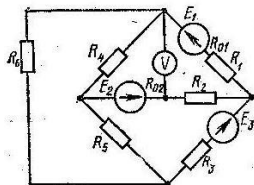


Рис.1.25

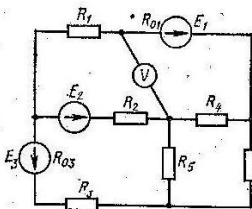


Рис.1.26

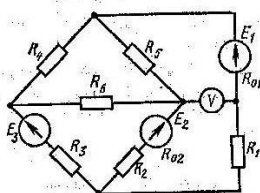


Рис.1.27

Таблица 1

Вариант /схема		Значения параметров											
		E ₁ В	E ₂ , В	E ₃ , В	R ₀₁ Ом	R ₀₂ Ом	R ₀₃ Ом	R ₁ , Ом	R ₂ , Ом	R ₃ , Ом	R ₄ , Ом	R ₅ , Ом	R ₆ , Ом
1	1.2-1	5	16	30	0,4	-	0,7	6	4	3	2	5	3
2	1.2-2	54	27	3	1,2	0,9	-	8,0	3	1	4	2	2
3	1.2-3	22	24	10	0,2	-	1,2	2	1	8	4	10	6
4	1.2-4	48	12	6	0,8	1,4	-	4,2	4	2	12	6	2
5	1.2-5	36	10	25	-	0,4	0,5	4	8	3	1	2	7
6	1.2-6	16	5	32	-	0,6	0,8	9	3	2	4	1	5
7	1.2-7	72	12	4	0,7	1,5	-	6,0	1	10	4	12	4
8	1.2-8	36	9	24	-	0,8	0,8	3,0	4	2	1	5	1
9	1.2-9	3	66	9	-	0,7	1,2	1,0	4	2	2	7	3
10	1.2-10	36	10	25	-	0,4	0,5	4	8	3	1	2	7
11	1.2-11	16	5	32	-	0,6	0,8	9	3	2	4	1	5
12	1.2-12	48	12	6	0,8	1,4	-	4,2	4	2	12	6	2
13	1.2-13	10	6	24	0,8	0,3	-	3,5	5	6	6	3	1
14	1.2-14	6	20	4	-	0,8	1,2	4	6	4	4	3	3
15	1.2-15	20	22	9	0,1	-	1,1	1	2	6	3	8	4
16	1.2-16	4	24	6	0,9	-	0,5	9,0	8	1	6	10	4
17	1.2-17	16	8	9	0,2	0,6	-	2,5	6	6	5	10	5
18	1.2-18	12	48	6	-	0,4	0,4	2,5	1	4	15	2	2
19	1.2-19	12	30	25	1,0	0,4	-	1,0	5	1	1	6	4
20	1.2-20	30	16	10	0,6	0,8	-	2,0	5	3	1	8	5
21	1.2-21	4	9	18	0,8	-	0,7	2,7	10	4	8	10	2
22	1.2-22	10	6	24	0,8	0,3	-	3,5	5	6	6	3	1
23	1.2-23	6	20	4	-	0,8	1,2	4	6	4	4	3	3
24	1.2-24	8	6	36	1,3	-	1,2	3,0	2	1	6	8	6
25	1.2-25	12	6	40	1,2	0,6	-	2,0	3	8	5	7	8
26	1.2-26	8	6	36	1,3	-	1,2	3,0	2	1	6	8	6
27	1.2-27	16	8	9	0,2	0,6	-	2,5	6	6	5	10	5
28	1.2-14	55	15	4	-	0,2	0,8	4	2	2	2	3	3
29	1.2-4	80	10	6	0,2	1,8	-	6,2	4	2	17	6	5
30	1.2-21	17	5	8	0,4	-	1,7	0,3	4	4	18	12	8

1.5. Пример решения задания 1.2.

В соответствии с заданием провести расчет электрической цепи постоянного тока, представленной на рис. 1-1.

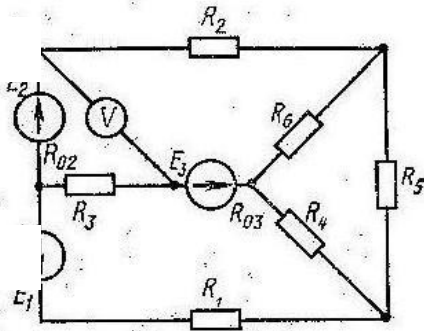


Рис. 1.1. Вариант электрической цепи, предложенной для примера расчета.

Дано:

$E_1 = 12 \text{ В}$; $E_2 = 36 \text{ В}$; $E_3 = 12 \text{ В}$;

$R_1 = 3,5 \text{ Ом}$; $R_{02} = 0,4 \text{ Ом}$; $R_2 = 5 \text{ Ом}$; $R_{03} = 1,2 \text{ Ом}$; $R_3 = 1 \text{ Ом}$; $R_4 = 5 \text{ Ом}$;

$R_5 = 6 \text{ Ом}$; $R_6 = 9 \text{ Ом}$.

Выполняем следующие действия:

1. В произвольном порядке буквами **А, Б, В, Г, Д** обозначаем узлы, а также намечаем направление токов, протекающих во всех ветвях (см.рис. 1.2).

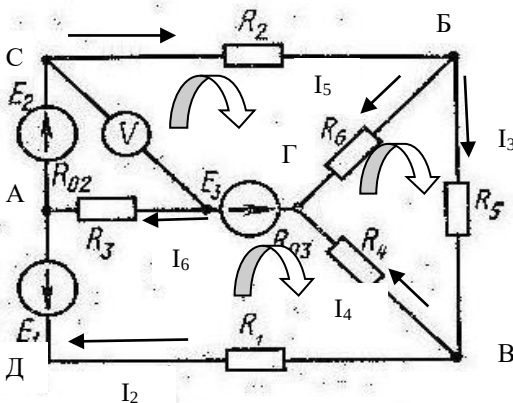


Рис.1.2. Схема замещения электрической цепи с обозначенными узлами и токами, протекающими во всех ветвях цепи.

2. Составляем уравнения:

- по 1-ому закону Кирхгофа в соответствии с выбранным направлением токов в ветвях, сходящихся в узлах:

для узла А $I_1 = I_2 + I_6$;

для узла Б $I_1 = I_3 + I_5$;

для узла В $I_5 = I_5 + I_4$;

для узла Г $I_6 = I_4 + I_5$.

- по 2-ому закону Кирхгофа в соответствии с выбранным направлением обхода контуров:

для контура 1 $E_2 - E_3 = (R_{02} + R_2) I_1 + R_6 I_5 + (R_{03} + R_3) I_6$;

для контура 2 $E_3 - E_1 = R_1 I_2 - (R_{03} + R_3) I_6 - R_4 I_4$;

для контура 3 $0 = R_4 I_4 - R_6 I_5 + R_5 I_3$.

При подставлении в уравнения значений сопротивлений и ЭДС из данных получим следующие уравнения:

для контура 1 $24 = 5,4 I_1 + 9 I_5 + 2,2 I_6$;

для контура 2 $0 = 3,5 I_2 - 2,2 I_6 - 5 I_4$;

для контура 3 $0 = 5 I_4 - 9 I_5 + 6 I_3$.

3. Составляем для каждого выбранного ранее контуров уравнения контурных токов, предварительно наметив направление собственных контурных токов. В результате получаем уравнения, представленные следующими выражениями:

для контура 1 $(R_{02} + R_2 + R_{03} + R_3 + R_6) I_{k1} - (R_{03} + R_3) I_{k2} - R_6 I_{k3} = E_2 - E_3$

для контура 2 $-(R_{03} + R_3) I_{k1} + (R_{03} + R_3 + R_4 + R_1) I_{k2} - R_4 I_{k3} = E_3 - E_1$

для контура 3 $-R_6 I_{k1} - R_4 I_{k2} + (R_4 + R_6 + R_5) I_{k3} = 0$

При подставлении в уравнения значений сопротивлений и ЭДС из данных получим следующие уравнения:

для контура 1 $16,6 I_{k1} - 2,2 I_{k2} - 9 I_{k3} = 24$;

для контура 2 $-2,2 I_{k1} + 10,7 I_{k2} - 5 I_{k3} = 0$;

для контура 3 $-9 I_{k1} - 5 I_{k2} + 20 I_{k3} = 0$.

Полученная система уравнений может быть решена с помощью определителей (см. Приложение 1). Таким образом, получим следующие значения определителей:

$$\text{главный определитель } \Delta = \begin{vmatrix} +16,6 & -2,2 & -9 \\ -2,2 & +10,7 & -5 \\ -9 & -5 & +20 \end{vmatrix} = 1975,9$$

$$\text{частный определитель } \Delta_{k1} = \begin{vmatrix} +24 & -2,2 & -9 \\ 0 & +10,7 & -5 \\ 0 & -5 & +20 \end{vmatrix} = 4806$$

$$\text{частный определитель } \Delta_{k2} = \begin{vmatrix} +16,6 & +24 & -9 \\ -2,2 & 0 & -5 \\ -9 & 0 & +20 \end{vmatrix} = 2136$$

$$\text{частный определитель } \Delta_{k3} = \begin{vmatrix} +16,6 & -2,2 & +24 \\ -2,2 & +10,7 & 0 \\ -9 & -5 & 0 \end{vmatrix} = 2575,2$$

4. По полученным значениям определителей определяем значения контурных токов, т.е. значения токов в ветвях внешнего контура схемы замещения рассматриваемой электрической цепи (см. рис. 1.2):

$$I_1 = I_{k1} = \frac{4806}{1975,9} = 2,43 \text{ (A)};$$

$$I_2 = I_{k2} = \frac{2136}{1975,9} = 1,08 \text{ (A)};$$

$$I_3 = I_{к3} = \frac{2575,2}{1975,2} = 1,30 \text{ (A)};$$

5. Определяем значения токов в ветвях, являющихся общими для, соответственно, контуров 1 и 2 и контуров 2 и 3. Для этого воспользуемся уравнениями, составленными по 1-ому закону Кирхгофа, и получим следующие величины:

$$I_4 = I_3 - I_2 = 1,3 - 1,08 = 0,22 \text{ (A)};$$

$$I_5 = I_1 - I_3 = 2,43 - 1,30 = 1,13 \text{ (A)};$$

$$I_6 = I_1 - I_2 = 2,43 - 1,08 = 1,35 \text{ (A)}.$$

6. Для проверки правильности решения составим уравнение баланса мощностей:

$$- E_2 I_1 + E_3 I_6 - E_1 I_3 = R_1 I_2^2 + R_2 I_1^2 + R_3 I_6^2 + R_4 I_4^2 + R_5 I_3^2 + R_6 I_5^2$$

Подставив расчетные значения токов, получим равенство

$$58,32 \text{ Вт} = 57,29 \text{ Вт}.$$

Погрешность вычисления составила 1,7%.

7. Построение потенциальной диаграммы основывается на знании обобщенного закона Ома и строится только для внешнего контура схемы замещения электрической цепи.

Для построения потенциальной диаграммы принимаем потенциал узла А, равным нулю, т.е. условно заземляем.

Тогда потенциалы других точек внешнего контура схемы замещения электрической цепи определяются в соответствии со следующими выражениями

$$\varphi_A = 0 \text{ В};$$

$$\varphi_C = \varphi_A + E_2 = 0 + 36 = 36 \text{ В};$$

$$\varphi_B = \varphi_C - R_2 I_1 = 36 - 12,2 = 23,8 \text{ В};$$

$$\varphi_V = \varphi_B - R_5 I_3 = 23,8 - 7,9 = 15,9 \text{ В};$$

$$\varphi_D = \varphi_V - R_1 I_2 = 15,9 - 3,81 = 12,09 \text{ В};$$

$$\varphi_A = \varphi_D - E_2 = 12,09 - 12,0 = 0,09 \text{ В}.$$

Далее выполняются следующие действия:

- строим координатную сетку.

- по оси абсцисс откладываем значения сопротивлений, включенных во внешний контур схемы замещения электрической цепи, а по оси ординат – значение рассчитанных потенциалов.
- полученные точки пересечения координат на сетке соединяем прямой и получаем кривую изменения потенциалов в точках электрической цепи, т.е. потенциальную диаграмму (см. рис. 1-3).

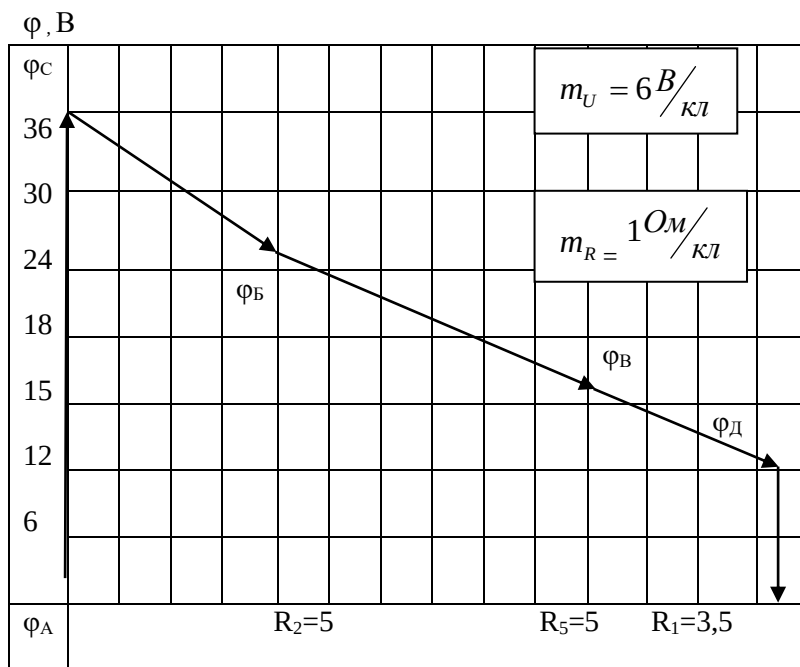


Рис. 1-3. Потенциальная диаграмма.

ТЕМА 2. РАСЧЕТ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

2.1. Основные сведения.

Переменный электрический ток – электрический ток, периодически изменяющийся по величине и направлению с течением времени, т.е. характеризующийся мгновенными значениями тока в конкретный момент времени.

В общем случае цепь переменного тока характеризуется наличием в электрических цепях трех приемников: активного сопротивления R , индуктивности L и емкости C .

При анализе работы и расчетах цепей переменного тока исходят из того, что для мгновенных значений переменного

тока можно использовать все соотношения, законы и методы, используемые в цепях постоянного тока. Широкое применение для расчета сложных цепей переменного тока нашел символический метод, основанный на использовании комплексных чисел и позволяющий вести расчет с применением алгебраических формул. Исходя из этого, расчет электрических схем переменного тока, содержащих

- идеальные элементы R , L и C , основывается на данных таблицы 2.1;

- реальные элементы R , L и C , основывается на данных таблицы 2.2.

Таблица 2.1.

Анализ простейших электрических цепей переменного тока, содержащих идеальные элементы R, L и C.

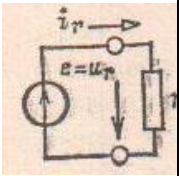
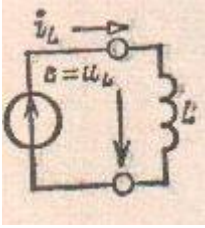
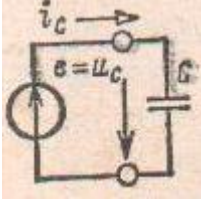
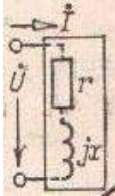
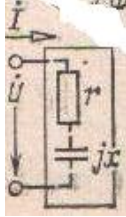
параметры электрической цепи		Простейшие схемы замещения		
				
Сопротивление в виде комплексного числа, Ом	Сопротивление, Ом	R	$X_L = 2\pi \cdot f \cdot L$	$X_C = \frac{1}{2\pi \cdot f \cdot C}$
	абсолютное значение			
Сопротивление в виде комплексного числа, Ом	Алгебраическая форма	R	$+jX_L = +j2\pi \cdot f \cdot L$	$-jX_C = -j \frac{1}{2\pi \cdot f \cdot C}$
	Показательная форма	R	$X_L \cdot e^{+j90^\circ}$	$X_C \cdot e^{-j90^\circ}$
Мощность	Активная Вт	$P = R \cdot I^2$		
	Реактивная, Вар		$Q_L = +jX_L \cdot I^2$	$Q_C = -jX_C \cdot I^2$

Таблица 2.2.

Анализ простейших электрических цепей переменного тока, содержащих реальные элементы R, L и C.

параметры электрической цепи		Электрических цепей переменного тока, содержащих реальные элементы R (Ом), L (Гн) и C(Ф).	
			
Сопротивление в виде комплексного числа, Ом	Алгебраическая форма	$R + jX_L = \sqrt{R^2 + X_L^2} \cdot e^{+j \arctg \frac{X_L}{R}}$	$R - jX_C = \sqrt{R^2 + X_C^2} \cdot e^{-j \arctg \frac{X_C}{R}}$
	Показательная форма	$\sqrt{R^2 + X_L^2} \cdot e^{+j \arctg \frac{X_L}{R}}$	$\sqrt{R^2 + X_C^2} \cdot e^{-j \arctg \frac{X_C}{R}}$
Мощность	Активная, Вт	$P = R \cdot I^2$	$P = R \cdot I^2$
	Реактивная, Вар	$Q_L = +jX_L \cdot I^2$	$Q_C = -jX_C \cdot I^2$
	Полная, ВА	$S = P + jQ_L = \sqrt{P^2 + Q_L^2} \cdot e^{+j \arctg \frac{Q_L}{P}}$	$S = P - jQ_C = \sqrt{P^2 + Q_C^2} \cdot e^{-j \arctg \frac{Q_C}{P}}$

2.2. Задание 2

РАСЧЕТ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ ОДНОФАЗНОГО ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Для электрической цепи со смешанным соединением элементов R, L, C , и для цепи с последовательным соединением тех же элементов, схема замещения которой изображена на рис. 2.1 – 2.28, по заданным в табл. 2.3. параметрам и ЭДС источника провести расчет в нагрузочном режиме.

Для выполнения задания определить:

- токи во всех ветвях цепи и падения напряжения на отдельных участках;
- определить активную, реактивную и полную мощности электрической цепи и составить баланс мощностей;
- построить в масштабе на плоскости комплексных чисел векторную диаграмму;
- определить показания вольтметра и активную мощность, измеряемую ваттметром.
- провести полный расчет электрической цепи в режиме резонанса токов и определить значение конденсатора C в режиме резонанса;
- установить в соответствующей ветви исходной схемы размыкающий ключ K таким образом, чтобы электрическая цепь превратилась в цепь с последовательным соединением элементов; провести полный расчет преобразованной цепи в режиме резонанса напряжений и определить значение конденсатора C в режиме резонанса.

Номер варианта задания соответствует номеру в списочном составе группы.

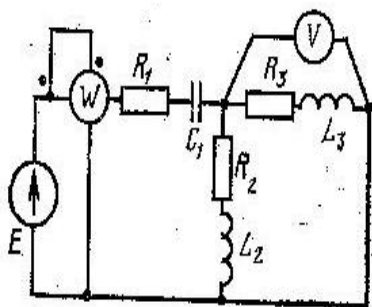


Рис. 2.1

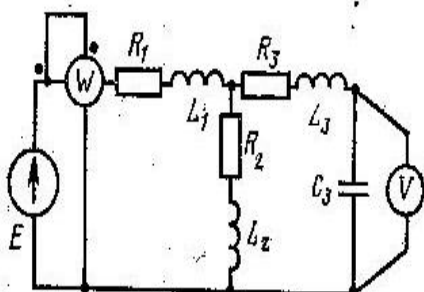


Рис. 2.2

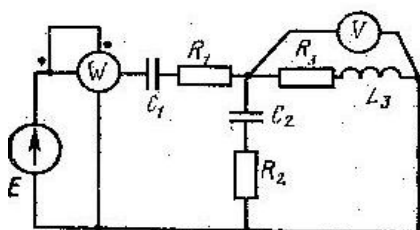


Рис. 2.3

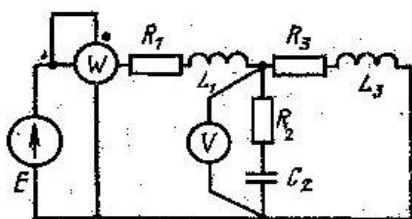


Рис. 2.4

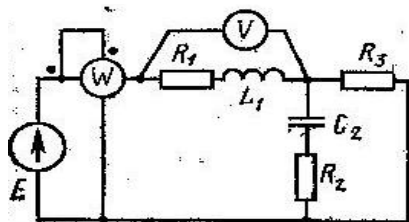


Рис. 2.5

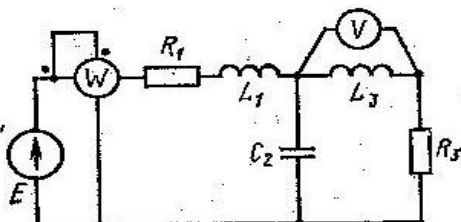


Рис. 2.6

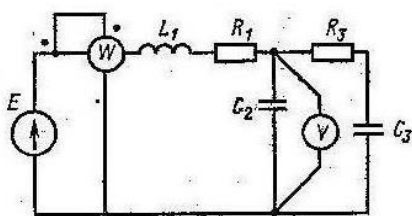


Рис. 2.7

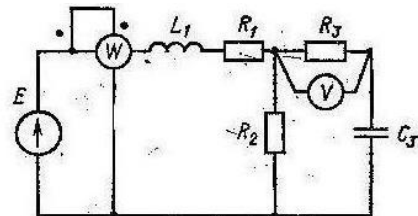


Рис. 2.8

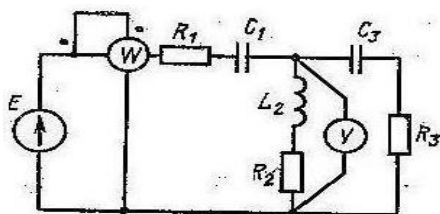


Рис. 2.9

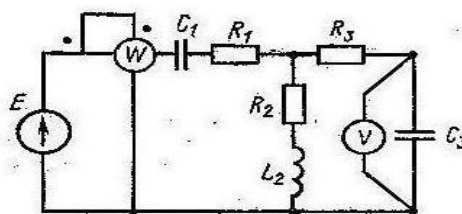


Рис. 2.10

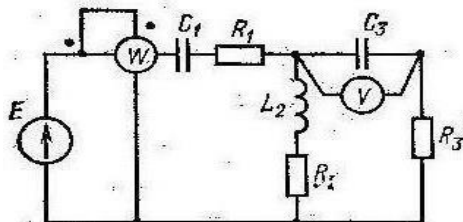


Рис. 2.11

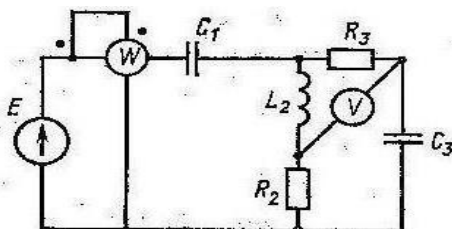


Рис. 2.12

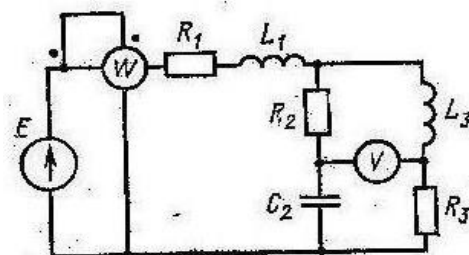


Рис. 2.13

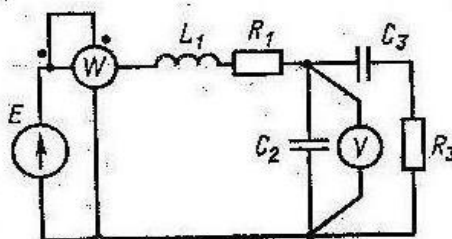


Рис. 2.14

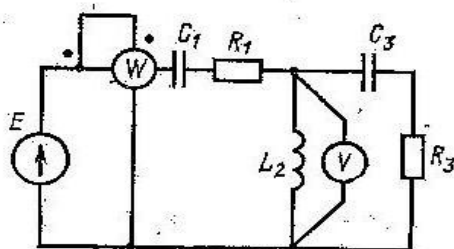


Рис. 2.15

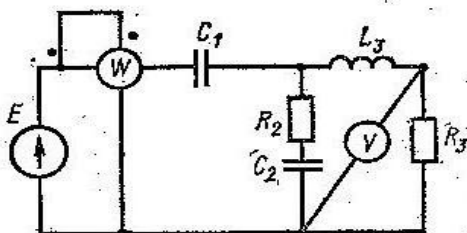


Рис. 2.16

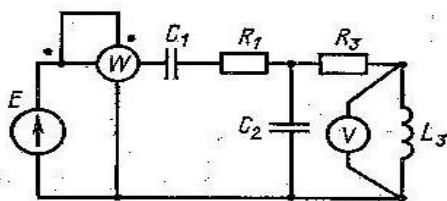


Рис. 2.17

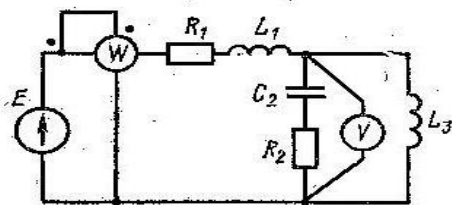


Рис. 2.18

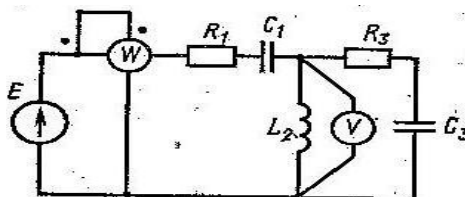


Рис. 2.19

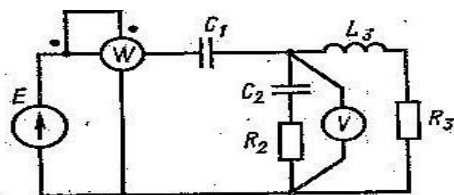


Рис. 2.20

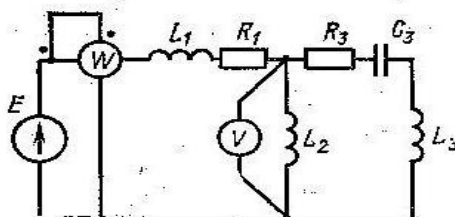


Рис. 2.21

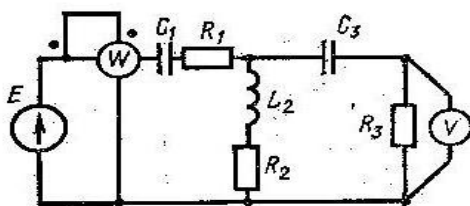


Рис. 2.22

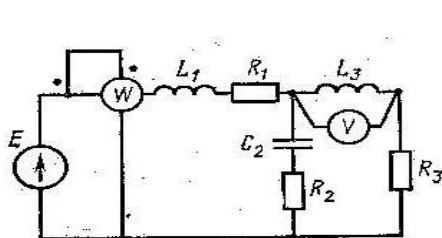


Рис. 2.23

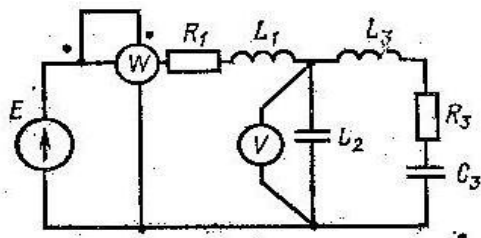


Рис. 2.24

Таблица 2.3

Вариант	Цепь (см. рисунок)	Значения параметров										Для выполнения пункта 6 задания дополнительно установить в заданной ветви размыкающий ключ и элемент
		Е, В	С ₁ , мкф	С ₂ , мкф	С ₃ , мкф	Л ₁ , мГн	Л ₂ , мГн	Л ₃ , мГн	Р ₁ , Ом	Р ₂ , Ом	Р ₃ , Ом	
1	2-1	150	637		-	-	15,9	31,8	2	3	4	Ветвь 2
2	2-2	100	-	-	100	15,9	9	15,9	8	3	4	Ветвь 2
3	2-3	120	637	200	-	-		31,8	8	3	4	Ветвь 2
4	2-4	200	-	300	-	15,9	-	15,9	8	3	4	Ветвь 3
5	2-5	200	-	159	-	115	-		10	4	5	Ветвь 3
6	2-6	50		159	-	31,8	-	115	10		10	Ветвь 3
7	2-7	120	-	300	300	31,8	-	-	5	-	8	Ветвь 3
8	2-8	200	-	-	100	31,8	-	-	5	10	8	Ветвь 2
9	2-9	220	637	-	200	-	31,8	-	5	10	8	Ветвь 2
10	2-10	150	100	-	200	-	15,9	-	10	2	10	Ветвь 3
11	2-11	120	100	-	200	-	15,9	-	10	8	10	Ветвь 3
12	2-12	200	637	-	200	-	31,8	--	-	2	2	Ветвь 3
13	2-13	50	-	159	-	31,8	-	95	15	10	10	Ветвь 3
14	2-14	100	-	159	200	15,9	-	-	15	-	10	Ветвь 3
15	2-15	200	637		200	-	31,8		15		20	Ветвь 3
16	2-16	220	637	159	-	-	-	9,5	-	3	6	Ветвь 2
17	2-17	100	637	159		-	-	95	6	-	20	Ветвь 2
18	2-18	100	-	159	-	25	-	95	6	4	-	Ветвь 3
19	2-19	220	637	-	637	-	9	-	6	-	20	Ветвь 3

Продолжение таблица 2.3

Вариант	Цепь (см. рисунок)	Значения параметров										Дополнительно установить в заданной ветви размыкающий ключ
		Е, В	С ₁ , мкф	С ₂ , мкф	С ₃ , мкф	Л ₁ , мГн	Л ₂ , мГн	Л ₃ , мГн	Р ₁ , Ом	Р ₂ , Ом	Р ₃ , Ом	
20	2-20	50	318	637	-	-	-	31,8	-	10	10	Ветвь 3
21	2-21	120	-	-	300	20	80	31,8	40	-	10	Ветвь 2
22	2-22	200	318	-	300	-	15,9	31,8	10	8	2	Ветвь 3
23	2-23	50	-	318	-	19,5	-	31,8	8	10	4	Ветвь 3
24	2-24	200	-	637	200	31,8	-	95	8	-	4	Ветвь 3
25	2-1	250	318		-	-	25	15,9	2	3	4	Ветвь 3
26	2-5	200	-	159	-	115	-		10	4	5	Ветвь 3
27	2-7	120	-	300	300	31,8	-	-	5	-	8	Ветвь 2
28	2-14	100	-	159	200	15,9	-	-	15	-	10	Ветвь 2
29	2-20	50	637	318	-	-	-	31,8	-	6	4	Ветвь 3
30	2-15	200	318		100	-	31,8		5		8	Ветвь 3

2.3. Пример решения задания 2.

В качестве примера для решения проведем расчет электрической цепи, схема замещения которой представлена на рис. 2-29.

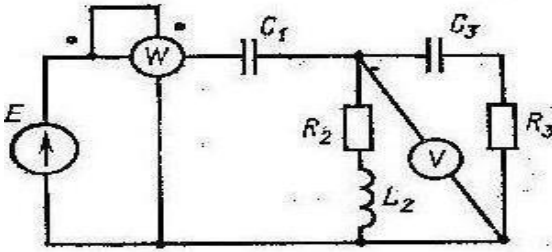


Рис.2-29. Схема замещения электрической цепи однофазного переменного тока.

Дано: $E = 110 \text{ В}$; $R_1 = 0 \text{ Ом}$; $R_2 = 5 \text{ Ом}$; $R_3 = 6 \text{ Ом}$;
 $C_1 = 1482 \text{ мкф}$; $C_2 = 0 \text{ мкф}$; $C_3 = 398 \text{ мкф}$;
 $L_1 = 0 \text{ мГн}$; $L_2 = 63,7 \text{ мГн}$; $L_3 = 0 \text{ мГн}$.

Решение.

1. Расчет электрической цепи со смешанным соединением элементов R, L, C в нагрузочном режиме

1.1. Определяем реактивные сопротивления элементов: катушки индуктивности L_2 и конденсаторов C_1 и C_2 .

$$X_{L2} = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L_2 = 2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 63,7 \cdot 10^{-3} = 20 \text{ Ом};$$

$$X_{C1} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C_1} = \frac{1}{2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 1482 \cdot 10^{-6}} = 2 \text{ Ом};$$

$$X_{C3} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C_3} = \frac{1}{2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 398 \cdot 10^{-6}} = 8 \text{ Ом}.$$

1.2. Определяем комплексные сопротивления ветвей цепи в алгебраической и показательной формах комплексных чисел:

$$\underline{Z}_2 = R_2 + jX_{L2} = 5 + j20 = \sqrt{R_2^2 + X_{L2}^2} \cdot e^{+j \arctg \frac{X_{L2}}{R_2}} = \sqrt{5^2 + 20^2} \cdot$$

$$\cdot e^{+j \arctg \frac{20}{5}} = 20,6 \cdot e^{+j 77^0} \text{ Ом};$$

$$\underline{Z}_3 = R_3 - jX_{C3} = 6 - j8 = \sqrt{R_3^2 + X_{C3}^2} \cdot e^{-j \arctg \frac{X_{C3}}{R_3}} = \sqrt{6^2 + 8^2} \cdot e^{+j \arctg \frac{8}{6}} = 10 \cdot e^{-j 53^0} \text{ Ом}.$$

1.3. Определяем комплексное сопротивление параллельно соединенных ветвей, содержащих $\underline{Z}_2$ $\underline{Z}_3$, и комплекс полного сопротивления цепи в алгебраической и показательной формах комплексных чисел:

$$\underline{Z}_{2,3} = \frac{\underline{Z}_2 \cdot \underline{Z}_3}{\underline{Z}_2 + \underline{Z}_3} = \frac{20,6 \cdot e^{+j 77^0}}{5 + j20 + 6 - j8} \cdot 10e^{-j 53^0} = \frac{202,6e^{+j 24^0}}{11 + j12} =$$

$$\frac{206e^{+j 24^0}}{16,25e^{+j 46^0}} = 12,68e^{-j 22^0} =$$

$$12,68 \cdot \cos(-22^0) + j12,68 \cdot \sin(-22^0) = 11,76 - j4,75 \text{ Ом};$$

$$\underline{Z}_{\text{полн}} = +(-jX_{C1}) + \underline{Z}_{2,3} = -j2 + 11,76 - j4,75 = 11,76 - j6,75 = \sqrt{11,76^2 + 6,75^2} \cdot e^{-j \arctg \frac{6,75}{11,76}} = 13,55 \cdot e^{-j 30^0} \text{ Ом}.$$

2. Определяем токи в ветвях:

$$\underline{I}_{\text{полн}} = \frac{E}{\underline{Z}_{\text{полн}}} = \frac{110}{13,55e^{-j 30^0}} = 8,11 \cdot e^{+j 30^0} \text{ А};$$

$$\underline{U}_{23} = \underline{Z}_{2,3} \underline{I}_{\text{полн}} = 12,68e^{-j 22^0} 8,11 \cdot e^{+j 30^0} = 102,83 \cdot e^{+j 8^0} \text{ В}$$

$$\underline{I}_2 = \frac{\underline{U}_{23}}{\underline{Z}_2} = \frac{102,83e^{+j 8^0}}{20,6e^{+j 77^0}} = 5,0 \cdot e^{-j 69^0} \text{ А};$$

$$\underline{I}_3 = \frac{U_{23}}{Z_3} = \frac{102,83e^{+j8^0}}{10e^{-j53^0}} = 10,28 \cdot e^{+j61^0} \text{ А.}$$

1.4. Определяем падения напряжения на всех элементах схемы замещения:

$$\underline{U}_{C1} = (-jX_{C1}) \underline{I}_{\text{полн}} = 2 \cdot e^{-j90^0} \cdot 8,11 \cdot e^{+j30^0} = 16,22 \cdot e^{-j30^0} \text{ В;}$$

$$\underline{U}_{R2} = R_2 \underline{I}_2 = 5 \cdot 5 \cdot e^{-j69^0} = 25 \cdot e^{-j69^0} \text{ В;}$$

$$\underline{U}_{L2} = (jX_{L2}) \underline{I}_2 = 20 \cdot e^{+j90^0} \cdot 5 \cdot e^{-j69^0} = 100 \cdot e^{+j31^0} \text{ В;}$$

$$\underline{U}_{R3} = R_3 \underline{I}_3 = 6 \cdot 10,28 \cdot e^{+j61^0} = 61,68 \cdot e^{+j61^0} \text{ В;}$$

$$\underline{U}_{C3} = (-jX_{C3}) \underline{I}_3 = 8 \cdot e^{-j90^0} \cdot 10,28 \cdot e^{+j61^0} = 82,24 \cdot e^{-j29^0} \text{ В.}$$

1.5. Определяем активную, реактивную и полную мощность. Составляем баланс мощностей.

Активная мощность равна $P = R_2 \cdot I_2^2 + R_3 \cdot I_3^2 = 125 + 634,07 = 759,07 \text{ Вт;}$

Реактивная мощность определяется выражением:

$$Q = Q_{L2} - Q_{C1} - Q_{C3} = X_{L2} \cdot I_2^2 - X_{C1} \cdot I_{\text{полн}}^2 - X_{C3} \cdot I_3^2 = -500 - 135,8 - 845,4 = -481,2 \text{ Вар;}$$

$$S_{\text{полн}} = P + jQ = \sqrt{P^2 + Q^2} \cdot e^{-j \arctg \frac{Q}{P}},$$

$$S_{\text{полн}} = 759,07 - j481,2 = \sqrt{759,07^2 + 481,2^2} \cdot e^{-j \arctg \frac{481,2}{759,07}} = 892,87 \cdot e^{-j31^0} \text{ ВА;}$$

$$S_{\text{ист}} = E \cdot \underline{I}_{\text{полн}}^* = 110 \cdot 8,11 \cdot e^{-j30^0} = 893 \cdot e^{-j30^0} \text{ ВА}$$

Так как $S_{\text{полн}} = S_{\text{ист}}$ ($892,87 \approx 893$), то баланс соблюдается с точностью 0,01 %.

$$I_{полн} = \frac{E}{Z_{полн}} = \frac{110}{18,7 \cdot e^{+j75^0}} = 5,88 \cdot e^{-j75^0} \text{ А}$$

2.3. Определяем значения падений напряжений на всех элементах:

$$\underline{U}_{C1} = (-jX_{C1}) \underline{I}_{полн} = 2 \cdot e^{-j90^0} \cdot 5,88 \cdot e^{-j75^0} = 11,76 \cdot e^{-j165^0} \text{ В};$$

$$\underline{U}_{R2} = R_2 \underline{I}_{полн} = 5 \cdot 5,88 \cdot e^{-j75^0} = 29,41 \cdot e^{-j75^0} \text{ В};$$

$$\underline{U}_{L2} = (jX_{L2}) \underline{I}_2 = 20 \cdot e^{+j90^0} \cdot 5,88 \cdot e^{-j75^0} = 117,6 \cdot e^{+j15^0} \text{ В};$$

2.4. Определяем активную, реактивную и полную мощность.

Составляем баланс мощностей.

$$\text{Активная мощность равна } P = R_2 \cdot I_{полн}^2 = 172,9 \text{ Вт};$$

Реактивная мощность определяется выражением:

$$Q = Q_{L2} - Q_{C1} = X_{L2} \cdot I_{полн}^2 - X_{C1} \cdot I_{полн}^2 = 691,5 - 69,15 = 622,35 \text{ Вар};$$

Комплекс полной мощности определяется выражением:

$$S_{полн} = P + jQ = \sqrt{P^2 + Q^2} \cdot e^{-j \arctg \frac{Q}{P}}$$

$$S_{полн} = 172,9 - j622,35 = \sqrt{172,9^2 + 622,35^2} \cdot e^{-j \arctg \frac{622,35}{172,9}} = 646,0 \cdot e^{-j75^0} \text{ ВА};$$

$$S_{уст} = E \cdot \underline{I}_{полн}^* = 110 \cdot 5,88 \cdot e^{-j29^0} = 646,8 \cdot e^{-j75^0} \text{ Вар}$$

Так как $S_{полн} = S_{уст}$ ($646,0 \approx 646,8$), баланс соблюдается с точностью 0,1 %.

2.5. Построение векторной диаграммы на плоскости комплексных чисел:

Для построения векторной диаграммы составляем уравнения по 2-ому закону Кирхгофа для контуров:

$$\vec{E} = \vec{U}_{C1} + \vec{U}_{L2} + \vec{U}_{R2}$$

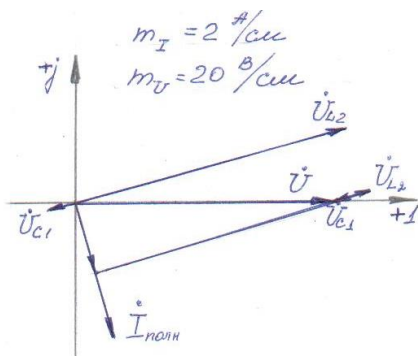


Рис. 2-32. Векторная диаграмма токов и падений напряжений для электрической цепи с последовательно соединенными элементами R,L,C.

ТЕМА 3. РАСЧЕТ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ ТРЕХФАЗНОГО ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

3.1. Основные сведения

Трехфазной называется электрическая цепь, в различных ветвях которой действуют три одинаковые по амплитуде синусоидальные ЭДС, имеющие одну частоту f , но сдвинутые относительно друг друга на угол 120^0 ($2\pi/3$), т.е.

$$e_A = E_m \sin \omega t ; \quad e_B = E_m \sin (\omega t - 120^0) ; \quad e_C = E_m \sin (\omega t + 120^0).$$

Для комплексных значений ЭДС

$$E_A = E_m e^{j0}; \quad E_B = E_m e^{-j2\pi/3}; \quad E_C = E_m e^{+j2\pi/3}.$$

Существует два способа соединения фазных обмоток:

- по типу «звезда», когда концы фазных обмоток объединены в общую точку, называемую нейтральной;

- по типу «треугольник», когда начало последующей фазной обмотки соединена с концом предыдущей.

Основными соотношениями между линейными и фазными напряжениями, а также между линейными и фазными токами приняты разных способах объединения фазных обмоток:

- при соединении «звездой»

$$U_{\text{л}} = \sqrt{3} U_{\text{ф}} ; \quad I_{\text{л}} = I_{\text{ф}}$$

- при соединении «треугольником»

$$U_{\text{л}} = U_{\text{ф}} ; \quad I_{\text{л}} = \sqrt{3} I_{\text{ф}}.$$

С учетом этих соотношений выражения для записи комплексов фазных напряжений представлены выражениями: фазные напряжения:

Тип соединения обмоток «звезда»	Тип соединения обмоток «треугольник»
$U_a = \frac{U_{\text{л}}}{\sqrt{3}} \cdot e^{+j0^0}, \text{В};$ $U_{\text{с}} = \frac{U_{\text{л}}}{\sqrt{3}} \cdot e^{-j120^0}, \text{В};$ $U_C = \frac{U_{\text{л}}}{\sqrt{3}} \cdot e^{+j120^0}, \text{В}.$	$U_{ab} = U_{\text{л}} \cdot e^{+j0^0}, \text{В};$ $U_{bC} = U_{\text{л}} \cdot e^{-j120^0}, \text{В};$ $U_{aC} = U_{\text{л}} \cdot e^{+j120^0}, \text{В}.$

Кроме того, трехфазная цепь, фазные обмотки которой соединены по типу «звезда», может как трехпроводной, так и четырехпроводной.

Для трехфазных цепей вводится понятие «симметричной» нагрузки, т.е. нагрузки, комплексные сопротивления фазных нагрузок равны.

В случае, если нагрузка симметричная, а трехфазная цепь четырехпроводная, ток в нейтральном проводе равен нулю.

В случае, если нагрузка несимметричная, а трехфазная цепь четырехпроводная, ток в нейтральном проводе равен сумме комплексных токов, протекающих в каждой фазной нагрузке, т.е.

$$\underline{I}_{nN} = \underline{I}_a + \underline{I}_b + \underline{I}_c.$$

При несимметричной нагрузке фаз полная активная и полная реактивная мощности трехфазной цепи складываются из соответствующих мощностей в каждой фазе, т.е.

$$P = P_A + P_B + P_C, \text{ Вт};$$

$$Q = Q_A + Q_B + Q_C, \text{ Вар}.$$

$$\text{Полная мощность трехфазной цепи: } S = \sqrt{P^2 + Q^2}, \text{ ВА}$$

3.2. Задание 3.

РАСЧЕТ ТРЕХФАЗНОЙ ЧЕТЫРЕХПРОВОДНОЙ ЦЕПИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Для электрической цепи, схема замещения которой изображена на рис. 3.1 – 3.27, по исходным данным, заданным в табл. 3 параметрам и линейному напряжению, определить:

- комплексы фазных напряжений;
- комплексы фазных и линейных токов и тока в нейтральном проводе;
- активную, реактивную мощности каждой фазы и всей цепи, а также полную мощность цепи;
- построить векторную диаграмму токов и напряжений.

Номер варианта задания соответствует номеру в списочном составе группы.

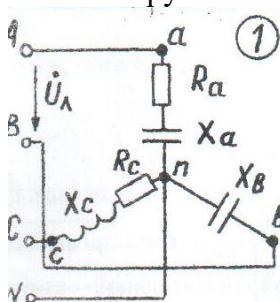


Рис.3.1

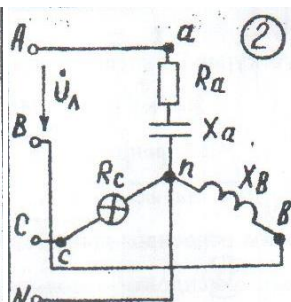


Рис.3.2

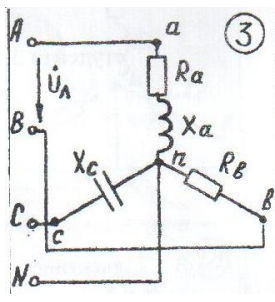


Рис.3.3

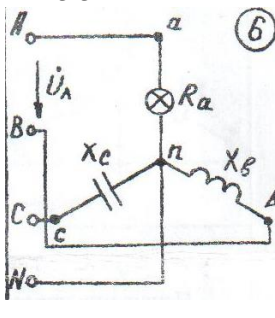
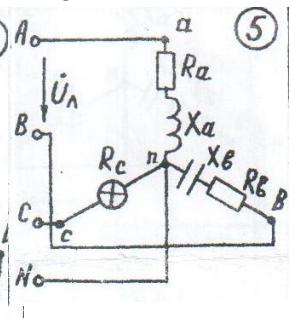
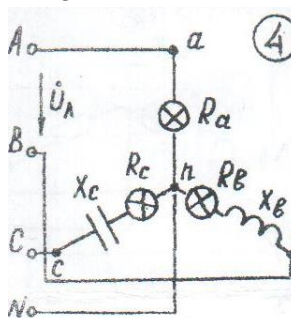


Рис.3.4

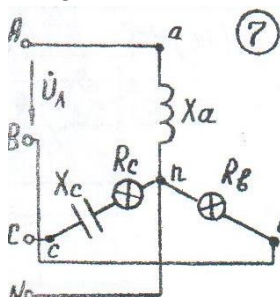


Рис.3.7

Рис.3.5

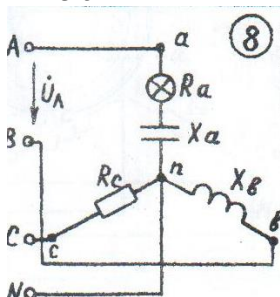


Рис.3.8

Рис.3.6

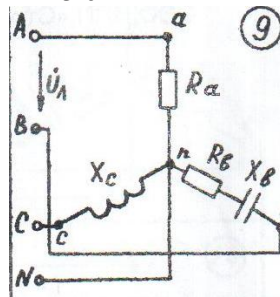


Рис.3.9

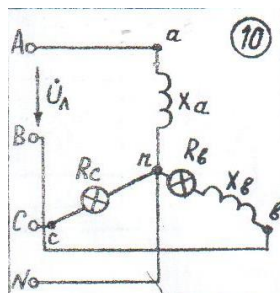


Рис.3.10

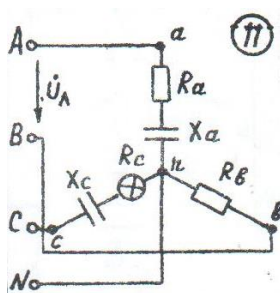


Рис.3.11

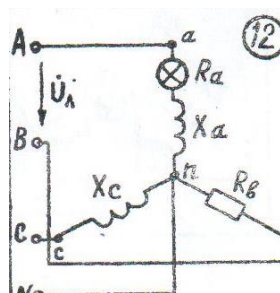


Рис.3.12

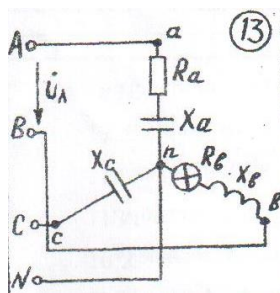


Рис.3.13

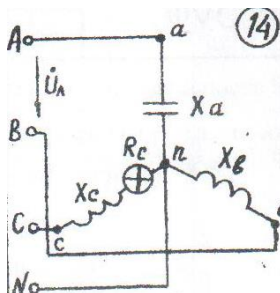


Рис.3.14

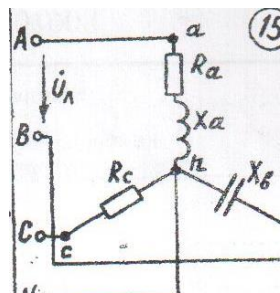


Рис.3.15

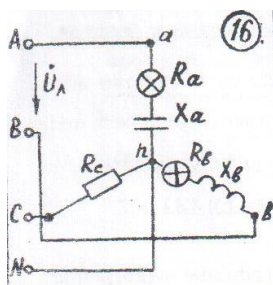


Рис.3.16

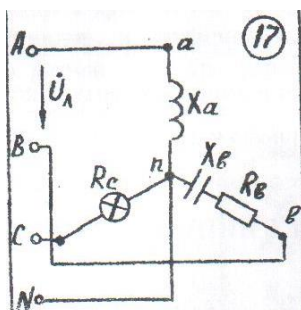


Рис.3.17

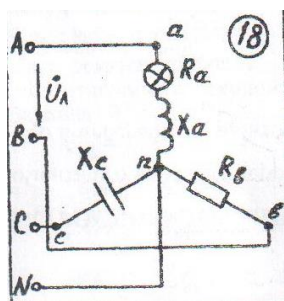


Рис.3.18

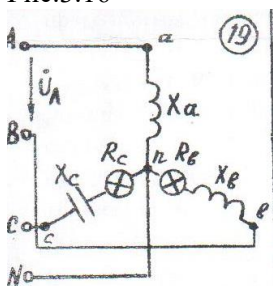


Рис.3.19

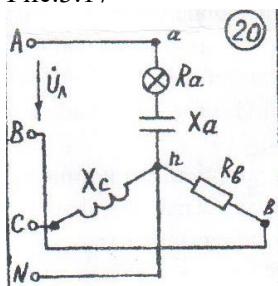


Рис.3.20

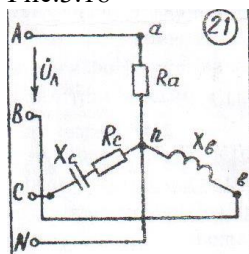


Рис.3.21

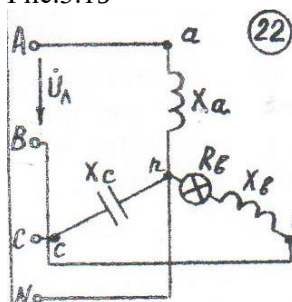


Рис.3.22

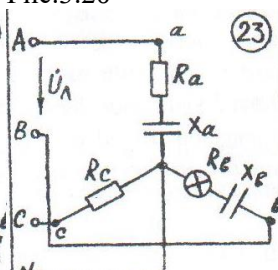


Рис.3.23

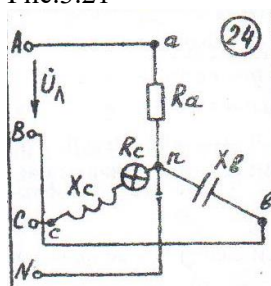


Рис.3.24

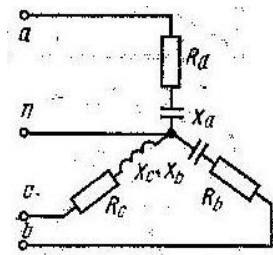


Рис.3.25

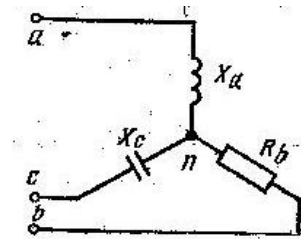


Рис.3.26

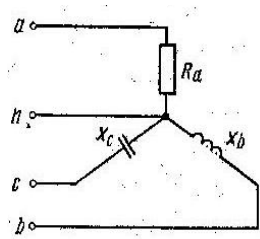


Рис.3.27

Таблица 3

Вариант	Схема	Линейное напряжение $U_{л}, В$	Сопротивления фаз, Ом						Изменение сопротивление фазы в 2 раза		Обрыв фазы
			R_a	R_b	R_c	X_a	X_b	X_c	Уменьш.	Увеличен.	
1	3-1	660	16	-	8	11	20	6	R_a		а
2	3-2	380	6	-	10	8	22	-		X_b	в
3	3-3	660	8	38	-	6	-	19	R_b		с
4	3-4	220	5	3	6	-	4	8		R_b	а
5	3-5	380	6	8	10	8	6	-	X_a		в
6	3-6	220	22	-	-	-	11	22	X_c		с
7	3-7	380	-	20	8	11	-	8		R_c	а
8	3-8	220	8	-	17	8	10	-		R_a	в
9	3-9	660	38	14	-	-	14	19	R_a		с
10	3-10	380	-	10	20	22	11	-	R_c	X_b	а
11	3-11	220	12	10	6	12	-	8	R_c	X_c	в
12	3-12	380	6	20	-	8	-	10	X_c	R_a	с
13	3-13	220	8	12	-	8	12	15		R_b	а
14	3-14	660	-	-	6	20	15	8	R_c		в
15	3-15	380	20	-	38	20	19	-		R_b	с
16	3-16	660	8	9	22	12	11	-	X_a	R_a	а

Продолжение таблицы

Вариант	Схема	Линейное напряжение $U_{л}, В$	Сопротивления фаз, Ом						Изменение сопротивления фазы в 2 раза		Обрыв фазы
			R_a	R_b	R_c	X_a	X_b	X_c	Уменьш.	Увеличен.	
17	3-17	380	-	6	12	10	8	-		R_b	в
18	3-18	660	14	11	-	14	-	22	X_c		с
19	3-19	220	-	3	8	6	4	6	X_c	R_b	а
20	3-20	380	6	22	-	8	-	11	R_b		в
21	3-21	220	19	-	15	-	38	10	R_c	X_b	с
22	3-22	380	-	6	-	22	8	20		X_c	а
23	3-23	220	3	6	10	4	8	-		R_a	в
24	3-24	660	20	-	14	-	11	14	X_c	R_c	с
25	3-25	380	8	6	10	10	22	10	R_a		с
26	3-26	220	-	18	12	-	-	22		X_c	а
27	3-27	380	6	-	-	8	-	38	X_c		в
28	3-5	220	12	10	8	5	15	-		X_a	с
29	3-13	380	4	12	-	8	14	10		R_a	а
30	3-19	220	-	9	15	10	6	4	X_c	R_b	а

3.3. Пример решения задания 3.

В качестве примера для решения проведем расчет трехфазной четырехпроводной электрической цепи, схема замещения которой представлена на рис. 3.28.

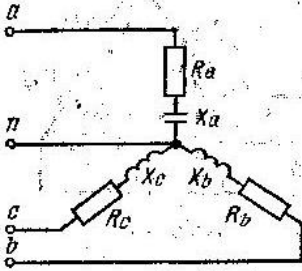


Рис.3-28.Схема замещения трехфазной четырехпроводной электрической цепи

Дано: $U_{\text{л}} = 380 \text{ В}$, $R_a = 8 \text{ Ом}$, $X_a = 6 \text{ Ом}$, $R_b = 6 \text{ Ом}$, $X_b = 8 \text{ Ом}$, $R_c = 5 \text{ Ом}$, $X_c = 5 \text{ Ом}$.

Расчет трехфазной электрической цепи ведется символическим методом и предполагает выполнение следующих действий.

3.1. Определение комплексных фазных напряжений с учетом основных соотношений и способов соединения фазных обмоток:

$$U_a = \frac{U_{\text{л}}}{\sqrt{3}} \cdot e^{+j0^\circ} = 220 \cdot e^{+j0^\circ} \text{ В};$$

$$U_b = \frac{U_{\text{л}}}{\sqrt{3}} \cdot e^{-j120^\circ} = 220 \cdot e^{-j120^\circ} \text{ В};$$

$$U_c = \frac{U_{\text{л}}}{\sqrt{3}} \cdot e^{+j120^\circ} = 220 \cdot e^{+j120^\circ} \text{ В}.$$

3.2. Определение фазных сопротивлений в алгебраической и показательной формах комплексного числа по формулам, представленным в табл. 2.2:

$$\underline{Z}_a = R_a - jX_a = 8 - j6 = \sqrt{8^2 + 6^2} \cdot e^{-j \arctg \frac{6}{8}} = 10 \cdot e^{-j37^\circ}, \text{ Ом}$$

$$\underline{Z}_b = R_b + jX_b = 6 + j8 = \sqrt{8^2} + 6^2 \cdot e^{+j \arctg \frac{8}{6}} = 10 \cdot e^{+j53^0}, \text{ Ом}$$

$$\underline{Z}_c = R_c + jX_c = 5 + j5 = \sqrt{5^2} + 5^2 \cdot e^{+j \arctg \frac{5}{5}} = 7 \cdot e^{+j45^0}, \text{ Ом}$$

3.3. Определение комплексов фазных, линейных токов и тока в нейтральном проводе:

$$\underline{I}_a = \frac{\underline{U}_a}{\underline{Z}_a} = \frac{220 \cdot e^{+j0^0}}{10 \cdot e^{-j37^0}} = 22 \cdot e^{+j37^0}, \text{ А}$$

$$\underline{I}_b = \frac{\underline{U}_b}{\underline{Z}_b} = \frac{220 \cdot e^{-j120^0}}{10 \cdot e^{+j53^0}} = 22 \cdot e^{-j173^0}, \text{ А}$$

$$\underline{I}_c = \frac{\underline{U}_c}{\underline{Z}_c} = \frac{220 \cdot e^{+j120^0}}{7 \cdot e^{+j45^0}} = 31,4 \cdot e^{+j75^0}, \text{ А}$$

$$\begin{aligned} \underline{I}_{nN} &= \underline{I}_a + \underline{I}_b + \underline{I}_c = \\ &22 \cos(+37^0) + j22 \sin(+37^0) + 22 \cos(-173^0) + j22 \sin(-173^0) + \\ &31,4 \cos(+75^0) + j31,4 \sin(+75^0) = 3,86 + j40,886 = 41,1 \cdot e^{+j84^0}, \text{ А} \end{aligned}$$

3.5. Определение активной, реактивной, полной мощности каждой фазной нагрузки и цепи в целом:

$$P_a = R_a \cdot I_a^2 = 8 \cdot 22^2 = 3872 \text{ Вт}$$

$$P_b = R_b \cdot I_b^2 = 6 \cdot 22^2 = 2904 \text{ Вт}$$

$$P_c = R_c \cdot I_c^2 = 5 \cdot 31,4^2 = 4929,8 \text{ Вт}$$

$$Q_a = X_a \cdot I_a^2 = 6 \cdot 22^2 = 2904 \text{ Вар}$$

$$Q_b = X_b \cdot I_b^2 = 8 \cdot 22^2 = 3872 \text{ Вар}$$

$$Q_c = X_c \cdot I_c^2 = 5 \cdot 31,4^2 = 4929,8 \text{ Вар}$$

$$P_{\text{полн}} = P_a + P_b + P_c = 11705 \text{ Вт}$$

$$Q_{\text{полн}} = -jQ_a + jQ_b + jQ_c = 5897,8 \text{ Вар}$$

$$\underline{S} = P_{\text{полн}} + jQ_{\text{полн}} = 11705 + j5897,8 = 13107 \cdot e^{+j27^\circ} \text{ ВА.}$$

3.6. Построение векторной диаграммы осуществляется на плоскости комплексных чисел.

Методика построения заключается в следующем:

- выбираем масштаб построения векторов напряжений и токов;
- строим равносторонний треугольник, сторонами которого являются линейные напряжения в выбранном масштабе;
- из вершин треугольника методом засечек откладываем векторы фазных напряжений в виде радиусов циркуля (в том же масштабе);
- точка пересечения трех радиусов фазных напряжений является нейтральной точкой и обозначается П;
- соединив полученную точку П с вершинами треугольника, получаем вектора фазных напряжений;
- от оси (+ 1) вещественных чисел по расчетным значениям токов откладываем вектора фазных токов и тока в нейтральном проводе.

В результате получаем векторную диаграмму, представленную на рис. 3-29.

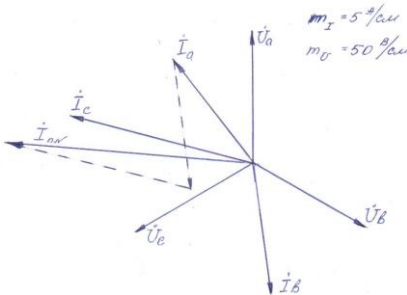


Рис. 3-29. Векторная диаграмма фазных токов и напряжений трехфазной четырехпроводной цепи с несимметричной нагрузкой.

Список рекомендованной литературы

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

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

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

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

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

Список использованной литературы

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

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

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

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	3
Тема 1. Расчет электрических цепей постоянного тока	5
1.1. Основные сведения	5
1.2. Расчет электрических цепей постоянного тока методом свертывания(метод эквивалентного сопротивления)	7
1.3.Задание 1.1. Расчет электрических цепей постоянного тока методом свертывания	9
1.4. Задание 1.2. Расчет электрических цепей постоянного тока методом контурных токов	16
1.5. Пример решения задания 1.2	20
Тема 2. Расчет электрических цепей однофазного переменного тока	25
2.1. Основные сведения	25
2.2. Задание 2. Расчет электрических цепей однофазного переменного тока	28
2.3. Пример решения задания 2	34
Тема 3. Расчет электрических цепей трехфазного переменного тока	40
3.1. Основные сведения	40
3.2. Задание 3. Расчет трехфазной четырехпроводной цепи переменного тока	42
3.3. Пример решения задания 3	48
Список рекомендованной литературы	51
Список использованной литературы	52
Содержание	53
ПРИЛОЖЕНИЕ	54

ПРИЛОЖЕНИЕ

Решение системы трех линейных уравнений с помощью определителей

Определение:

$$\begin{vmatrix} a_1 & b_1 & c_1 \\ a_2 & b_2 & c_2 \\ a_3 & b_3 & c_3 \end{vmatrix} = a_1 b_2 c_3 + a_2 b_3 c_1 + a_3 b_1 c_2 - a_2 b_1 c_3 - a_1 b_3 c_2 - a_3 b_2 c_1$$

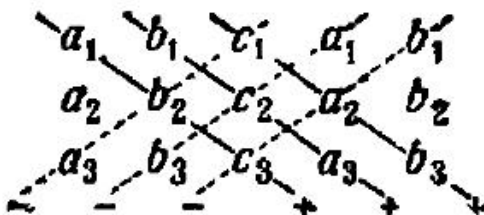
называется определителем третьего порядка.

Числа $a_1, a_2, a_3, b_1, b_2, b_3, c_1, c_2, c_3$ называются *элементами* определителя.

Элементы a_1, b_2, c_3 образуют *главную диагональ* определителя, а элементы c_1, b_2, a_3 – его *побочную диагональ*.

Простое правило для запоминаний этого выражения:

запишем еще раз все элементы определителя, приписав к ним снова первый и второй столбцы:



Со знаком плюс берем произведение элементов, стоящих на главной диагонали определителя, а также на двух параллелях к ней, содержащих по три

элемента (на рисунке они перечеркнуты сплошной линией).

Со знаком минус берем произведения элементов, стоящих на побочной диагонали и на двух параллелях к ней, содержащие по три элемента (на рисунке они перечеркнуты пунктиром).

Решение системы линейных уравнений с помощью определителей можно записать так (*формулы Крамера*):

$$\begin{cases} a_1 x + b_1 y + c_1 z = d_1, \\ a_2 x + b_2 y + c_2 z = d_2, \\ a_3 x + b_3 y + c_3 z = d_3 \end{cases}$$

$$x = \frac{\begin{vmatrix} d_1 & b_1 & c_1 \\ d_2 & b_2 & c_2 \\ d_3 & b_3 & c_3 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} a_1 & b_1 & c_1 \\ a_2 & b_2 & c_2 \\ a_3 & b_3 & c_3 \end{vmatrix}}, \quad y = \frac{\begin{vmatrix} a_1 & d_1 & c_1 \\ a_2 & d_2 & c_2 \\ a_3 & d_3 & c_3 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} a_1 & b_1 & c_1 \\ a_2 & b_2 & c_2 \\ a_3 & b_3 & c_3 \end{vmatrix}}, \quad z = \frac{\begin{vmatrix} a_1 & b_1 & d_1 \\ a_2 & b_2 & d_2 \\ a_3 & b_3 & d_3 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} a_1 & b_1 & c_1 \\ a_2 & b_2 & c_2 \\ a_3 & b_3 & c_3 \end{vmatrix}}.$$

Определитель, стоящий в знаменателе, называется главным определителем системы уравнений. Естественно, вышеприведенные формулы применимы только в том случае, если главный определитель отличен от нуля.

Пример. Решить систему

$$\begin{cases} 2x - y - z = 7, \\ x + y - 2z = 2, \\ x - y - 3z = -2. \end{cases}$$

Имеем

$$x = \frac{\begin{vmatrix} 7 & -1 & -1 \\ 2 & 1 & -2 \\ -2 & -1 & -3 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} 2 & -1 & -1 \\ 1 & 1 & -2 \\ 1 & -1 & -3 \end{vmatrix}} = \frac{-21 + 2 - 4 - 6 - 14 - 2}{-6 + 1 + 2 - 3 - 4 - (-1)} = \frac{-45}{-9} = 5.$$

После этого сводим решение исходной системы к решению системы с двумя неизвестными:

$$\begin{cases} 5 + y - 2z = 2, \\ 5 - y - 3z = -2. \end{cases}$$

Решив ее, получим $x = 5, y = 1, z = 2$.

$$\begin{cases} 3x - y + 4z = 15, \\ x + 3y + z = 18, \\ 2z + y - 3z = 11. \end{cases}$$

Составитель:
Гаршина Елена Ивановна

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ

**Методические указания к самостоятельной работе и
выполнению контрольной работы**

Редактор *М.Г. Девещенко*
Компьютерная верстка *В.Н. Зенина*

Подано в печать «__» _____ 2018 г. Формат 60х84 ¹/₁₆
Объем 3 уч.-изд. л., 3 усл. печ. л.
Тираж 10 экз. Изд №__ Заказ __

Отпечатано в Издательском центре НГАУ «Золотой колос»
630039, Новосибирск, ул. Добролюбова, 160, кааб. 106.
Тел./факс (383) 267-09-10. E-mail: 2134539@mail.ru