

**НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ**

ИНЖЕНЕРНЫЙ ИНСТИТУТ

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ

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

Новосибирск 2020

УДК 621.38 (075)

Кафедра техносферной безопасности и электротехнологий

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

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

Теоретические основы электротехники: методические указания к самостоятельной работе по выполнению контрольной работы /Новосиб. гос. аграр. ун-т. Инж. ин-т; Сост.: Е.И.Гаршина, - Новосибирск: Изд-во НГАУ, 2020. - 48 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.

Предназначена для студентов очного и заочного обучения направления 35.03.06 «Агроинженерия» профиля «Электрооборудование и электротехнологии».

Утверждена и рекомендована к изданию учебно-методическим советом Инженерного института (протокол №5 от 12 декабря 2020 г.).

© Новосибирский государственный аграрный университет 2020

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;

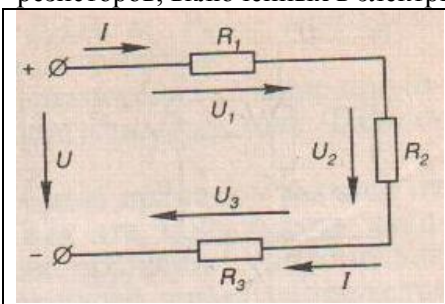
- приемами использования средств измерения, методами определения погрешности и оценки результатов измерений.

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:

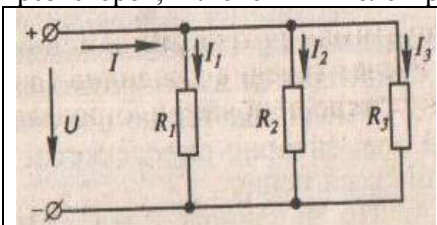


$$R_{\text{экв}} = \sum R_i$$

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,

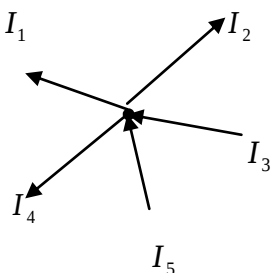
соответственно, полная и эквивалентная i -го элемента электрической цепи.

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



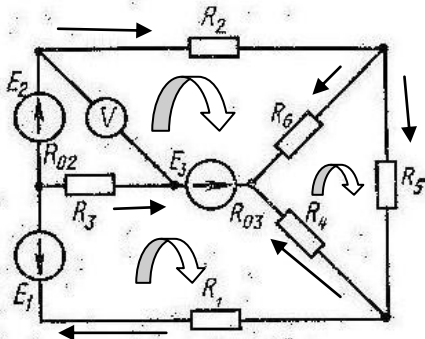
$$\sum I = 0,$$

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.

Задание 1

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.

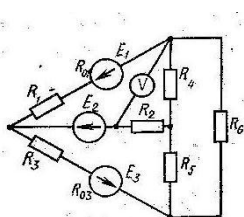


Рис 1.1

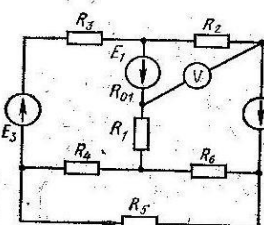


Рис.1.2

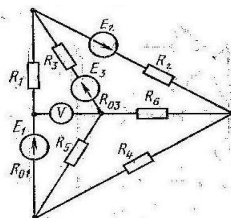


Рис.1.3

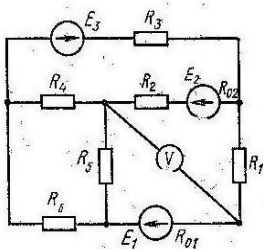


Рис.1.4

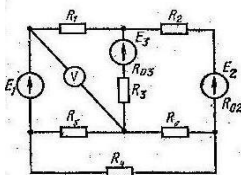


Рис.1.5

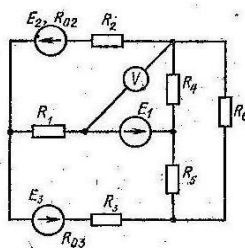


Рис.1.6

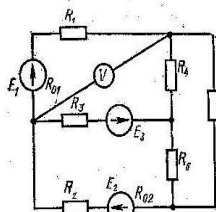


Рис.1.7

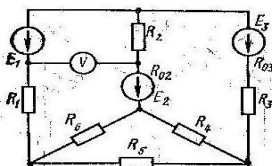


Рис.1.8

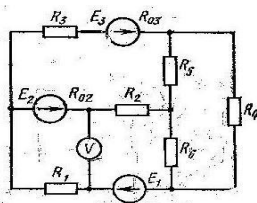


Рис.1.9

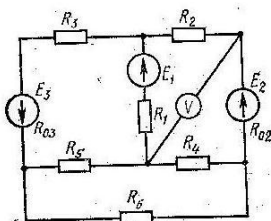


Рис.1.10

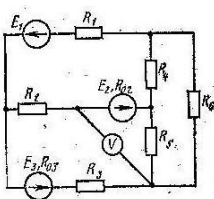


Рис.1.11

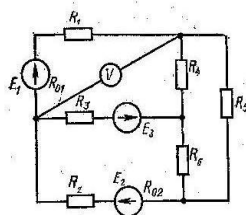


Рис.1.12

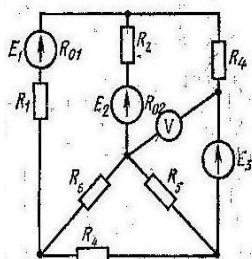


Рис.1.13

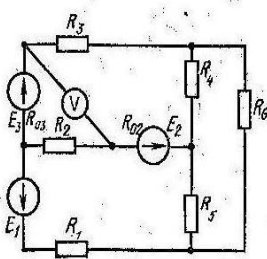


Рис.1.14

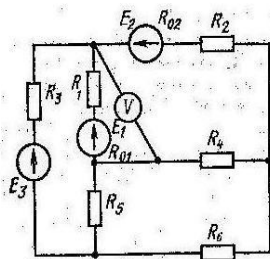


Рис.1.15

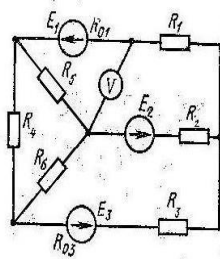


Рис.1.16

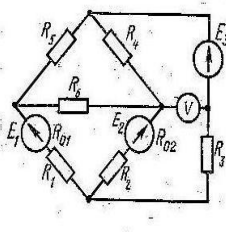


Рис.1.17

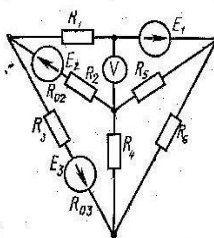


Рис.1.18

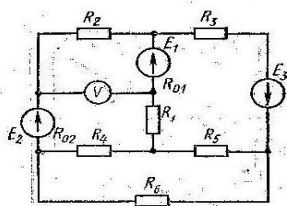


Рис.1.19

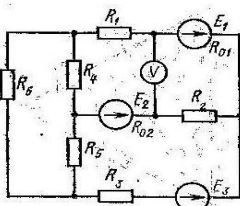


Рис.1.20

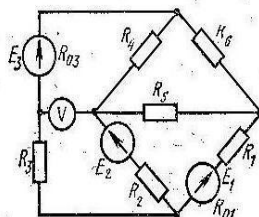


Рис.1.21

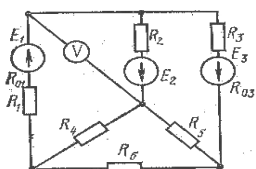


Рис.1.22

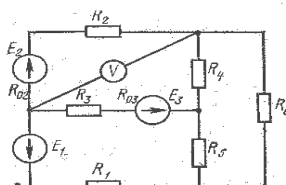


Рис.1.23

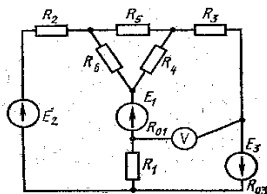


Рис.1.24

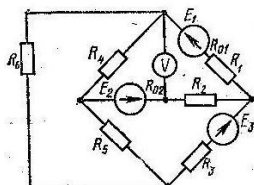


Рис.1.25

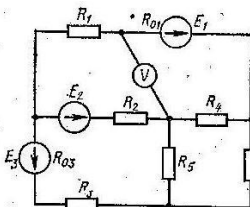


Рис.1.26

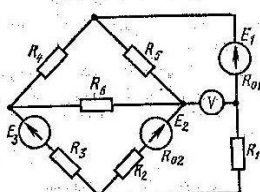


Рис.1.27

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	1-1	5	16	30	0,4	-	0,7	6	4	3	2	5	3
2	1-2	54	27	3	1,2	0,9	-	8,0	3	1	4	2	2
3	1-3	22	24	10	0,2	-	1,2	2	1	8	4	10	6
4	1-4	48	12	6	0,8	1,4	-	4,2	4	2	12	6	2
5	1-5	36	10	25	-	0,4	0,5	4	8	3	1	2	7
6	1-6	16	5	32	-	0,6	0,8	9	3	2	4	1	5
7	1-7	72	12	4	0,7	1,5	-	6,0	1	10	4	12	4
8	1-8	36	9	24	-	0,8	0,8	3,0	4	2	1	5	1
9	1-9	3	66	9	-	0,7	1,2	1,0	4	2	2	7	3
10	1-10	36	10	25	-	0,4	0,5	4	8	3	1	2	7
11	1-11	16	5	32	-	0,6	0,8	9	3	2	4	1	5
12	1-12	48	12	6	0,8	1,4	-	4,2	4	2	12	6	2
13	1-13	10	6	24	0,8	0,3	-	3,5	5	6	6	3	1
14	1-14	6	20	4	-	0,8	1,2	4	6	4	4	3	3
15	1-15	20	22	9	0,1	-	1,1	1	2	6	3	8	4
16	1-16	4	24	6	0,9	-	0,5	9,0	8	1	6	10	4
17	1-17	16	8	9	0,2	0,6	-	2,5	6	6	5	10	5
18	1-18	12	48	6	-	0,4	0,4	2,5	1	4	15	2	2
19	1-19	12	30	25	1,0	0,4	-	1,0	5	1	1	6	4
20	1-20	30	16	10	0,6	0,8	-	2,0	5	3	1	8	5
21	1-21	4	9	18	0,8	-	0,7	2,7	10	4	8	10	2
22	1-22	10	6	24	0,8	0,3	-	3,5	5	6	6	3	1
23	1-23	6	20	4	-	0,8	1,2	4	6	4	4	3	3
24	1-24	8	6	36	1,3	-	1,2	3,0	2	1	6	8	6
25	1-25	12	6	40	1,2	0,6	-	2,0	3	8	5	7	8
26	1-26	8	6	36	1,3	-	1,2	3,0	2	1	6	8	6
27	1-27	16	8	9	0,2	0,6	-	2,5	6	6	5	10	5

Пример решения задания 1.

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

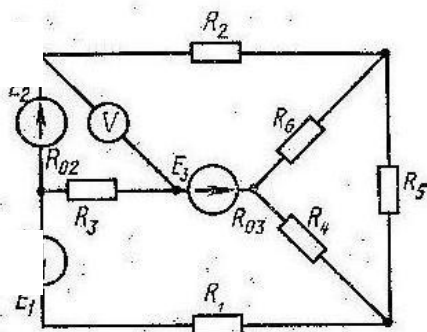


Рис. 1.1. Вариант электрической цепи, предложенной для примера расчета.

Дано:

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

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

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

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).

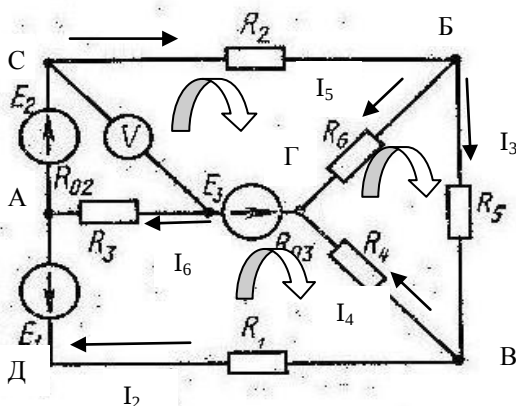


Рис.1.2. Схема замещения электрической цепи с обозначенными узлами и токами, протекающими во всех ветвях цепи.

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):

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

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

$$I_3 = I_{k3} = \frac{2575,2}{1975,2} = 1,30 \text{ (A)};$$

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).

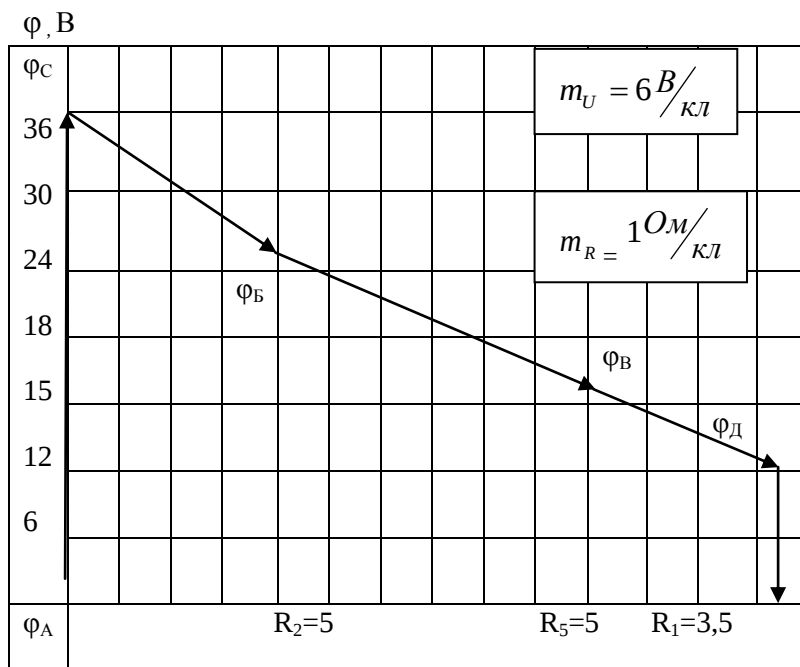


Рис. 1-3. Потенциальная диаграмма.

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.

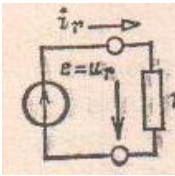
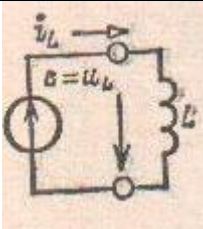
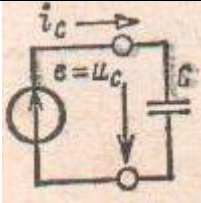
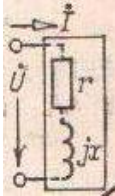
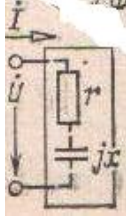
параметры электрической цепи		Простейшие схемы замещения		
				
Сопротивление, Ом	абсолютное значение	R	$X_L = 2\pi \cdot f \cdot L$	$X_C = \frac{1}{2\pi \cdot f \cdot C}$
	Алгебраическая форма	R	$+jX_L = +j2\pi \cdot f \cdot L$	$-jX_C = -j\frac{1}{2\pi \cdot f \cdot C}$
Сопротивление в виде комплексного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

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.

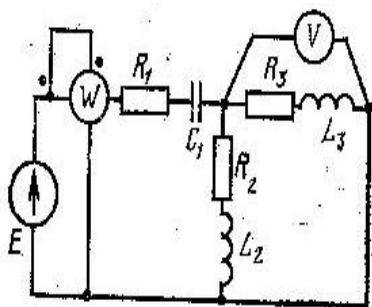


Рис. 2.1

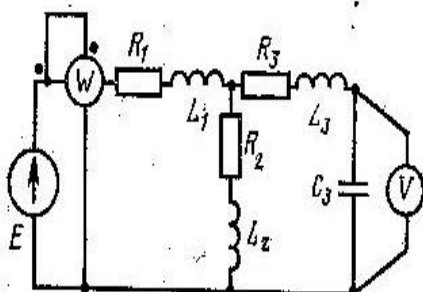


Рис. 2.2

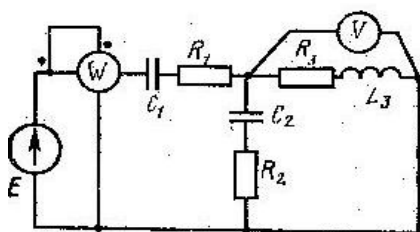


Рис. 2.3

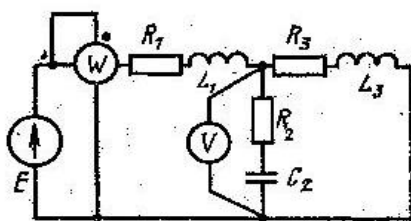


Рис. 2.4

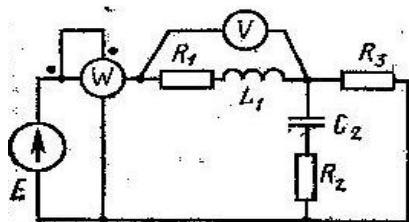


Рис. 2.5

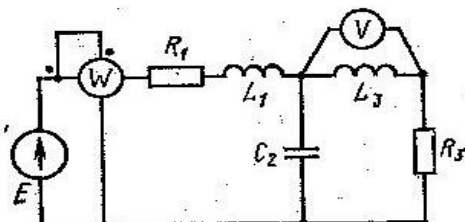


Рис. 2.6

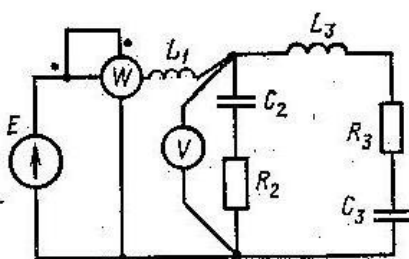


Рис. 2.7

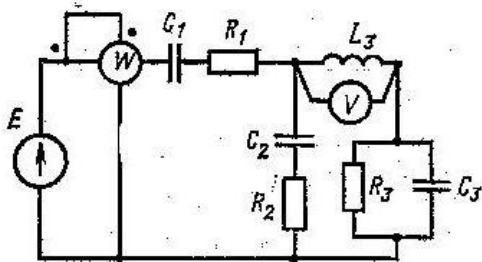


Рис. 2.8

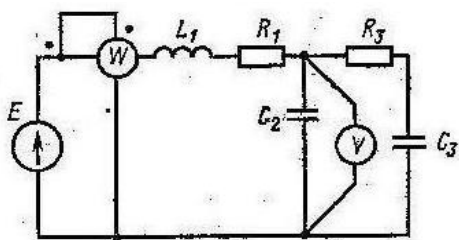


Рис. 2.9

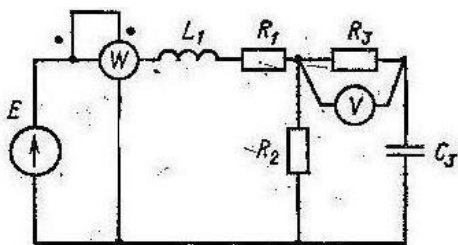


Рис. 2.10

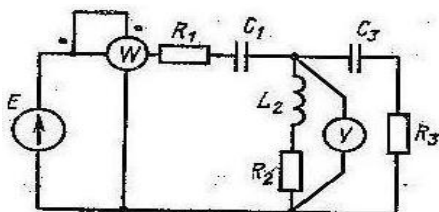


Рис. 2.11

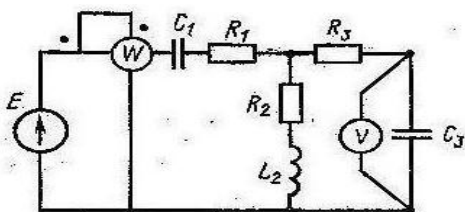


Рис. 2.12

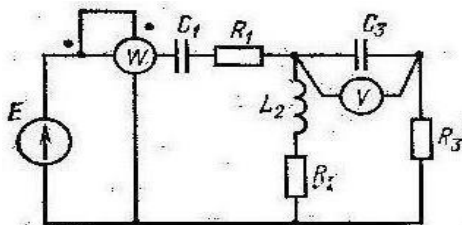


Рис. 2.13

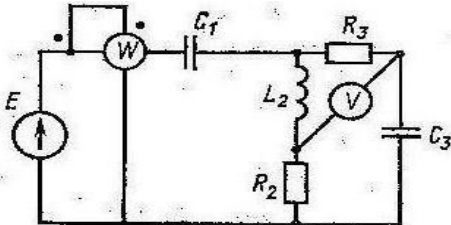


Рис. 2.14

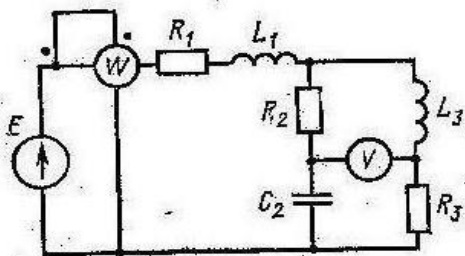


Рис. 2.15

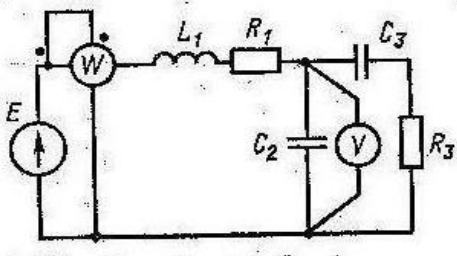


Рис. 2.16

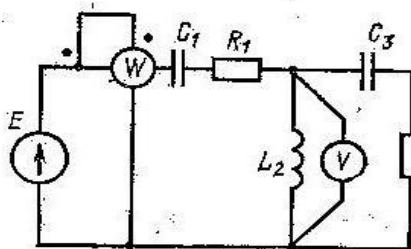


Рис. 2.17

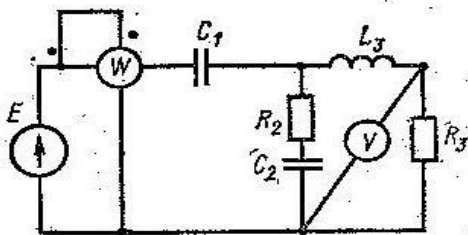


Рис. 2.18

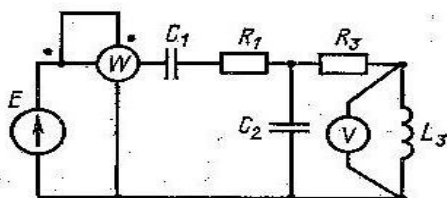


Рис. 2.19

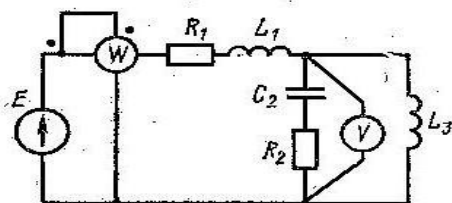


Рис. 2.20

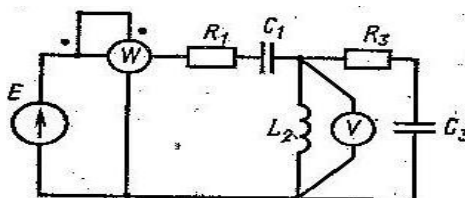


Рис. 2.21

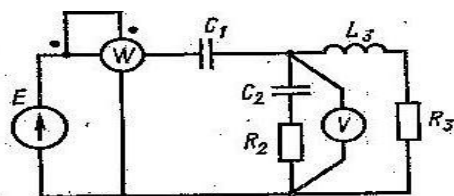


Рис. 2.22

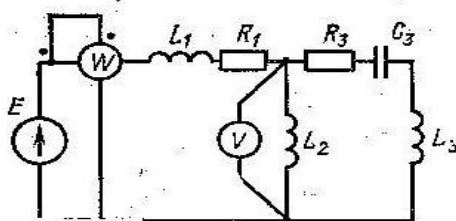


Рис. 2.23

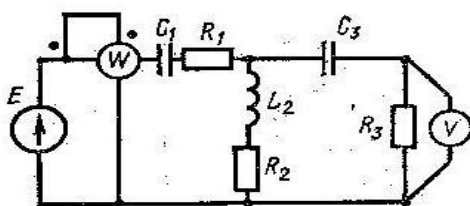


Рис. 2.24

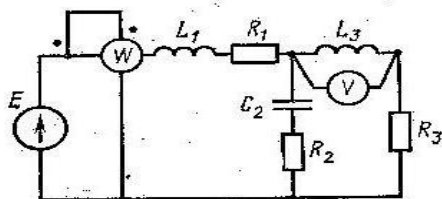


Рис. 2.25

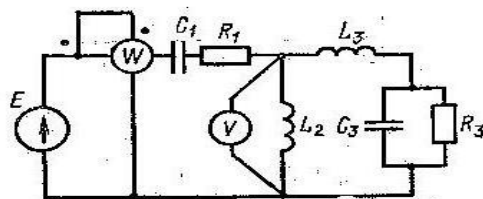


Рис. 2.26

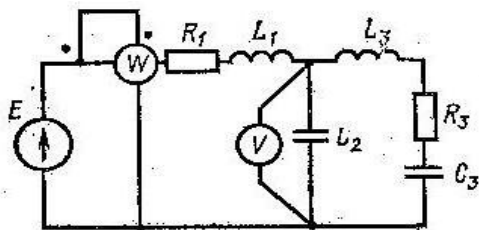


Рис. 2.27

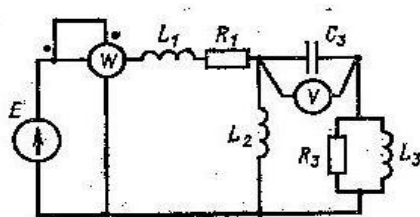


Рис. 2.28

Таблица 2.3

Вариант	рисунк	Значения параметров									
		E, В	C ₁ , мкф	C ₂ , мкф	C ₃ , мкф	L ₁ , мГн	L ₂ , мГн	L ₃ , мГн	R ₁ , Ом	R ₂ , Ом	R ₃ , Ом
1	2-1	150	637		-	-	31,8	15,9	2	3	4
2	2-2	100	-	-	100	15,9	9	15,9	8	3	4
3	2-3	120	637	300	-	-		15,9	8	3	4
4	2-4	200	-	300	-		-	15,9	8	3	4
5	2-5	200	-	159	-	115	-		10	4	10,0
6	2-6	50		159	-	31,8	-	115	10		10,0
7	2-7	220	-	318	159	9,55	-	95	-	10	40
8	2-8	50	500	159	159	-	-	31,8	35	20	40
9	2-9	120	-	300	100	31,8	-	-	5	-	8
10	2-10	200	-	-	100	31,8	-	-	5	10	8
11	2-11	220	637	-	200	-	15,9	-	5	10	8
12	2-12	150	100	-	200	-	15,9	-	10	2	10
13	2-13	120	100	-	200	-	15,9	-	10	8	10
14	2-14	200	637	-	200	-	31,8	--	-	8	10
15	2-15	50	-	159	-	31,8	-	95	15	10	10
16	2-16	100	-	159	200	15,9	-	-	15	-	10

Продолжение таблицы 2.3

Вариант	рис. унок	Значения параметров									
		$E, \text{В}$	$C_1, \text{мкф}$	$C_2, \text{мкф}$	$C_3, \text{мкф}$	$L_1, \text{мГн}$	$L_2, \text{мГн}$	$L_3, \text{мГн}$	$R_1, \text{Ом}$	$R_2, \text{Ом}$	$R_3, \text{Ом}$
17	2-17	200	637		200	-	31,8		15		20
18	2-18	220	637	159	-	-	-	95	-	10	20
19	2-19	100	637	159		-	-	95	6	-	20
20	2-20	100	-	159	-	25	-	95	6	4	-
21	2-21	220	637	-	637	-	9	-	6	-	20
22	2-22	50	318	637	-	-	-	31,8	-	10	40
23	2-23	120	-	-	300	19/1	15,9	31,8	40	-	10
24	2-24	200	318	-	300	-	15,9	31,8	10	10	40
25	2-25	50	-	318	-	19,5	-	31,8	8	10	4
26	2-26	100	637	-	200	-	31,8	95	8	-	4
27	2-27	200	-	318	200	15,9	-	95	8	-	4
28	2-28	220	-	-	200	15,9	31,8	95	8	-	4

Пример решения задания 2.

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

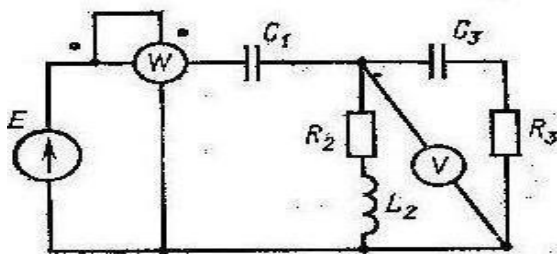


Рис.2-29. Схема замещения электрической цепи однофазного переменного тока.

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 .

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

$$X_{C1} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C_1} = \frac{1}{2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 398 \cdot 10^{-6}} = 2 \text{ Ом};$$

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

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

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

$$\cdot e^{+j \arctg \frac{20}{5}} = 20,6 \cdot e^{+j77^\circ} \text{ Ом};$$

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

$$10 \cdot e^{-j53^\circ} \text{ Ом}.$$

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:

$$\underline{Z}_{2,3} = \frac{\underline{Z}_2 \cdot \underline{Z}_3}{\underline{Z}_2 + \underline{Z}_3} = \frac{20,6 \cdot e^{+j77^\circ}}{5 + j20 + 6 - j8} \cdot 10e^{-j53^\circ} = \frac{202,6e^{+j24^\circ}}{11 + j12} =$$

$$\frac{206e^{+j24^\circ}}{16,25e^{+j46^\circ}} = 12,68e^{-j22^\circ} =$$

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

$$\underline{Z}_{\text{полн}} = +(-jX_{C1}) + \underline{Z}_{2,3} = -j2 + 11,76 - j4,75 = 11,76 - j6,75 = \sqrt{11,76^2 + 6,75^2} \cdot e^{-j \arctg \frac{6,75}{11,76}} = 13,55 \cdot e^{-j30^0} \text{ Ом.}$$

2. Определяем токи в ветвях:

$$\underline{I}_{\text{полн}} = \frac{E}{\underline{Z}_{\text{полн}}} = \frac{110}{13,55 e^{-j30^0}} = 8,11 \cdot e^{+j30^0} \text{ А;}$$

$$\underline{U}_{23} = \underline{Z}_{2,3} \underline{I}_{\text{полн}} = 12,68 e^{-j22^0} \cdot 8,11 \cdot e^{+j30^0} = 102,83 \cdot e^{+j8^0} \text{ В}$$

$$\underline{I}_2 = \frac{U_{23}}{\underline{Z}_2} = \frac{102,83 e^{+j8^0}}{20,6 e^{+j77^0}} = 5,0 \cdot e^{-j69^0} \text{ А;}$$

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

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:

$$Q = Q_{L2} - Q_{C1} - Q_{C3} = X_{L2} \cdot I_2^2 - X_{C1} \cdot I_{nom}^2 - X_{C3} \cdot I_3^2 = -500 - 135,8 - 845,4 = -1481,2 \text{ Bap};$$

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

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

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

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

1.6. Построение векторной диаграммы на плоскости комплексных чисел:

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

$$\text{контур 1} \quad \vec{E} = \vec{U}_{C1} + \vec{U}_{L2} + \vec{U}_{R2}$$

$$\text{контур2} \quad \vec{E} = \overrightarrow{U_{C1}} + \overrightarrow{U_{C3}} + \overrightarrow{U_{R3}}$$

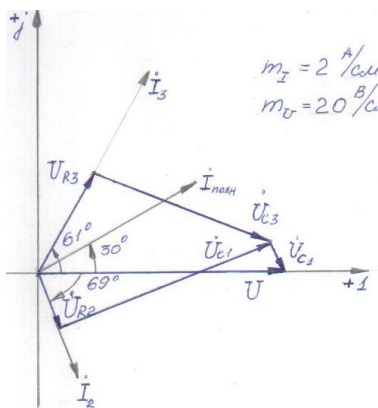


Рис. 2-30. Векторная диаграмма токов и падений напряжений для электрической цепи со смещенным соединением элементов R,L,C в нагрузочном режиме.

2. Расчет электрической цепи со смешанным соединением элементов R,L,C в режиме резонанса токов.

2.1. Записываем условие резонанса токов для рассматриваемой схемы:

$$\frac{X_{L2}}{R_2^2 + X_{L2}^2} = \frac{X_{C3}}{R_3^2 + X_{C3}^2},$$

и определяем новое значение $X_{C3рез}$, при котором в электрической цепи будет наблюдаться явление резонанса токов, при этом значение $X_{L2} = 20$ Ом, т.е. осталось прежним. Тогда из условия резонанса получаем уравнение:

$$\frac{20}{5^2 + 20^2} = \frac{X_{C3рез}}{6^2 + X_{C3рез}^2};$$

$$X_{C3рез}^2 - 21,25X_{C3рез} + 36 = 0$$

В результате расчета получаем два корня уравнения, т.е. первый корень равен $X_{C3рез} = 19,4$ Ом; второй корень равен $X_{C3рез} = 1,86$ Ом.

Выбираем большее значение $X_{C3рез} = 19,4$ Ом и проводим расчет по ранее рассмотренной методике.

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

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

$$\sqrt{5^2 + 20^2} \cdot e^{+j \arctg \frac{20}{5}} = 20,6 \cdot e^{+j77^\circ} \text{ Ом};$$

$$\underline{Z}_3 = R_3 - jX_{C3} = 6 - j19,4 = \sqrt{R_3^2 + X_{C3рез}^2} \cdot e^{-j \arctg \frac{X_{C3рез}}{R_3}} =$$

$$\sqrt{6^2 + 19,4^2} \cdot e^{-j \arctg \frac{19,4}{6}} = 20,3 \cdot e^{-j72^\circ} \text{ Ом}.$$

2.3. 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:

$$\underline{Z}_{2,3} = \frac{\underline{Z}_2 \cdot \underline{Z}_3}{\underline{Z}_2 + \underline{Z}_3} = \frac{20,6 \cdot e^{+j77^\circ}}{5 + j20 + 6 - j19,4} \cdot 20,3e^{-j72^\circ} = \frac{159,38e^{+j6^\circ}}{11 + j1,3} =$$

$$\frac{418,18e^{+j5^\circ}}{11,07e^{+j5^\circ}} = 37,8e^{-j0^\circ} = 37,8 \text{ Ом};$$

$$\underline{Z}_{\text{полн}} = +(-jX_{C1}) + \underline{Z}_{2,3} = +37,8 - j2 = \sqrt{37,8^2 + 2^2} \cdot e^{-j\arctan \frac{2}{37,8}} = 38 \cdot e^{-j2^\circ} \text{ Ом}.$$

3. Определяем токи в ветвях:

$$\underline{I}_{\text{полн}} = \frac{E}{\underline{Z}_{\text{полн}}} = \frac{110}{38e^{-j2^\circ}} = 2,9 \cdot e^{+j2^\circ} \text{ А};$$

$$\underline{U}_{23} = \underline{Z}_{2,3} \underline{I}_{\text{полн}} = 37,8 \cdot 2,9 \cdot e^{+j2^\circ} = 109,6 \cdot e^{+j2^\circ} \text{ В}$$

$$\underline{I}_2 = \frac{\underline{U}_{23}}{\underline{Z}_2} = \frac{109,6e^{+j2^\circ}}{20,6e^{+j77^\circ}} = 5,3 \cdot e^{-j75^\circ} = 1,37 - j5,11 \text{ А},$$

$$\underline{I}_3 = \frac{\underline{U}_{23}}{\underline{Z}_3} = \frac{109,6e^{+j2^\circ}}{20,3e^{-j72^\circ}} = 5,4 \cdot e^{+j74^\circ} = 1,66 + j5,13 \text{ А}.$$

2.4. Определяем падения напряжения на всех элементах схемы замещения:

$$\underline{U}_{C1} = (-jX_{C1}) \underline{I}_{\text{полн}} = 2 \cdot e^{-j90^\circ} \cdot 2,9 \cdot e^{+j2^\circ} = 5,8 \cdot e^{-j88^\circ} \text{ В};$$

$$\underline{U}_{R2} = R_2 \underline{I}_2 = 5 \cdot 5,3 \cdot e^{-j75^\circ} = 25,0 \cdot e^{-j75^\circ} \text{ В};$$

$$\underline{U}_{L2} = (jX_{L2}) \underline{I}_2 = 20 \cdot e^{+j90^\circ} \cdot 5,3 \cdot e^{-j75^\circ} = 106 \cdot e^{+j15^\circ} \text{ В};$$

$$\underline{U}_{R3} = R_3 \underline{I}_3 = 6 \cdot 5,4 \cdot e^{+j74^\circ} = 32,4 \cdot e^{+j74^\circ} \text{ В};$$

$$\underline{U}_{C3} = (-jX_{C3}) \underline{I}_3 = 19,4 \cdot e^{-j90^\circ} \cdot 5,4 \cdot e^{+j74^\circ} = 104,8 \cdot e^{-j16^\circ} \text{ В}.$$

3. Расчет цепи с последовательно соединенными элементами R, L C в нагрузочном режиме.

Чтобы провести расчет необходимо преобразовать схему замещения, т.е. в одну из ветвей включить размыкающий элемент. Для данной схемы замещения электрической цепи размыкающий элемент включим в ветвь, содержащую элементы R_3 и C_3 . Тогда цепь будет представлять последовательное соединение элементов C_1 , R_2 и L_2 .

Расчет проводим по следующей программе:

3.1. Определяем комплекс полного сопротивления полученной цепи

$$\underline{Z}_{\text{полн}} = +(-jX_{C1}) + R_2 + jX_{L2} = -j2 + 5 + j20 = 5 + +j18 = \sqrt{5^2 + 18^2} \cdot e^{+j \arctg \frac{18}{5}} = 18,7 \cdot e^{+j75^\circ} \text{ Ом.}$$

3.2. Определяем значение тока, протекающего в цепи:

$$\underline{I}_{\text{полн}} = \frac{E}{\underline{Z}_{\text{полн}}} = \frac{110}{18,7 \cdot e^{+j75^\circ}} = 5,88 \cdot e^{-j75^\circ} \text{ А}$$

3.3. Определяем значения падений напряжений на всех элементах:

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

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

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

2.7. Определяем активную, реактивную и полную мощность.

Составляем баланс мощностей.

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

Реактивная мощность определяется выражением:

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

Комплекс полной мощности определяется выражением:

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

Проводим расчет схемы замещения электрической цепи с последовательно соединенными R, L, C по ранее рассмотренной методике, т.е. выполняем следующие действия:

4.2. Определяем комплексное сопротивление цепи в алгебраической и показательной формах комплексных чисел:

$$\underline{Z}_{\text{полн}} = -jX_{C1} + R_2 + jX_{L2} = -j20 + 5 + j20 = 5 \text{ Ом};$$

4.3. Определяем значение тока, протекающего в цепи:

$$\underline{I}_{\text{полн}} = \frac{E}{Z_{\text{полн}}} = \frac{110}{5} = 22 \text{ А}$$

4.4. Определяем значения падений напряжений на всех элементах:

$$\underline{U}_{C1} = (-jX_{C1}) \underline{I}_{\text{полн}} = 20 \cdot e^{-j90^\circ} \cdot 22 = 440 \cdot e^{-j90^\circ} \text{ В};$$

$$\underline{U}_{R2} = R_2 \underline{I}_{\text{полн}} = 5 \cdot 22 = 110 \cdot e^{-j0^\circ} \text{ В};$$

$$\underline{U}_{L2} = (jX_{L2}) \underline{I}_2 = 20 \cdot e^{+j90^\circ} \cdot 22 = 440 \cdot e^{+j90^\circ} \text{ В};$$

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

$$\text{Активная мощность равна } P = R_2 \cdot I_{\text{полн}}^2 = 2420 \text{ Вт};$$

Реактивная мощность определяется выражением:

$$Q = Q_{L2} - Q_{C1} = X_{L2} \cdot I_{\text{полн}}^2 - X_{C1} \cdot I_{\text{полн}}^2 = 9680 - 9680 = 0 \text{ Вар};$$

Комплекс полной мощности определяется выражением:

$$S_{\text{полн}} = P + jQ = \sqrt{P^2 + Q^2} \cdot e^{-j \arctg \frac{Q}{P}} = 2420 - j0 = 2420 \cdot e^{-j0^\circ} \text{ ВА};$$

$$S_{\text{ист}} = E \cdot \underline{I}_{\text{полн}}^* = 110 \cdot 22 \cdot e^{-j0^\circ} = 2420 \cdot e^{-j0^\circ} \text{ Вар}$$

Так как $S_{\text{полн}} = S_{\text{ист}}$ баланс соблюдается с точностью 0 %.

4.6. Построение векторной диаграммы:

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

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

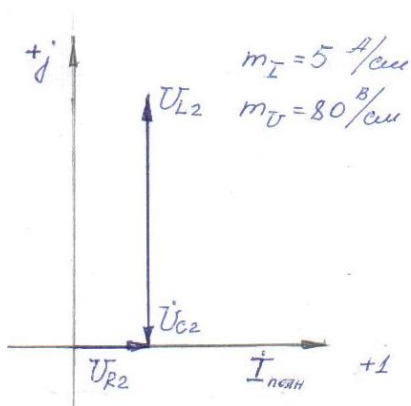


Рис. 2-33. Векторная диаграмма токов и падений напряжений для электрической цепи с последовательно соединенными элементами R, L, C в режиме резонанса напряжений.

ТЕМА 3. РАСЧЕТ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ ТРЕХФАЗНОГО ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

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 при 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»
$U_a = \frac{U_{\text{л}}}{\sqrt{3}} \cdot e^{+j0^0}, \text{В};$ $U_{\text{в}} = \frac{U_{\text{л}}}{\sqrt{3}} \cdot e^{-j120^0}, \text{В};$ $U_c = \frac{U_{\text{л}}}{\sqrt{3}} \cdot e^{+j120^0}, \text{В}.$	$U_{ab} = U_{\text{л}} \cdot e^{+j0^0}, \text{В};$ $U_{bc} = U_{\text{л}} \cdot e^{-j120^0}, \text{В};$ $U_{ac} = U_{\text{л}} \cdot e^{+j120^0}, \text{В}.$

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.

$$P = P_A + P_B + P_C, \text{ Вт};$$

$$Q = Q_A + Q_B + Q_C, \text{ Вар}.$$

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

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.

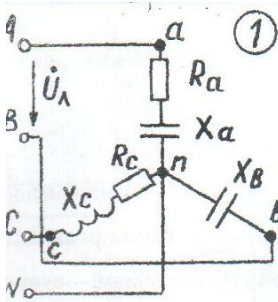


Рис.3.1

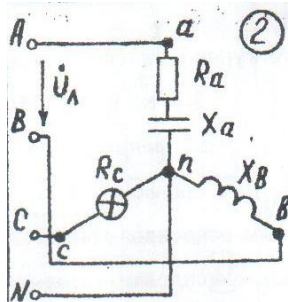


Рис.3.2

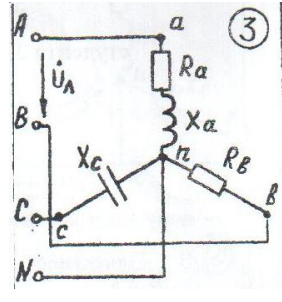


Рис.3.3

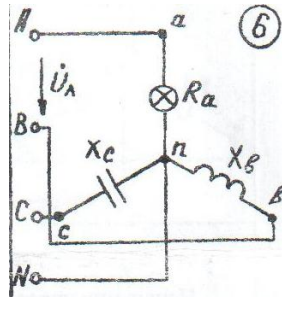
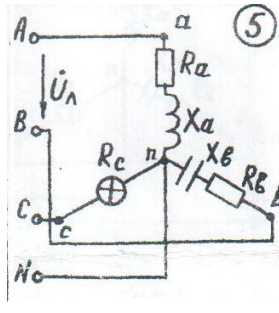
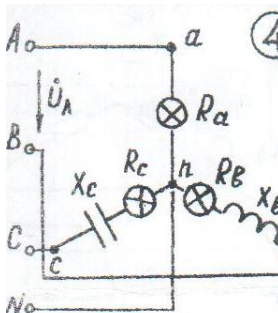


Рис.3.4

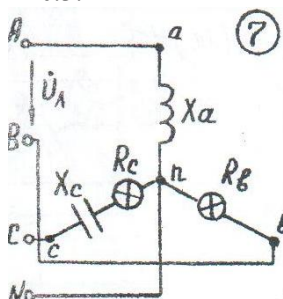


Рис.3.7

Рис.3.5

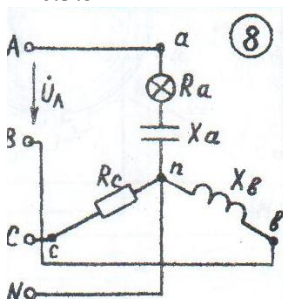


Рис.3.8

Рис.3.6

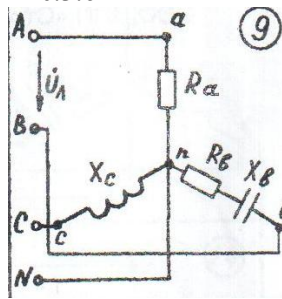


Рис.3.9

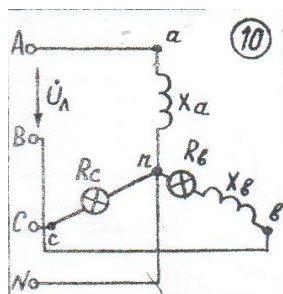


Рис.3.10

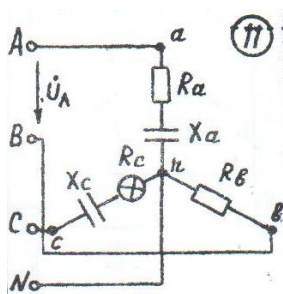


Рис.3.11

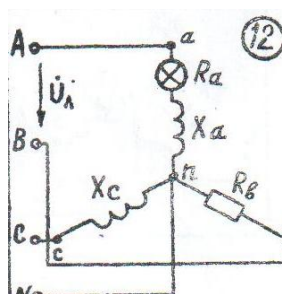


Рис.3.12

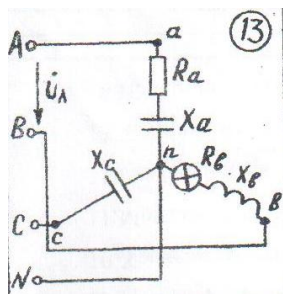


Рис.3.13

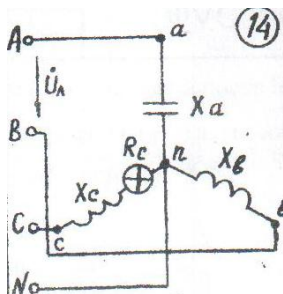


Рис.3.14

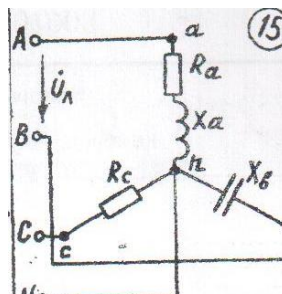


Рис.3.15

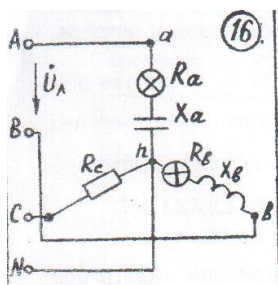


Рис.3.16

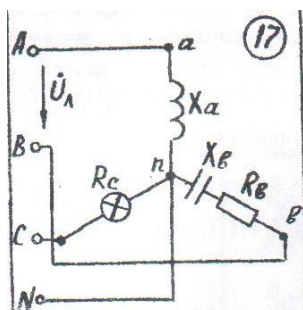


Рис.3.17

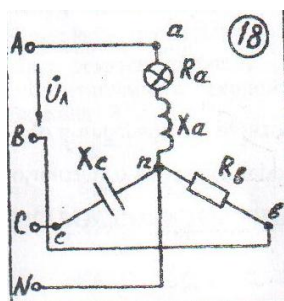


Рис.3.18

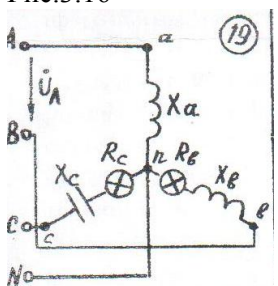


Рис.3.19

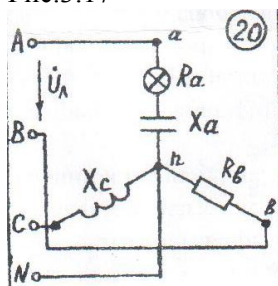


Рис.3.20

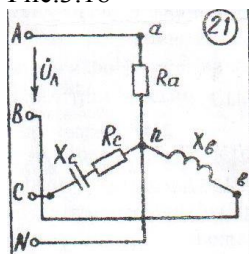


Рис.3.21

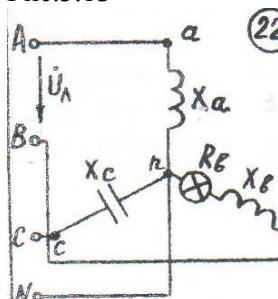


Рис.3.22

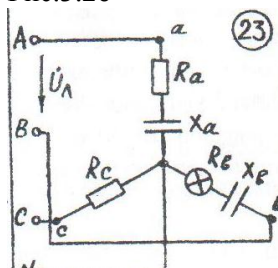


Рис.3.23

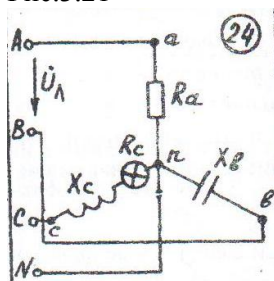


Рис.3.24

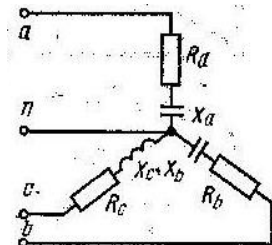


Рис.3.25

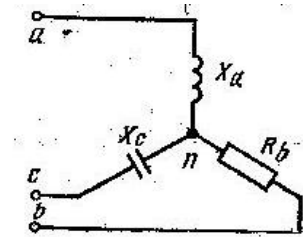


Рис.3.26

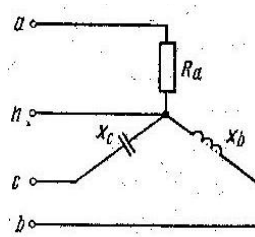


Рис.3.27

Таблица 3

Вариант	схема	U, В	Сопротивления фазных потребителей, Ом					
			R_a	R_b	R_c	X_a	X_b	X_c
1	3-1	660	16	-	8	11	20	6
2	3-2	380	6	-	10	8	22	-
3	3-3	660	8	38	-	6	-	19
4	3-4	220	5	3	6	-	4	8
5	3-5	380	6	8	10	8	6	-
6	3-6	220	22	-	-	-	11	22
7	3-7	380	-	20	8	11	-	8
8	3-8	220	8	-	17	8	10	-
9	3-9	660	38	14	-	-	14	19
10	3-10	380	-	10	20	22	11	-
11	3-11	220	12	10	6	12	-	8
12	3-12	380	6	20	-	8	-	10
13	3-13	220	8	12	-	8	12	15
14	3-14	660	-	-	6	20	15	8
15	3-15	380	20	-	38	20	19	-
16	3-16	660	8	9	22	12	11	-
17	3-17	380	-	6	12	10	8	-
18	3-18	660	14	11	-	14	-	22
19	3-19	220	-	3	8	6	4	6
20	3-20	380	6	22	-	8	-	11
21	3-21	220	19	-	15	-	38	10
22	3-22	380	-	6	-	22	8	20
23	3-23	220	3	6	10	4	8	-
24	3-24	660	20	-	14	-	11	14
25	3-25	380	8	6	10	10	22	10
26	3-26	220	-	18	12	-	-	22
27	3-27	380	6	-	-	8	-	38

Пример решения задания 3.

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

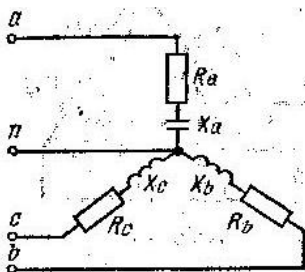


Рис.3-28.Схема замещения
трехфазной четырехпроводной
электрической цепи

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:

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

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

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

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

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

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

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

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

A

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

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

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

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

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

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

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

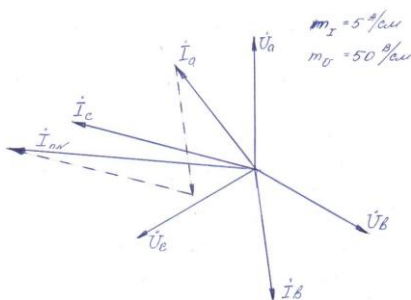
$$P_{\text{полн}} = P_a + P_b + P_c = 11705 \text{ Вт}$$

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

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

Методика построения заключается в следующем:

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



43

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. Ляпин В.Г. Теоретические основы электротехники. Варианты контрольной работы по линейным цепям. – 2-е изд., перераб. и доп. /Новосиб. гос. аграр. ун-т / В.Г. Ляпин, Д.С. Болотов. – Новосибирск: Изд-во НГАУ, 2013. – 8 с.

3. Ляпин В.Г. Электротехника и электроника: тетрадь лабораторных работ по электротехнике / Новосибир. гос. аграр. ун-т. Инженер. ин-т; сост.: В.Г. Ляпин, Д.С. Болотов, М.М. Федорова, И.П. Щеглов. – 5-е изд., перераб. и доп. – Новосибирск, 2013. – 28 с.

СОДЕРЖАНИЕ

Тема1: Расчет электрических цепей постоянного тока	5
1.1. Основные сведения	5
1.2. Задание 1	7
1.3. Пример решения задания 1	11
Тема 2. Расчет электрических цепей однофазного переменного тока	16
2.1. Основные сведения	16
2.2. Задание 2	19
2.3. Пример решения задания 2	24
Тема 3. Расчет электрических цепей трехфазного переменного тока	35
3.1. Основные сведения	35
3.2. Задание 3	37
3.3. Пример решения задания 3	40
Список рекомендованной литературы	44
Список использованной литературы	44
Содержание	45
ПРИЛОЖЕНИЕ	45

ПРИЛОЖЕНИЕ

Решение системы трех линейных уравнений с помощью определителей

Определение:

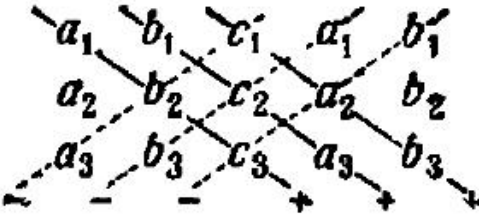
$$\begin{vmatrix} a_1 & b_1 & c_1 \\ a_2 & b_2 & c_2 \\ a_3 & b_3 & c_3 \end{vmatrix} = a_1 b_2 c_3 + a_2 b_3 c_1 + a_3 b_1 c_2 - a_2 b_1 c_3 - a_1 b_3 c_2 - a_3 b_2 c_1$$

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 «__» _____ 2020 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