

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ  
Учреждение образования  
«Витебский государственный технологический университет»

**Электротехника и основы промышленной электроники**

Методические указания по выполнению расчетно-графической работы для студентов специальностей 1-54 01 01-04 «Метрология, стандартизация и сертификация (легкая промышленность)», 1-50 01 02 «Конструирование и технология швейных изделий», 1-50 02 01 «Конструирование и технология изделий из кожи»

Витебск  
2017

УДК 7.01 (075.8)

Составитель:

Ю. В. Новиков

Рекомендовано к изданию редакционно-издательским советом УО «ВГТУ», протокол № 7 от 27.10.2017.

**Электротехника и основы промышленной электроники:** методические указания по выполнению расчетно-графической работы / сост. Ю. В. Новиков – Витебск : УО «ВГТУ», 2017. – 38 с.

Методические указания являются руководством по выполнению расчетно-графической работы по курсу «Электротехника и основы промышленной электроники», определяют порядок выполнения расчета студентом, общие требования, предъявляемые к выполнению расчетно-графической работы, освещают последовательность ее подготовки, требования к структуре, содержанию и оформлению как самой работы, так и научно-справочного аппарата и приложений.

УДК 7.01 (075.8)

© УО «ВГТУ», 2017

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение	4
Содержание курса.....	4
Общие методические указания к выполнению расчетно-графических работ.....	6
Задание 1 к расчетно-графической работе Расчет цепи синусоидального тока.....	7
Значения параметров пассивных элементов цепи и электродвижущей силы источника.....	7
Схемы электрических цепей синусоидального тока.....	9
Теоретические сведения к заданию 1 расчетно-графической работы .....	13
Пример расчета цепи синусоидального тока.....	16
Задание 2 к расчетно-графической работе.....	19
Задание 3 к расчетно-графической работе. Трехфазный переменный ток .....	21
Расчет трехфазной электрической цепи.....	29
Значения параметров пассивных элементов цепи.....	29
Пример решения задачи.....	33
Литература .....	37

## ВВЕДЕНИЕ

Курс «Электротехника и основы промышленной электроники» относится к числу общепрофессиональных дисциплин и базируется на теоретическом и практическом материале, излагаемом в курсах физики и высшей математики. Данный курс имеет существенное значение в общеинженерной подготовке для изложения последующих профилирующих дисциплин на современном научном уровне. Знание дисциплины даст возможность будущим специалистам свободно разбираться в устройстве и принципе действия разнообразной электротехнической аппаратуры, электрических машин и оборудования, грамотно использовать их на практике. Целью изучения дисциплины является формирование знаний у инженеров в области электротехники для эффективного выбора необходимых электротехнических и электроизмерительных устройств, умения их правильно эксплуатировать и составлять совместно с инженерами-электриками технические задания на разработку автоматизированных систем управления производственными процессами. В результате освоения курса «Электротехника и основы промышленной электроники» студент должен

**знать:** электротехнические законы; методы анализа электрических, магнитных и электронных цепей; принципы действия, конструкции, свойства, области применения и возможности основных электротехнических устройств и электроизмерительных приборов; проблемы энергосбережения при производстве, передаче, распределении и потреблении электроэнергии;

**уметь:** читать структурные и электрические схемы; производить измерения электрических и некоторых неэлектрических величин;

**приобрести навыки:** экспериментально определять параметры и характеристики типовых элементов и устройств; включать электротехнические приборы, аппараты и машины, управлять ими и контролировать их эффективную и безопасную работу.

### Содержание курса

#### ТЕМА 1. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЦЕПИ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Структура электрической цепи. Элементы электрических цепей и их характеристики. Основные соотношения в линейных цепях постоянного тока. Режимы работы электрической цепи. Методы расчета простых и сложных электрических цепей постоянного тока. Энергетический баланс в электрических цепях. Понятие о цепях с нелинейными элементами и их расчете.

## **ТЕМА 2. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЦЕПИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА**

Получение переменного синусоидального тока. Основные параметры и соотношения в цепях переменного синусоидального тока. Векторные диаграммы. Представление электрических величин в комплексной форме. Активный, индуктивный и емкостной элементы в цепи синусоидального тока. Методы расчета неразветвленной и разветвленной цепей переменного тока. Явления резонанса токов и напряжений. Простейшие электрические фильтры.

## **ТЕМА 3. ТРЕХФАЗНЫЕ ЦЕПИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА**

Основные понятия и схемы трехфазных цепей. Соотношения между токами и напряжениями в трехфазных цепях при соединении звездой и треугольником. Симметричный и несимметричный режимы работы трехфазной цепи. Мощность трехфазных цепей.

## **ТЕМА 4. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ**

Виды и методы измерений электрических величин. Принцип действия и устройство основных типов электроизмерительных приборов.

## **ТЕМА 5. ТРАНСФОРМАТОРЫ**

Назначение, устройство, принцип действия и области применения трансформаторов. Режимы работы.

## **ТЕМА 6. ПАССИВНЫЕ И АКТИВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ ЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ**

Резисторы. Конденсаторы. Катушки индуктивности. Основные параметры и характеристики. Диоды. Биполярные и полевые транзисторы. Тиристоры. Элементы оптоэлектроники.

## **ТЕМА 7. УСИЛИТЕЛИ И ФИЛЬТРЫ**

Усилители на биполярных и полевых транзисторах. Дифференциальные и операционные усилители.

## **ТЕМА 8. ИСТОЧНИКИ ПИТАНИЯ ЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ**

Выпрямители и сглаживающие фильтры. Стабилизаторы напряжения и тока.

## **Общие методические указания к выполнению расчетно-графических работ**

Рабочей программой курса предусмотрено выполнение двух расчетно-графических работ. Приступить к выполнению очередной работы следует после изучения необходимого учебного материала. При оформлении каждой задачи следует приводить исходную схему с принятыми буквенными обозначениями и числами заданных значений. Схемы и графики должны быть выполнены аккуратно с помощью чертежных инструментов и с использованием стандартных графических обозначений элементов и буквенных обозначений величин, на осях координат должны быть указаны откладываемые значения и единицы их измерения. Решения необходимо сопровождать краткими пояснениями. При использовании справочных материалов необходимо назвать источник, делая ссылку на перечень литературы, приведенный в конце работы. Перечень литературы должен быть оформлен в полном соответствии с требованиями библиографического описания документов.

Все расчеты производятся в абсолютных единицах с использованием системы СИ. Решения следует выполнять сначала в общем виде, затем подставлять числовые величины. При наличии значительных однотипных вычислений, приводя два-три расчета в качестве примера, результаты внести в таблицу. Результаты вычислений записывать с точностью до третьей значащей цифры. Арифметическая правильность вычислений и указание размерности является обязательным.

Графики и схемы необходимо приводить в работе по ходу расчета. Выводы формул и уравнений, имеющих в литературе, приводить в тексте работ не следует. Текстовая часть работы должна быть написана аккуратно, четким почерком (или отпечатана). Листы должны быть пронумерованы, слова не сокращать.

Если преподаватель предложит переписать какой-то раздел работы, то в этом случае исправления вносятся в текст с тем расчетом, чтобы исправленная работа представляла единое целое. Листы с большим числом исправлений следует переписать. Замечания преподавателя не разрешается ни стирать, ни заклеивать.

В методических указаниях предусмотрено 50 вариантов расчетно-графических работ. Номер варианта определяется преподавателем при выдаче задания. На последней странице расчетно-графической работы студент указывает дату и ставит свою подпись.

**Задание 1 к расчетно-графической работе. Расчет цепи синусоидального тока**

**Задание 1.** Для электрической цепи, схема которой изображена на рисунках 1 – 50, по заданным в таблице 1.1 параметрам пассивных элементов и э.д.с. источника определить действующие значения и начальные фазы токов во всех ветвях цепи и значение напряжений на отдельных участках. Рассчитать активные, реактивные и полные мощности отдельных участков и всей цепи. Составить уравнения баланса активных и реактивных мощностей. Указать показания приборов, изображенных на рисунке.

**Значения параметров пассивных элементов и э.д.с. источника**

Согласно заданному преподавателем варианту, студент из таблицы 1.1 для указанной схемы выписывает значения параметров пассивных элементов цепи, действующее значение э.д.с. и частоту источника. Изображения схем приведены на рисунках 1 – 50.

Таблица 1.1 – Значения параметров элементов цепи и э.д.с. источника

Номера		E, В	f, Гц	C <sub>1</sub> , мкФ	C <sub>2</sub> , мкФ	C <sub>3</sub> , мкФ	L <sub>1</sub> , мГн	L <sub>2</sub> , мГн	L <sub>3</sub> , мГн	R <sub>1</sub> , Ом	R <sub>2</sub> , Ом	R <sub>3</sub> , Ом
Вариант а	Рисунков											
1	1	150	50	637	300	---	---	---	15,9	2	3	4
2	2	100	50	---	---	100	15,9	9	15,9	8	3	4
3	3	120	50	637	---	---	---	15,9	15,9	8	3	4
4	4	200	50	---	300	---	15,9	---	15,9	8	3	4
5	5	220	50	637	---	100	---	47,7	---	8	-	4
6	6	100	50	100	300	---	15,9	---	115	10	-	100
7	7	120	50	---	---	100	15,9	---	115	---	4	100
8	8	200	50	---	159	---	---	---	115	10	4	100
9	9	220	50	---	318	---	15,9	---	---	10	4	100
10	10	50	50	---	637	---	15,9	6,37	115	5	---	8
11	11	100	50	637	---	100	---	---	115	---	10	8
12	12	120	50	---	300	100	31,8	---	---	5	---	8
13	13	200	50	---	---	100	31,8	---	---	5	10	8
14	14	220	50	637	---	200	---	15,9	---	5	10	8

Окончание таблицы 1

15	15	150	50	100	---	200	---	15,9	---	10	2	10
16	16	100	50	---	1600	200	31,8	---	---	---	8	10
17	17	120	50	100	---	200	---	15,9	---	10	8	10
18	18	200	50	637	---	200	---	31,8	---	---	8	10
19	19	220	50	---	1600	---	31,8	---	95	10	8	-
20	20	50	50	---	159	---	31,8	---	95	15	10	10
21	21	100	50	---	159	200	15,9	---	---	15	---	10
22	22	120	50	---	159	200	15,9	---	---	---	10	20
23	23	200	50	637	159	200	---	31,8	95	15	10	20
24	24	220	50	637	159	---	---	---	95	---	10	20
25	25	150	50	---	159	---	25	---	95	6	10	20
26	26	100	50	637	159	637	---	---	95	6	---	20
27	27	100	50	---	159	---	25	---	95	6	4	---
28	28	200	50	---	159	637	25	---	95	6	---	20
29	29	220	50	637	---	637	---	9	---	6	---	20
30	30	50	50	318	637	---	---	---	31,8	---	10	40
31	31	100	50	318	---	300	---	---	31,8	---	10	10
32	32	120	50	---	---	300	19,1	15,9	31,8	40	---	10
33	33	200	50	318	---	300	---	15,9	31,8	10	10	40
34	34	220	50	318	---	300	---	15,9	31,8	---	---	10
35	35	50	50	---	318	---	19,5	---	31,8	8	10	4
36	36	100	50	637	---	200	---	31,8	95	8	---	4
37	37	150	50	637	---	200	---	31,8	---	8	10	4
38	38	200	50	---	318	200	15,9	---	95	8	---	4
39	39	220	50	---	---	200	15,9	31,8	95	8	---	4
40	40	50	50	637	---	200	---	31,8	95	4	40	40
41	41	100	50	---	318	200	9,55	---	---	4	40	4
42	42	120	50	500	---	---	---	15,9	95	4	---	4
43	43	200	50	500	---	159	---	15,9	---	40	10	40
44	44	220	50	---	318	159	9,55	---	95	---	10	40
45	45	50	50	500	159	159	---	---	31,8	35	20	40
46	46	100	50	500	---	---	---	15,9	31,8	35	---	40
47	47	120	50	---	159	---	15,9	---	31,8	35	20	80
48	48	200	50	318	318	159	---	---	31,8	35	20	80
49	49	220	50	318	---	159	---	31,8	31,8	35	20	80
50	50	50	50	---	318	---	15,9	---	31,8	5	10	80



Схемы электрических цепей синусоидального тока

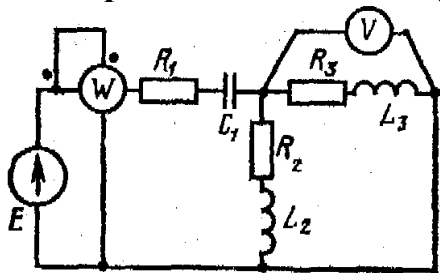


Рисунок 1

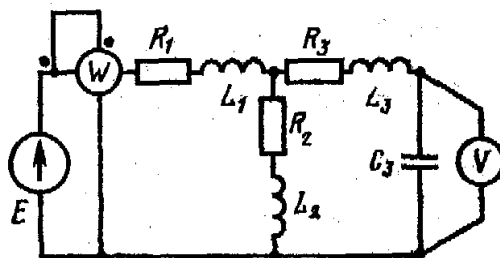


Рисунок 2

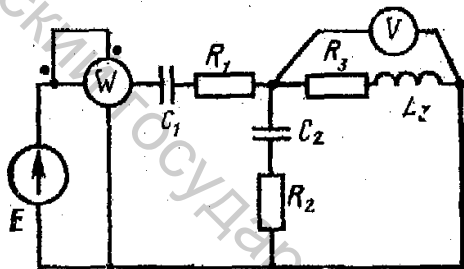


Рисунок 3

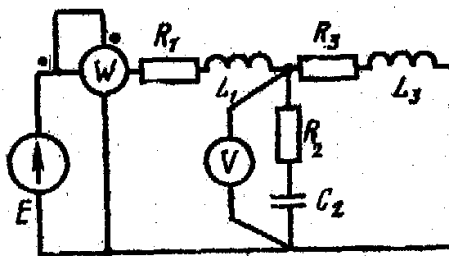


Рисунок 4

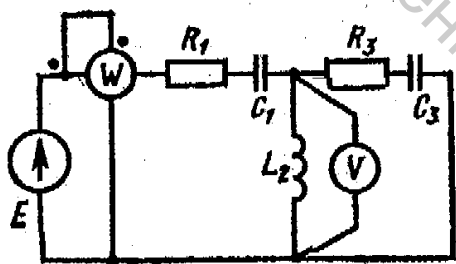


Рисунок 5

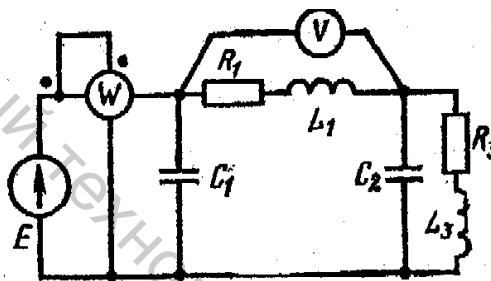


Рисунок 6

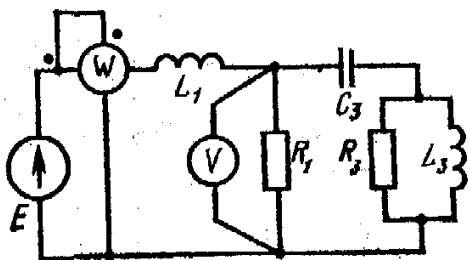


Рисунок 7

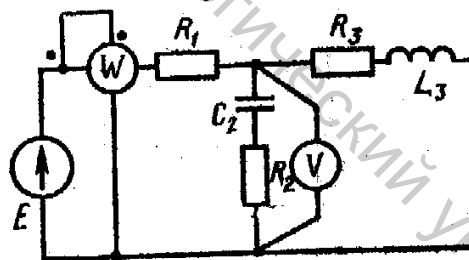


Рисунок 8

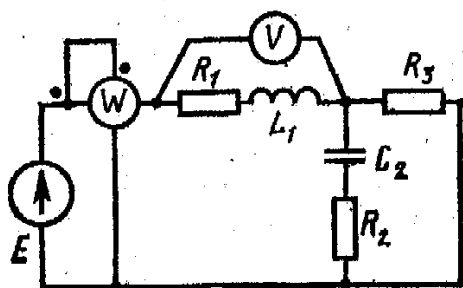


Рисунок 9

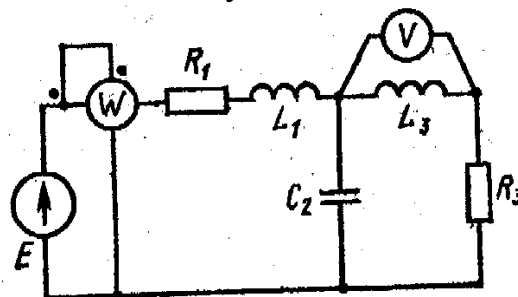


Рисунок 10

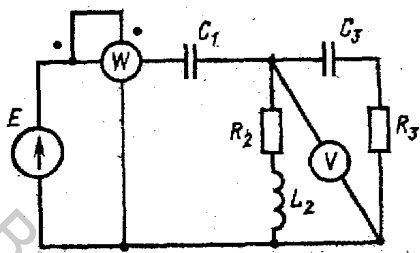


Рисунок 11

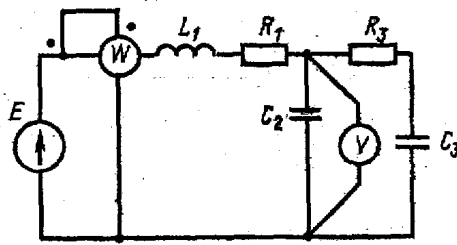


Рисунок 12

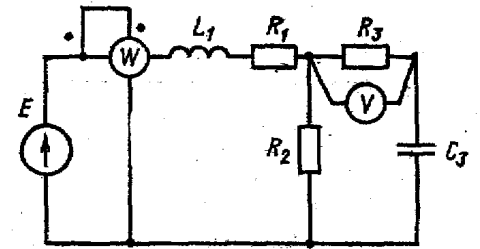


Рисунок 13

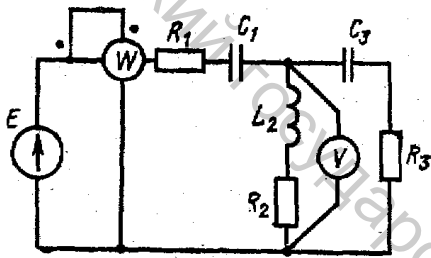


Рисунок 14

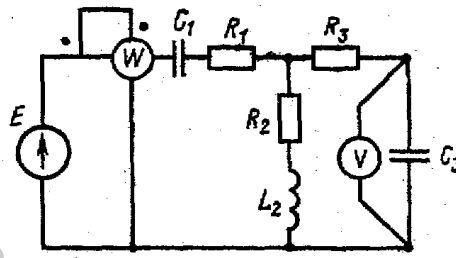


Рисунок 15

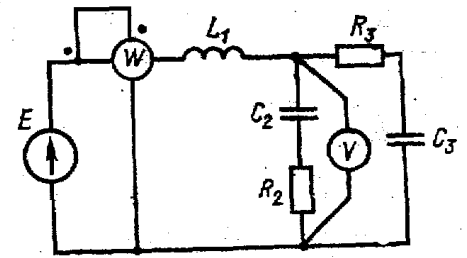


Рисунок 16

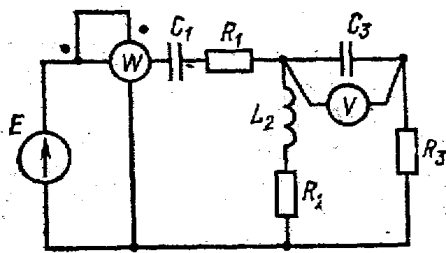


Рисунок 17

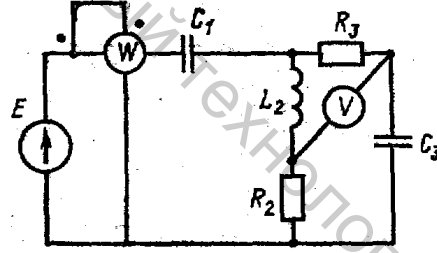


Рисунок 18

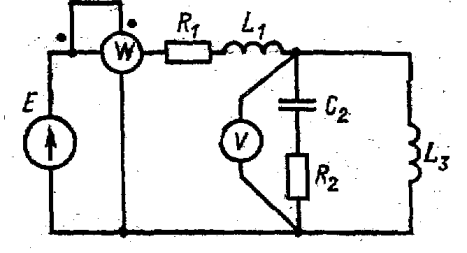


Рисунок 19

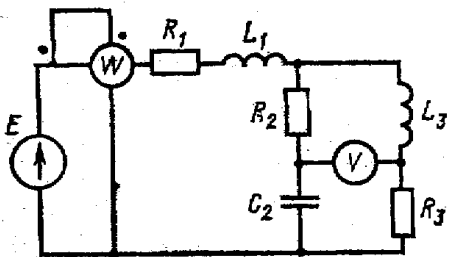


Рисунок 20

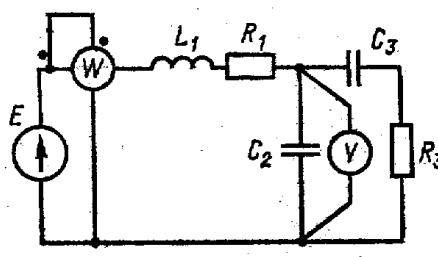


Рисунок 21

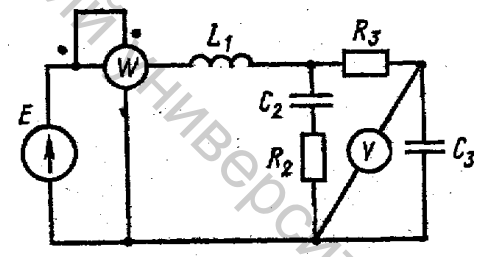


Рисунок 22

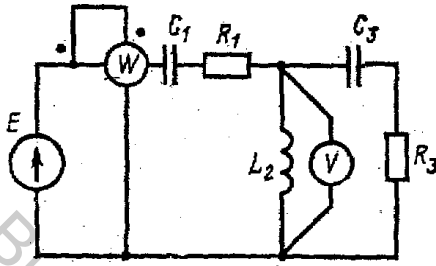


Рисунок 23

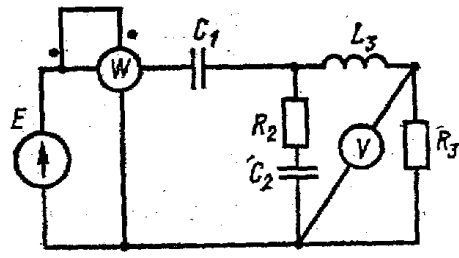


Рисунок 24

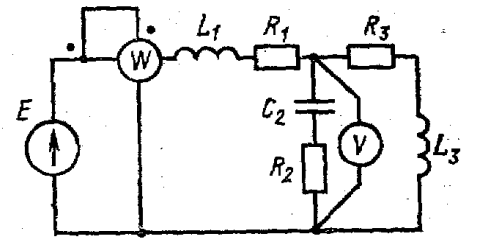


Рисунок 25

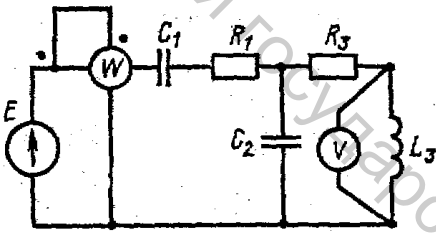


Рисунок 26

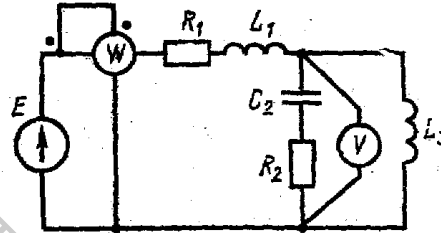


Рисунок 27

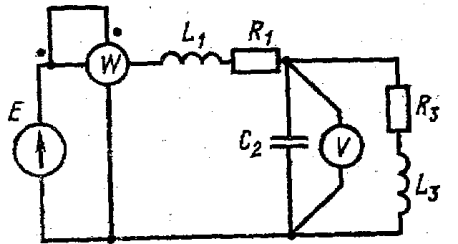


Рисунок 28

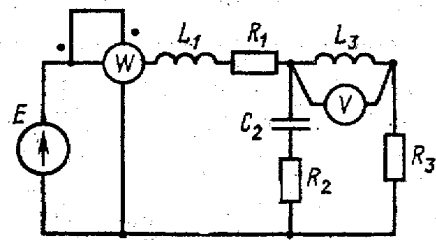


Рисунок 29

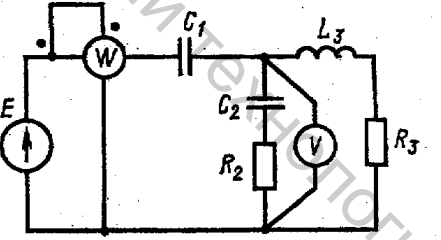


Рисунок 30

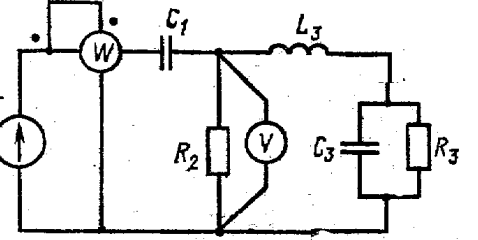


Рисунок 31

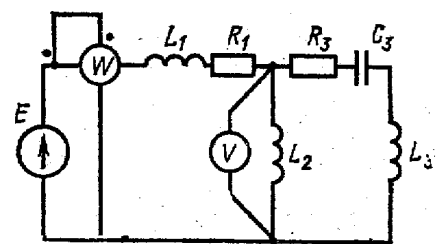


Рисунок 32

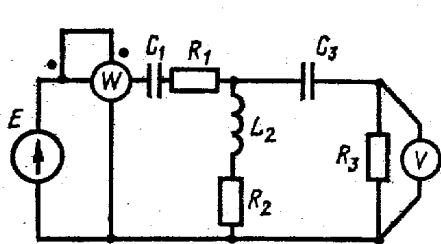


Рисунок 33

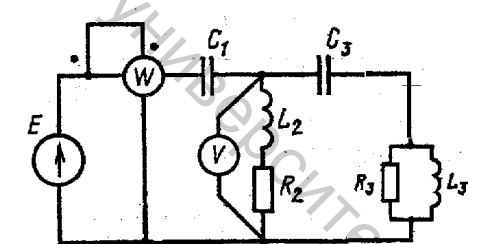


Рисунок 34

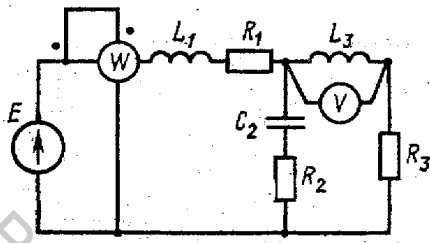


Рисунок 35

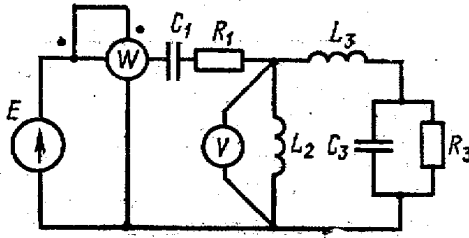


Рисунок 36

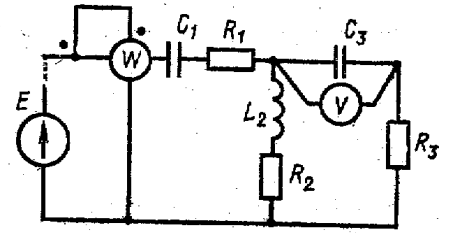


Рисунок 37

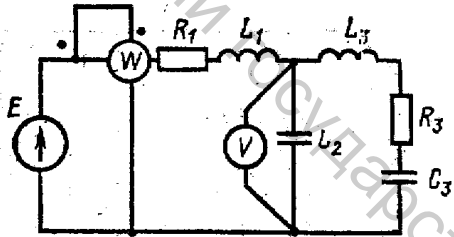


Рисунок 38

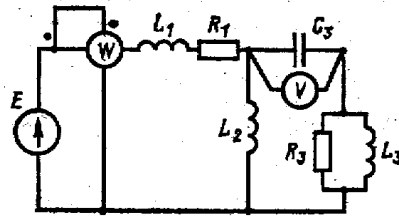


Рисунок 39

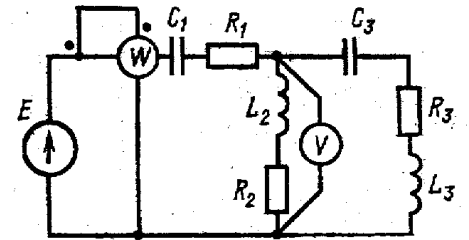


Рисунок 40

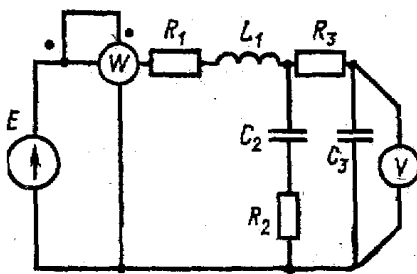


Рисунок 41

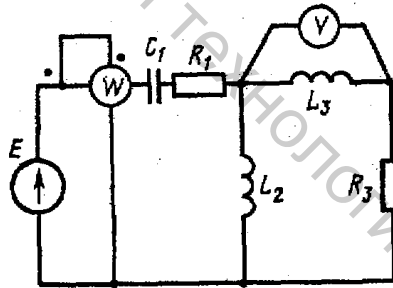


Рисунок 42

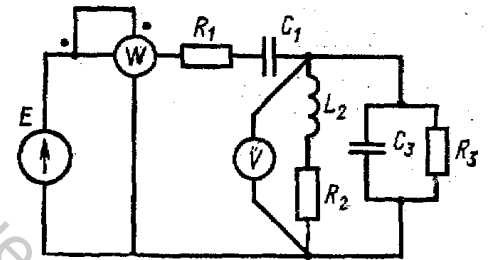


Рисунок 43

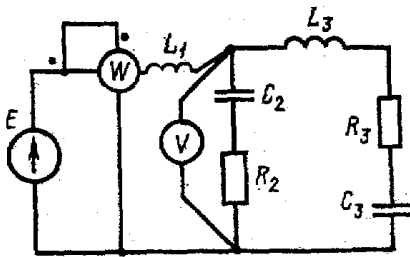


Рисунок 44

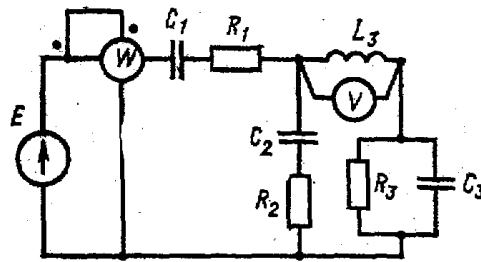


Рисунок 45

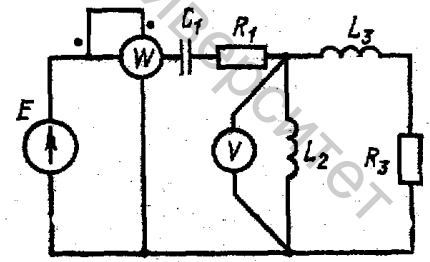


Рисунок 46

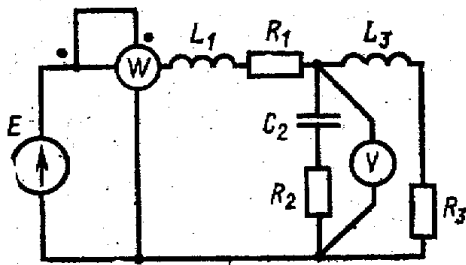


Рисунок 47

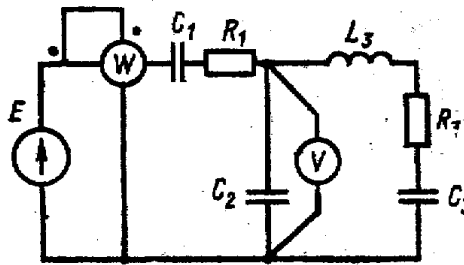


Рисунок 48

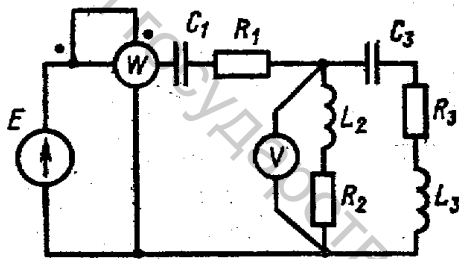


Рисунок 49

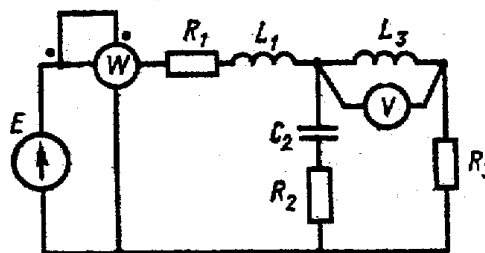


Рисунок 50

### Теоретические сведения к заданию 1 расчетно-графической работы

При выполнении данной расчетно-графической работы необходимо произвести расчет простой цепи синусоидального тока. Расчет таких цепей значительно сложнее расчета простых цепей постоянного тока, т. к. токи и напряжения изменяются во времени синусоидально. Поэтому при вычислениях приходится учитывать не только действующие значения, но и сдвиги по фазе между синусоидальными величинами.

Расчет цепи можно упростить и сделать его аналогичным расчету цепи постоянного тока, если воспользоваться символическим методом. Этот метод базируется на использовании комплексных чисел. Для этого вводятся понятия комплексных действующих значений тока, напряжения и э.д.с.:

$$I = Ie^{j\alpha_I}, U = Ue^{j\alpha_U}, E = Ee^{j\alpha_E}, \quad (1)$$

где  $I, U, E$  – комплексные действующие значения, или просто комплексы тока, напряжения и э.д.с.;  $I, U, E$  – действующие значения тока, напряжения и э.д.с.;  $\alpha_I, \alpha_U, \alpha_E$  – начальные фазы тока, напряжения и э.д.с.;  $j = \sqrt{-1}$  – называется в теории комплексных чисел мнимой единицей.

Если, например, ток в цепи меняется по закону

$$i = 14,2 \sin(314t + 60^\circ), \quad (2)$$

то комплекс этого тока будет равен

$$I = 10e^{j60^\circ} \text{ A}, \quad (3)$$

т. к.  $I = \frac{\text{Im}}{\sqrt{2}} = \frac{14,2}{\sqrt{2}} = 10 \text{ A}.$

В комплексной форме можно выразить сопротивления и проводимости. При этом комплексное сопротивление цепи обозначается  $\underline{Z}$ , а комплексная проводимость –  $\underline{Y}$ . При обозначении комплексных величин принято ставить точки только над теми комплексами, которые изображают синусоидально изменяющиеся величины. Поэтому для комплексов сопротивления и проводимости вместо точки над буквой ставят черту снизу.

Комплексное сопротивление определяют по выражениям

$$\underline{Z} = \frac{\underline{U}}{\underline{I}} = \frac{U}{I} e^{j\varphi} = Ze^{j\varphi} = Z \cos \varphi + jZ \sin \varphi = R + jX, \quad (4)$$

где  $Z$  – полное сопротивление, равно  $Z = \sqrt{R^2 + X^2} = \frac{U}{I}$ ;  $R$  – активное сопротивление;  $X$  – реактивное сопротивление;  $\varphi = \alpha_U - \alpha_I$  – угол сдвига по фазе между напряжением и током.

В качестве примера выразим сопротивление цепи, изображенной на рисунке 1.51, в комплексной форме

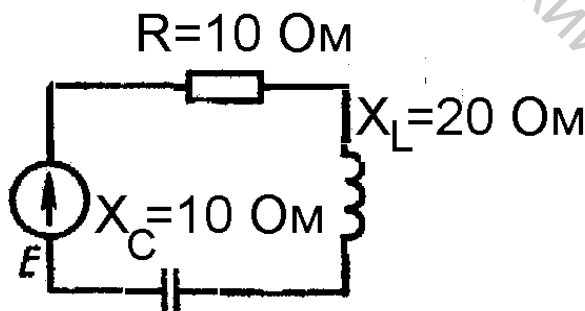


Рисунок 51 – Схема цепи

$$\underline{Z} = R + j \cdot x = R + j \cdot (X_L - X_C) = 10 + j \cdot 10 \text{ Ом},$$

$$\underline{Z} = Ze^{j\varphi} = \sqrt{R^2 + X^2} \cdot e^{j \arctg \frac{X}{R}} = 10\sqrt{2} \cdot e^{j45^\circ} \text{ Ом.}$$

Выражение  $\underline{I} = \frac{\underline{U}}{\underline{Z}}$  называют законом Ома в комплексной форме. В

комплексной форме можно выразить и законы Кирхгофа. Первый закон Кирхгофа записывают в виде:  $\sum \underline{I} = 0$ , т. е. алгебраическая сумма комплексных токов, сходящихся в узле электрической цепи, равна нулю. Вторым закон Кирхгофа в применении к контуру цепи в комплексной форме записывается в виде:  $\sum \underline{E} = \sum \underline{I} \underline{Z}$ , т.е. алгебраическая сумма действующих в контуре комплексных э.д.с. равна алгебраической сумме комплексных падений напряжений на пассивных элементах.

Так как выражения законов Ома и Кирхгофа в комплексной форме для цепи синусоидального тока полностью совпадают с выражениями этих законов для цепи постоянного тока, то все формулы и соотношения, которые использовались в цепях постоянного тока, можно применить для цепей синусоидального тока при расчете их в комплексной форме.

Комплексное значение мощности определяется по формуле

$$\underline{S} = \underline{U} \underline{I}^*, \quad (5)$$

где  $\underline{I}^*$  – комплекс тока, отмеченный звездочкой, является сопряженным комплексом тока  $\underline{I}$ , т. е. если  $\underline{I} = Ie^{j\alpha_i}$ , то  $\underline{I}^* = Ie^{-j\alpha_i}$ .

Тогда

$$\underline{S} = Ue^{j\alpha_u} \cdot Ie^{-j\alpha_i} = UIe^{j\varphi} = Se^{j\varphi}, \quad (6)$$

где  $\underline{S}$  – полная мощность цепи,  $B \cdot A$ .

Переходя к алгебраической форме записи комплексного числа, получаем

$$\underline{S} = S \cos \varphi + jS \sin \varphi = P + jQ, \quad (7)$$

где  $P$  – активная мощность, Вт;  $Q$  – реактивная мощность, вар.

То есть рассчитав комплексную мощность, мы определяем и значения полной, активной и реактивной мощностей.

Пример. Комплекс тока в цепи  $\underline{I} = 10e^{j30^\circ}$ , комплекс напряжения  $\underline{U} = 120e^{j60^\circ}$ . Определить комплексное значение мощности по формуле (5).

$$S = 120e^{j60} \cdot 10^{-j30} = 1200e^{j30} = 1200 \cos 30^\circ + j \cdot 1200 \sin 30^\circ = 1032 + j \cdot 600 \text{ В} \cdot \text{А}.$$

Отсюда следует, что  $S = 1200 \text{ В} \cdot \text{А}$ ,  $P = 1032 \text{ Вт}$ ,  $Q = 600 \text{ вар}$ .

Таким образом, используя символический метод, расчет простой цепи синусоидального тока можно выполнить аналогично расчету цепи постоянного тока, т. е. методом свертывания. Отличие состоит лишь в том, что расчет осуществляется в комплексной форме. Рассчитав комплексные значения, легко определить действующие значения, а при необходимости – и начальные фазы токов, напряжений, а также все необходимые мощности.

### Пример расчета цепи синусоидального тока

Для электрической цепи, схема которой изображена на рисунке 1.52, по заданным параметрам пассивных элементов, э.д.с. и частоте источника определить действующие значения и начальные фазы токов во всех ветвях цепи и напряжений на отдельных участках.

Рассчитать активные, реактивные и полные мощности отдельных участков и всей цепи. Составить уравнение баланса активных и реактивных мощностей. Указать показания приборов, изображенных на рисунке.

**Дано:**  $E = 100 \text{ В}$ ,  $f = 50 \text{ Гц}$ ,  $C_2 = 318 \text{ мкф}$ ,  $L_3 = 15,9 \text{ мГн}$ ,  $R_1 = 2 \text{ Ом}$ ,  $R_2 = 10 \text{ Ом}$ ,  $R_3 = 4 \text{ Ом}$ .

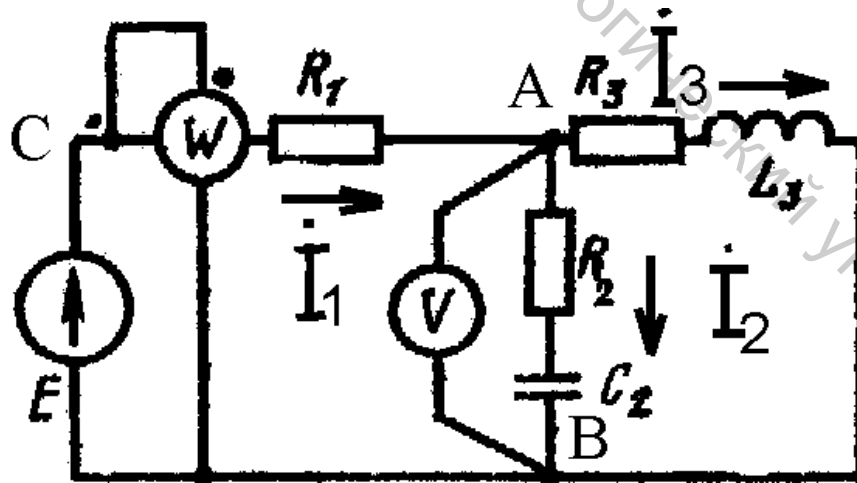


Рисунок 52 – Схема цепи синусоидального тока



**Решение:**

1. Указать направления токов в ветвях.
2. Определить сопротивления реактивных элементов.

Индуктивности.

$$X_{L3} = \omega \cdot L_3 = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L_3 = 2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 15,9 \cdot 10^{-3} = 5 \text{ Ом},$$

Емкости.

$$X_{C2} = \frac{1}{\omega \cdot C_2} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C_2} = \frac{1}{2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 318 \cdot 10^{-6}} = 10 \text{ Ом}.$$

3. Выражают ЭДС источника и сопротивления ветвей в комплексной форме. Принимаем для э.д.с. источника начальную фазу, равной нулю.

$$\dot{E} = E \cdot e^{j\alpha t} = 100 \cdot e^{j0^\circ} = 100 \text{ В}.$$

Комплексные сопротивления для ветвей цепи.

$$\underline{Z}_1 = R_1 + j \cdot 0 = 2 = 2 \cdot e^{j0^\circ} \text{ Ом},$$

$$\underline{Z}_2 = R_2 - j \cdot x_{C2} = 10 - j \cdot 10 = \sqrt{10^2 + 10^2} \cdot e^{-j45^\circ} = 10\sqrt{2} \cdot e^{-j45^\circ} = 14 \cdot e^{-j45^\circ} \text{ Ом},$$

$$\underline{Z}_3 = R_3 + j \cdot x_{L3} = 4 + j \cdot 5 = \sqrt{4^2 + 5^2} \cdot e^{j51^\circ} = \sqrt{41} \cdot e^{j51^\circ} \text{ Ом}.$$

4. Рассчитывают эквивалентное комплексное сопротивление цепи: Параллельных ветвей.

$$\underline{Z}_{23} = \frac{\underline{Z}_2 + \underline{Z}_3}{\underline{Z}_2 + \underline{Z}_3} = \frac{10\sqrt{2} \cdot e^{-j45^\circ} \cdot \sqrt{41} \cdot e^{j51^\circ}}{10 - j \cdot 10 + 4 + j5} = \frac{10\sqrt{82} \cdot e^{j51^\circ - j45^\circ}}{14 - j5} = \frac{10\sqrt{82} \cdot e^{j6^\circ}}{\sqrt{14^2 + 5^2} \cdot e^{-j20^\circ}} =$$

$$\frac{10\sqrt{82} \cdot e^{j6^\circ}}{\sqrt{221} \cdot e^{-j20^\circ}} = 10 \sqrt{\frac{82}{221}} \cdot e^{j26^\circ} = 6,09 \cdot \cos 26^\circ + j6,09 \cdot \sin 26^\circ = 5,48 + j \cdot 2,6814 \text{ Ом},$$

Последовательно соединенных пассивных элементов.

$$\underline{Z}_{\text{ЭКВ}} = \underline{Z}_1 + \underline{Z}_{23} = 2 + 5,48 + j \cdot 2,68 = 7,48 + j \cdot 2,68 = \sqrt{7,48^2 + 2,68^2} \cdot e^{j19,7^\circ} = 7,95 \cdot e^{j19,7^\circ}$$

Ом.

5. Определяют комплекс тока в ветви, содержащей источник, а затем комплексы напряжений и токов других ветвей:

$$\dot{I}_1 = \frac{\dot{E}}{\underline{Z}_{\text{ЭКВ}}} = \frac{100}{7,95 \cdot e^{j19,7^\circ}} = 12,6 \cdot e^{-j19,7^\circ} \text{ А.}$$

Комплекс напряжения между узлами А и В.

$$\dot{U}_{AB} = \dot{I}_1 \cdot \underline{Z}_{23} = 12,6 \cdot e^{-j19,7^\circ} \cdot 6,09 \cdot e^{j26^\circ} = 76,9 \cdot e^{j6,3^\circ} \text{ В.}$$

Определяют комплекс тока в ветвях.

$$\dot{I}_2 = \frac{\dot{U}_{AB}}{\underline{Z}_2} = \frac{76,9 \cdot e^{j6,3^\circ}}{14 \cdot e^{-j45^\circ}} = 5,5 \cdot e^{j51,3^\circ} \text{ А,}$$

$$\dot{I}_3 = \frac{\dot{U}_{AB}}{\underline{Z}_3} = \frac{76,9 \cdot e^{j6,3^\circ}}{6,4 \cdot e^{j51^\circ}} = 12 \cdot e^{-j44,7^\circ} \text{ А.}$$

Комплекс напряжения между узлами А и С.

$$\dot{U}_{CA} = \dot{I}_1 \cdot \underline{Z}_1 = 12,6 \cdot e^{-j19,7^\circ} \cdot 2 \cdot e^{j0^\circ} = 25,2 \cdot e^{-j19,7^\circ} \text{ В.}$$

6. Зная комплексные значения токов и напряжений, определяют их действующие значения и начальные фазы:

$$I_1 = 12,6 \text{ А, } \alpha_{I_1} = 19,7^\circ,$$

$$I_2 = 5,5 \text{ А, } \alpha_{I_2} = 51,3^\circ,$$

$$I_3 = 12 \text{ А, } \alpha_{I_3} = -44,7^\circ,$$

$$U_{AB} = 76,9 \text{ В, } \alpha_{U_{AB}} = 6,3^\circ,$$

$$U_{CA} = 25,2 \text{ В, } \alpha_{U_{AC}} = -19,7^\circ.$$

7. Рассчитывают мощности отдельных участков и всей цепи:

$$\underline{S}_1 = \dot{U}_{CA} \cdot \dot{I}_1^* = 25,2 \cdot e^{-j19,7^\circ} \cdot 12,6 \cdot e^{j19,7^\circ} = 318 \cdot e^{j0^\circ} = 318 \text{ В} \cdot \text{А,}$$

$$\underline{P}_1 = 318 \text{ Вт}, Q_1 = 0, S_1 = 318 \text{ В} \cdot \text{А} ,$$

$$\underline{S}_2 = \dot{U}_{AB} \cdot I_2^* = 76,9 \cdot e^{j6,3^\circ} \cdot 5,5 \cdot e^{-j51,3^\circ} = 423 \cdot e^{-j45^\circ} = 423 \cdot \cos 45^\circ - j \cdot 423 \cdot \sin 45^\circ = 299 - j \cdot 299 \text{ В} \cdot \text{А} ,$$

$$P_2 = 299 \text{ Вт}, Q_2 = -299 \text{ вар}, S_2 = 423 \text{ В} \cdot \text{А} ,$$

$$\underline{S}_3 = \dot{U}_{AB} \cdot I_3^* = 76,9 \cdot e^{j6,3^\circ} \cdot 12,6 \cdot e^{j44,7^\circ} = 923 \cdot e^{j51^\circ} = 923 \cdot \cos 51^\circ + j \cdot 923 \cdot \sin 51^\circ = 581 + j \cdot 717 \text{ В} \cdot \text{А} ,$$

$$P_3 = 581 \text{ Вт}, Q_3 = 717 \text{ вар}, S_3 = 923 \text{ В} \cdot \text{А} ,$$

$$\underline{S} = \dot{E} \cdot I_1^* = 100 \cdot 12,6 \cdot e^{j19,7^\circ} = 1260 \cdot e^{j19,7^\circ} = 1260 \cdot \cos 19,7^\circ + j \cdot 1260 \cdot \sin 19,7^\circ = 1198 + j \cdot 418 \text{ В} \cdot \text{А} ,$$

$$P = 1198 \text{ Вт}, Q = 418 \text{ вар}, S = 1260 \text{ В} \cdot \text{А} .$$

8. Составляют уравнения баланса активных и реактивных мощностей цепи. Из закона сохранения энергии следует, что должны выполняться равенства:

$$P = P_1 + P_2 + P_3 ,$$

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 ,$$

$$1198 = 318 + 299 + 581 = 1198 \text{ Вт},$$

$$418 = 0 - 299 + 717 = 418 \text{ вар}.$$

Баланс активных мощностей и баланс реактивных мощностей соблюдается. Показания ваттметра 1198 Вт. Вольтметр измеряет действующее значение напряжения на участке АВ.  $U_{AB} = 76,9 \text{ В}$ .

## Задание 2 к расчетно-графической работе

**Задание.** По варианту выбрать тему. Для заданной темы выполнить описание технологического оборудования или приборов, представить схемы с пояснениями, описать методы его использования и применения, указать схемы подключения.

1 Применение постоянного тока в измерительных приборах

- 2 Применение мостовой измерительной схемы
- 3 Применение автоматического измерительного моста
- 4 Амперметры
- 5 Вольтметры
- 6 Ваттметры
- 7 Частотометры
- 8 Фазоопределитель
- 9 Тахометр
- 10 Применение мостовой измерительной схемы на переменном токе
- 11 Применение переменного напряжения в измерительных приборах
- 12 Мультиметр
- 13 Осциллограф
- 14 Измерительные трансформаторы тока
- 15 Измерительные трансформаторы напряжения
- 16 Измерение тока в трехфазных цепях
- 17 Измерение напряжения в трехфазных цепях
- 18 Измерение мощности в трехфазных цепях
- 19 Применение выпрямителей в измерительных приборах
- 20 Омметры
- 21 Применение диодов в измерительных приборах
- 22 Применение транзистров в измерительных приборах
- 23 Применение тиристов в измерительных приборах
- 24 Применение счетчиков импульсов в измерительных приборах
- 25 Применение микросхем в измерительных приборах
- 26 Применение полупроводниковых материалов в датчиках
- 27 Применение логических элементов в измерительных приборах
- 28 Применение трансформаторов в измерительных приборах
- 29 Применение катушек индуктивности в измерительных приборах
- 30 Применение дешифраторов в измерительных приборах

### Задание 3 к расчетно-графической работе. Трехфазный переменный ток

Объединение в одной линии электропередачи нескольких цепей переменного тока с независимыми источниками электроэнергии называется многофазной системой. Наибольшее распространение получила трехфазная система, которая была изобретена и разработана во всех деталях, включая генератор трехфазного переменного тока, трехфазный трансформатор и асинхронный двигатель, выдающимся русским инженером М. О. Доливо-Добровольским в 1889—1891 гг.

Трехфазной системой переменного тока называется совокупность трех однофазных переменных токов одинаковой частоты и амплитуды, сдвинутых друг относительно друга по фазе на  $1/3$  периода ( $120^\circ$ ).

Трехфазный генератор состоит из трех одинаковых изолированных друг от друга обмоток, расположенных на статоре и разнесенных в пространстве на  $120^\circ$ . В центре статора вращается электромагнит (рис. 53).

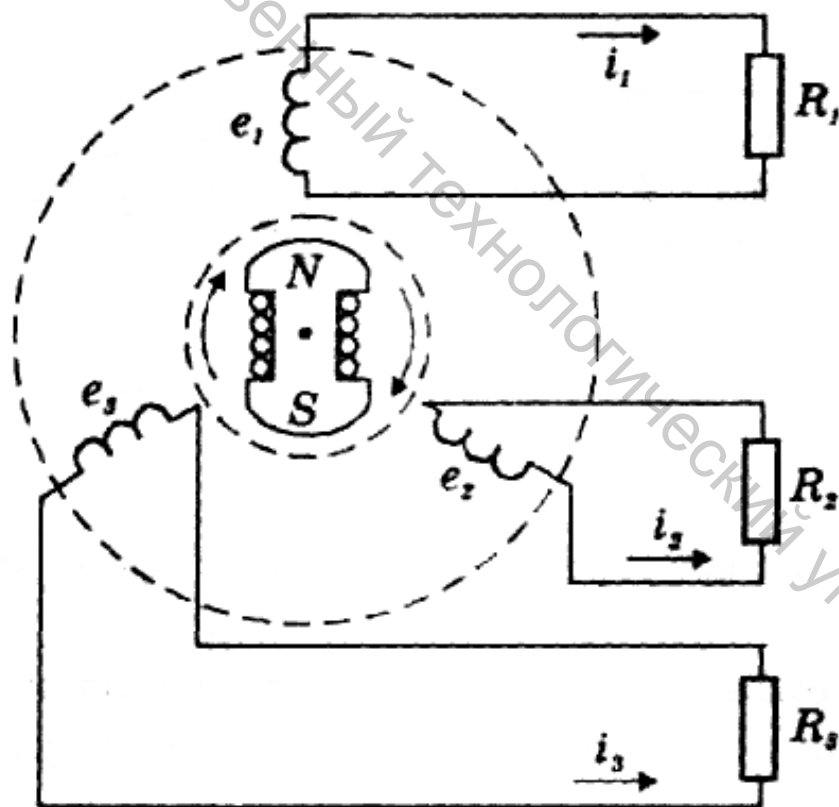


Рисунок 53

При этом форма магнита такова, что магнитный поток, пронизывающий каждую катушку, изменяется по косинусоидальному закону. Тогда по закону электромагнитной индукции в катушках будут индуцироваться э.д.с. равной амплитуды и частоты, отличающиеся друг от друга по фазе на  $120^\circ$ :

$$e_A = E_0 \sin \omega \cdot t;$$

$$e_B = E_0 \sin(\omega \cdot t - 120^\circ);$$

$$e_C = E_0 \sin(\omega \cdot t - 240^\circ).$$

(8)

Эти три э.д.с. можно изобразить на временной (рис. 54 а) и векторной (рис. 54 б) диаграммах.

Если все концы обмоток генератора соединить в одной точке  $O$ , а к их началам присоединить провода, идущие к приемникам электрической энергии (у которых концы также соединены в общей точке  $O'$ ), то мы получим соединение звездой (рис. 55).

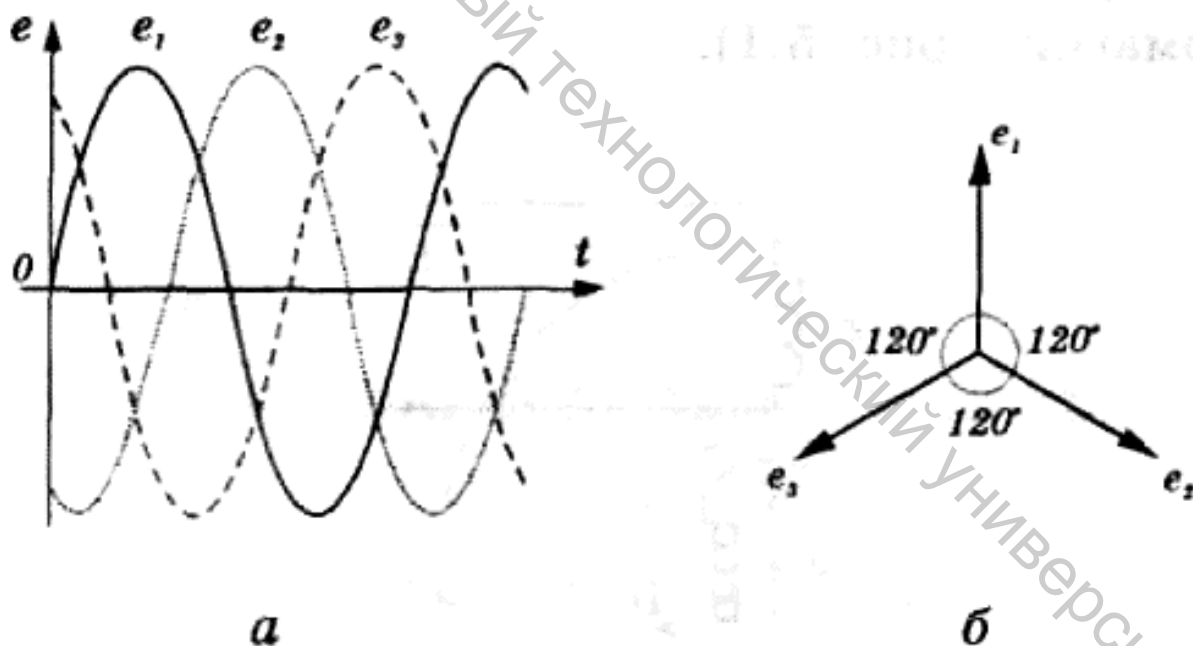


Рисунок 54

Видно, что контуры, по которым замыкаются фазные токи, при таком соединении не изменятся по сравнению с рисунком 53. Следовательно, по общему обратному проводу будет протекать ток, равный сумме токов трех фаз:

$$I_0 = I_A + I_B + I_C. \quad (9)$$

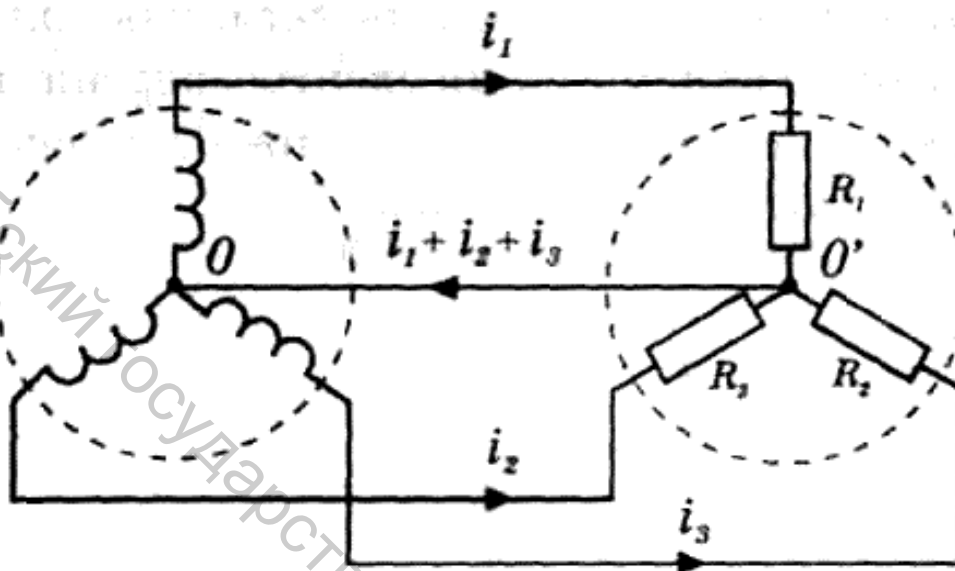


Рисунок 55

Если все три фазы имеют одинаковые нагрузки, то фазные токи будут равны по модулю, отличаясь друг от друга по фазе на  $120^\circ$ :

$$I_A = I_0 \sin \omega \cdot t;$$

$$I_B = I_0 \sin(\omega \cdot t - 120^\circ);$$

$$I_C = I_0 \sin(\omega \cdot t - 240^\circ).$$

(10)

Для того чтобы найти значение тока в проводе  $OO'$ , нужно сложить токи (10). Это можно сделать с помощью векторной диаграммы (рис. 56). При симметричной нагрузке ток в общем проводе равен нулю, поэтому провод  $OO'$  называется нулевым. Точка соединения концов обмоток генератора или концов нагрузок называется нулевой. Провода, соединяющие начала обмоток генератора с приемниками электроэнергии, называются линейными. Система трехфазного тока с нулевым проводом называется четырехпроводной.

В цепях трехфазного тока вне зависимости от способа соединения различают два типа напряжений — линейные  $U_L$  и фазные  $U_\Phi$  — и два типа токов — линейные  $I_L$  и фазные  $I_\Phi$ . Напряжение между двумя линейными проводами называется линейным, а между линейным и нулевым проводом — фазным. Токи,

протекающие в линейных проводах, называются линейными, а в нагрузках фаз — фазными.

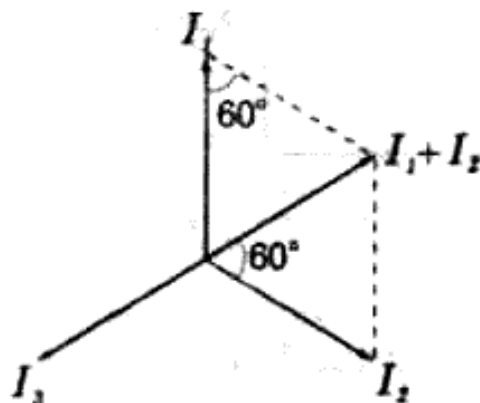


Рисунок 56

Поскольку в нулевом проводе ток равен нулю, то этот провод можно совсем убрать, оставив только три линейных провода. Однако это не всегда возможно. В случае несимметричной нагрузки отсутствие нулевого провода приведет к перераспределению фазных напряжений, в результате чего некоторые из них станут выше номинального (что недопустимо), а некоторые — ниже.

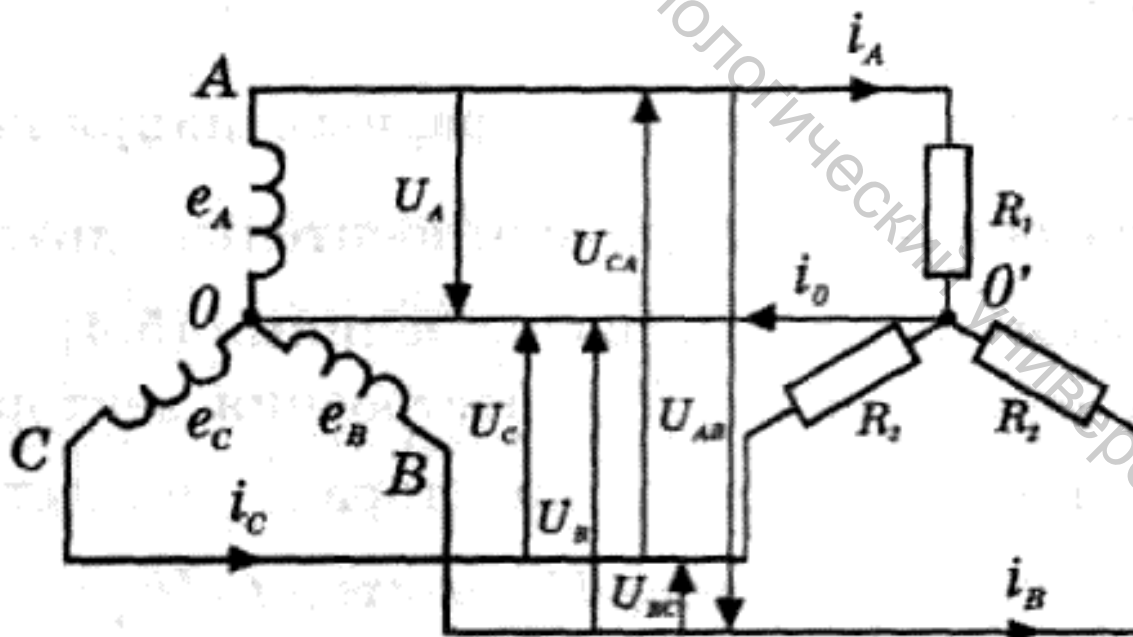


Рисунок 57



Если же при несимметричной нагрузке включить нулевой провод, то все фазные напряжения будут равны номинальному, а по нулевому проводу будет протекать некоторый ток. В цепях с симметричными нагрузками нулевой провод не нужен. Однако наличие нулевого провода обеспечивает равенство фазных напряжений при несимметричной нагрузке.

В дальнейшем для обозначения линейных напряжений будем пользоваться двойными индексами, а фазных — одинарными (рис. 57).

При соединении звездой линейный ток совпадает с фазным. Как видно из рисунка 57, линейные напряжения при соединении звездой являются векторными разностями соответствующих фазных напряжений:

$$\begin{aligned}\vec{U}_{AB} &= \vec{U}_A - \vec{U}_B; \\ \vec{U}_{BC} &= \vec{U}_B - \vec{U}_C; \\ \vec{U}_{CA} &= \vec{U}_C - \vec{U}_A.\end{aligned}\tag{11}$$

### Соединение треугольником

Если обмотки генератора трехфазного тока соединить так, что конец первой обмотки соединяется с началом второй, конец второй с началом третьей, конец третьей с началом первой, а к общим точкам подключить линейные провода, то получим соединение треугольником (рис. 58).

Короткого замыкания в обмотках генератора не произойдет, так как сумма мгновенных значений э.д.с. в них равна нулю:

$$\vec{e}_A + \vec{e}_B + \vec{e}_C = 0,\tag{12}$$

На рисунке 58 три приемника тока включены треугольником. В отличие от соединения звездой, где в большинстве случаев применяется четырехпроводная система.

При соединении треугольником существуют только линейные напряжения ( $U_{AB}, U_{BC}, U_{CA}$ ), поскольку нулевой провод отсутствует, но появляются фазные ( $I_{AB}, I_{BC}, I_{CA}$ ) линейные ( $I_A, I_B, I_C$ ) токи. Соотношения между линейными и фазными токами могут быть получены, если для каждой узловой точки потребителя применить первое правило Кирхгофа.

Любой из линейных токов равен геометрической разности двух фазных токов. Кроме того, сложение этих равенств показывает, что геометрическая сумма линейных токов равна нулю:

$$I_A + I_B + I_C = 0. \quad (13)$$

Приемники, включаемые в трехфазную цепь, могут быть как однофазными, так и трехфазными.

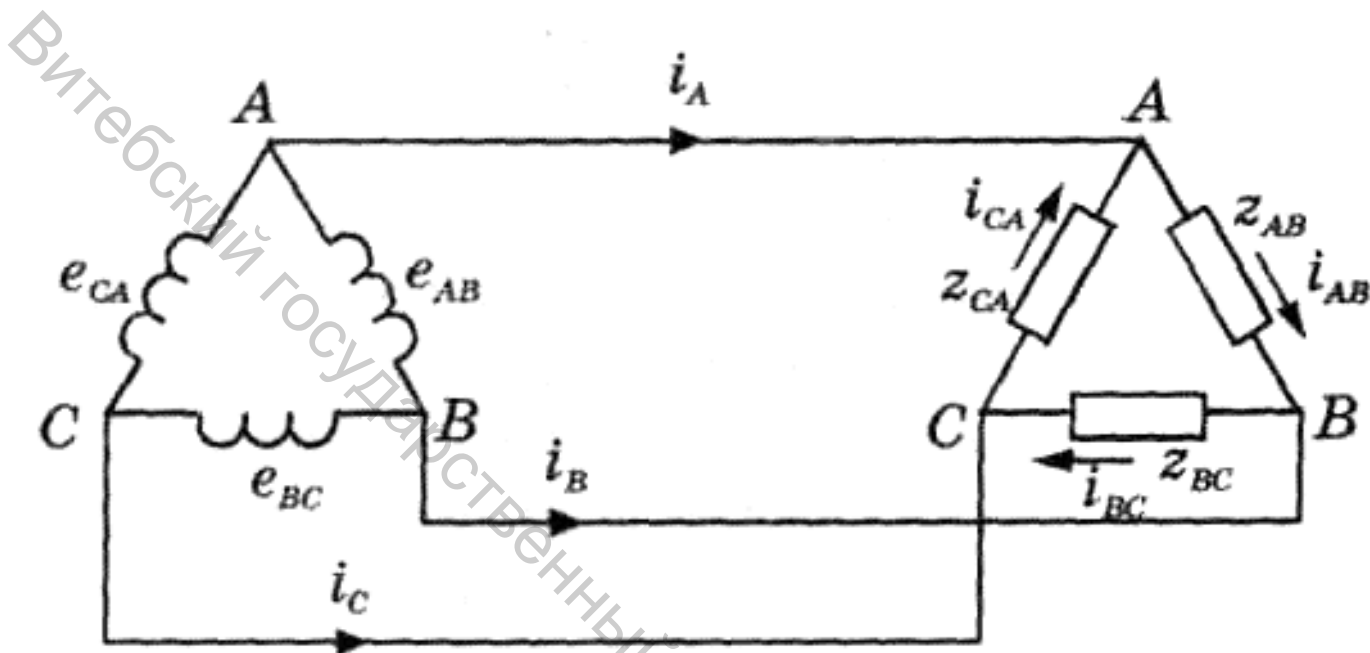


Рисунок 58

Симметричными называют приемники, комплексы сопротивлений фаз которых равны между собой:  $Z_a = Z_b = Z_c = \text{const}$ . Если это условие не выполняется, то приемники называют не симметричными; при этом нагрузка может быть равномерной, если  $z_a = z_b = z_c$  или однородной, если равны сдвиги фаз. Фазы приемников также могут соединяться как звездой, так и треугольником. Важно отметить, что способ соединения фаз источника питания не предопределяет способа соединения фаз приемника. Так как каждая фаза реальной симметричной трехфазной цепи составляется из одинаковых элементов, то (в инженерной практике) такие цепи часто изображают однолинейными. На такой схеме указывают величины, характеризующие только одну фазу.

В трехпроводную цепь при соединении нагрузки звездой включают только симметричные трехфазные приемники: электрические двигатели, электрические печи и др.

На рисунке 59 показана схема четырехпроводной осветительной сети жилого дома при соединении фаз нагрузки звездой.

Нейтральный провод обеспечивает симметрию фазных напряжений приемника при несимметричной нагрузке. Поэтому в четырехпроводную сеть включают

однофазные приемники (например, лампы накаливания), и режим работы каждого такого приемника, находящегося под неизменным фазным напряжением источника питания, не будет зависеть от режима работы приемников, включенных в другие фазы.

Ток в нейтральном проводе зависит не только от характера сопротивлений фаз приемника, но и от схемы их включения.

Что касается симметричных трехфазных приемников, то их можно включать в трехпроводную цепь либо звездой, либо треугольником — это значительно расширяет область применения таких приемников.

На щитках многих трехфазных электродвигателей указывают два напряжения (например, 380/220) и помещают шесть выводов: если линейное напряжение сети  $U_3 = 380$  В, то двигатель включают звездой. Номинальное напряжение большинства потребителей колеблется в пределах от 127 до 500 В; мощные электродвигатели работают при напряжении 3 и 6 кВ. Таким образом, возникает необходимость создания ряда понизительных станций, на которых происходит неоднократное трансформирование напряжения.

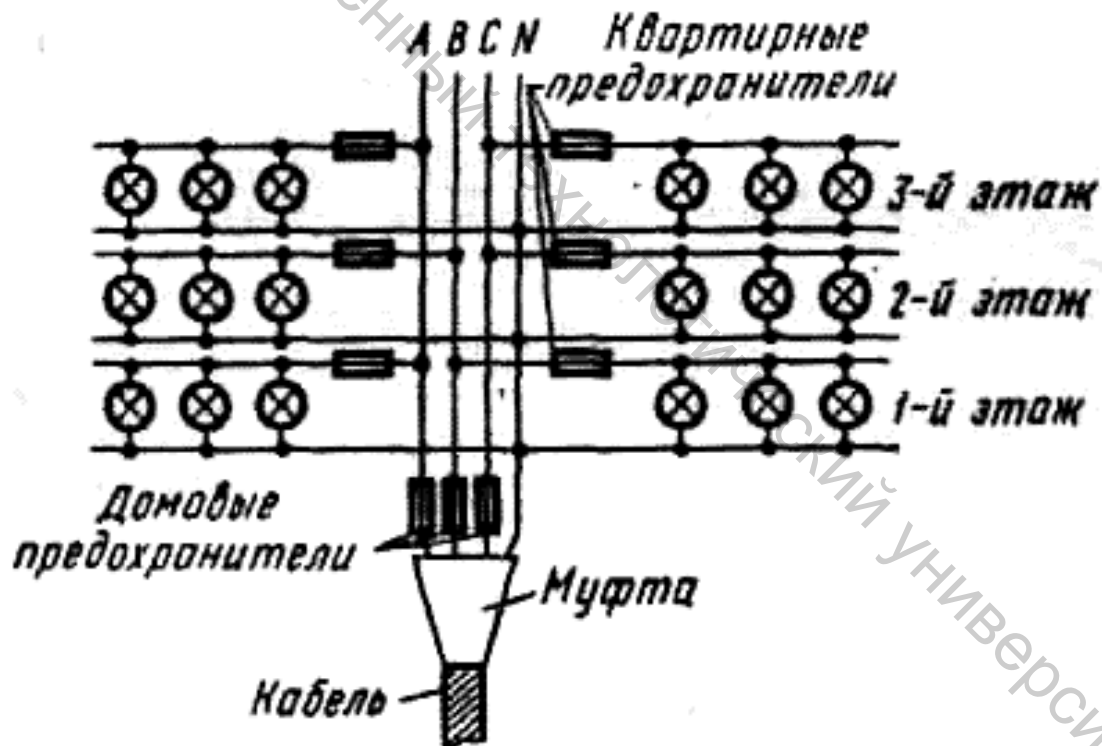


Рисунок 59 Четырехпроводная осветительная сеть жилого дома

Трансформаторы, используемые в сетях распределения электроэнергии, называются силовыми; они имеют номинальную мощность от нескольких единиц до нескольких сотен тысяч киловольт-ампер.

В устройствах промышленной электроники применяются силовые трансформаторы малой мощности (10-300 ВА) с несколькими вторичными обмотками, предназначенными для питания.

### Расчет трехфазной электрической цепи

**Задание.** Для трехфазной электрической цепи, схема которой изображена на рисунках 60 – 76, по заданным в таблице 2 параметрам и линейному напряжению определить фазные и линейные токи, ток в нейтральном проводе (для четырехпроводной схемы), активную мощность всей цепи и каждой фазы отдельно. Построить векторную диаграмму токов и напряжений.

### Значения параметров пассивных элементов цепи

По варианту в таблице 2 выбираются номер рисунка и параметры элементов электрической цепи.

Таблица 2 — Значение параметров элементов цепи

Номера		Ул, В	$R_{a_3}$ , Ом	$R_{b_3}$ , Ом	$R_{c_3}$ , Ом	$X_{a_3}$ , Ом	$X_{b_3}$ , Ом	$X_{c_3}$ , Ом	$R_{ab_3}$ , Ом	$R_{bc_3}$ , Ом	$R_{ca_3}$ , Ом	$X_{ab_3}$ , Ом	$X_{bc_3}$ , Ом	$X_{ca_3}$ , Ом
Варианта	Рисун- КОВ													
0	60	127	8	8	8	6	6	6	---	---	---	---	---	---
1	61	220	8	8	8	6	6	6	---	---	---	---	---	---
2	61	380	8	8	8	6	6	6	---	---	---	---	---	---
3	62	127	8	4	6	4	3	8	---	---	---	---	---	---
4	62	220	8	4	6	4	3	8	---	---	---	---	---	---
5	62	380	8	4	6	4	3	8	---	---	---	---	---	---
6	63	127	4	8	6	3	4	8	---	---	---	---	---	---
7	63	127	4	8	6	3	4	9	---	---	---	---	---	---
8	63	127	4	8	6	3	4	8	---	---	---	---	---	---
9	64	127	16,8	8	8	14,2	6	4	---	---	---	---	---	---
10	64	220	16.8	8	8	14.2	6	4	---	---	---	---	---	---
11	64	380	16.8	8	8	8	6	4	---	---	---	---	---	---
12	65	127	10	---	---	---	10	10	---	---	---	---	---	---
13	65	220	10	---	---	---	10	10	---	---	---	---	---	---
14	65	380	10	---	---	---	10	10	---	---	---	---	---	---
15	66	127	---	---	---	---	---	---	8	8	8	6	6	6

Окончание таблицы 2

16	66	220	---	---	---	---	---	---	8	8	8	6	6	6
17	66	380	---	---	---	---	---	---	8	8	8	6	6	6
18	67	127	---	---	---	---	---	---	8	4	6	4	3	8
19	67	220	---	---	---	---	---	---	8	4	6	4	3	8
20	67	380	---	---	---	---	---	---	8	4	6	4	3	8
21	68	127	---	---	---	---	---	---	4	8	6	3	4	8
22	68	220	---	---	---	---	---	---	4	8	6	3	4	8
23	68	380	---	---	---	---	---	---	4	8	6	3	4	8
24	69	127	---	---	---	---	---	---	16.8	8	3	14.2	6	4
25	69	220	---	---	---	---	---	---	16.8	8	3	14.2	6	4
26	69	380	---	---	---	---	---	---	16.8	8	3	14.2	6	4
27	70	127	---	---	---	---	---	---	10	---	---	---	10	10
28	70	220	---	---	---	---	---	---	10	---	---	---	10	10
29	70	380	---	---	---	---	---	---	10	---	---	---	10	10
30	71	127	10	---	---	---	10	10	---	---	---	---	---	---
31	71	220	10	---	---	---	10	10	---	---	---	---	---	---
32	71	380	10	---	---	---	10	10	---	---	---	---	---	---
33	72	127	15	---	---	---	5	5	---	---	---	---	---	---
34	72	220	15	---	---	---	5	5	---	---	---	---	---	---
35	72	380	15	---	---	---	5	5	---	---	---	---	---	---
36	73	127	---	---	---	---	---	---	---	3	8	4	6	8
37	73	220	---	---	---	---	---	---	---	3	8	4	6	8
38	73	380	---	---	---	---	---	---	---	3	8	4	6	8
39	74	127	---	---	---	---	---	---	8	4	8	---	6	10
40	74	220	---	---	---	---	---	---	8	4	8	---	6	10
41	74	220	---	---	---	---	---	---	8	4	8	---	6	10
42	75	127	---	---	---	---	---	---	---	5	6	5	8	4
43	75	220	---	---	---	---	---	---	---	5	6	5	8	4
44	75	380	---	---	---	---	---	---	---	5	6	5	8	4
45	75	127	---	---	---	---	---	---	5	---	6	10	8	4
46	76	220	---	---	---	---	---	---	5	---	6	10	8	4
47	76	380	---	---	---	---	---	---	5	---	6	10	8	4
48	76	127	---	3	---	15	---	10	---	---	---	---	---	---
49	76	220	---	3	---	15	---	10	---	---	---	---	---	---
50	76	220	---	3	---	15	---	10	---	---	---	---	---	---

Схемы электрических цепей (рисунки 60– 76).

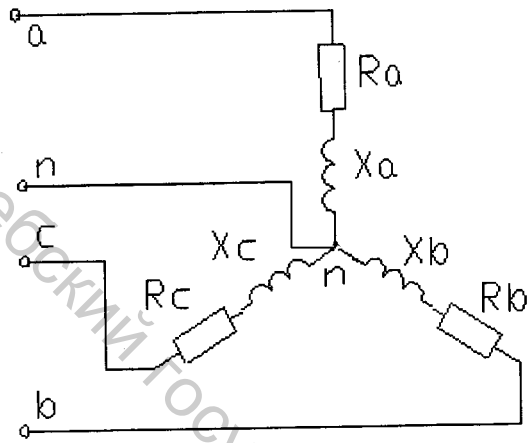


Рисунок 60

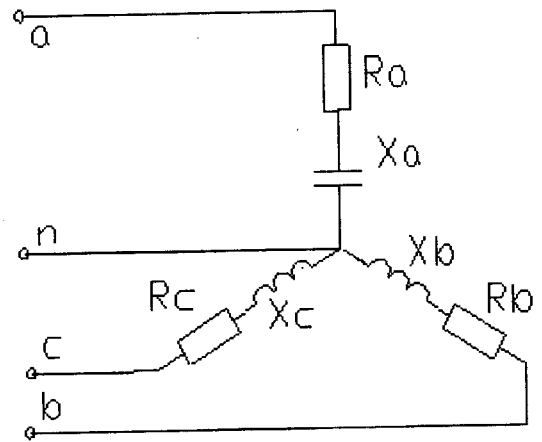


Рисунок 61

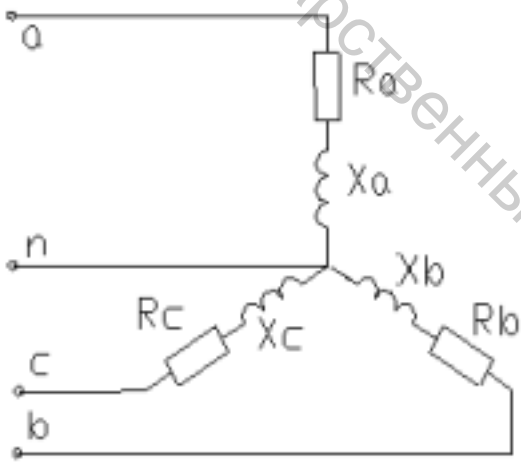


Рисунок 62

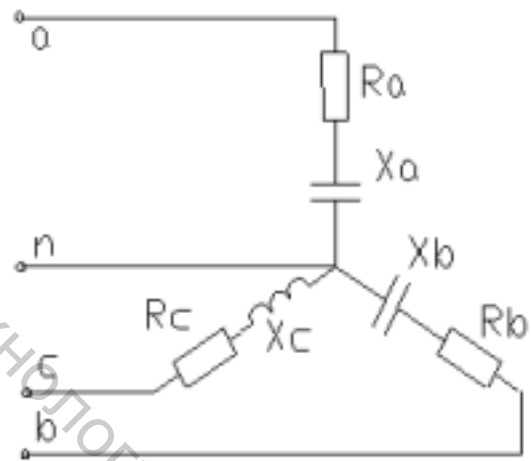


Рисунок 63

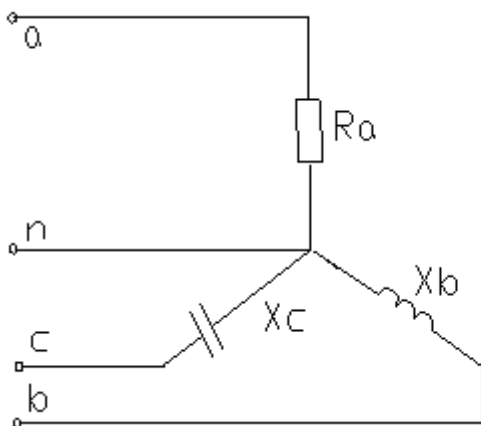


Рисунок 64

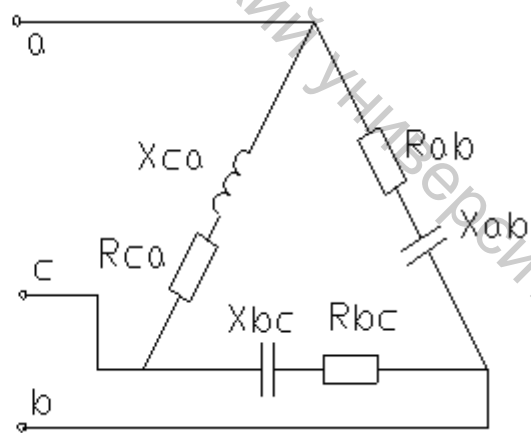


Рисунок 65

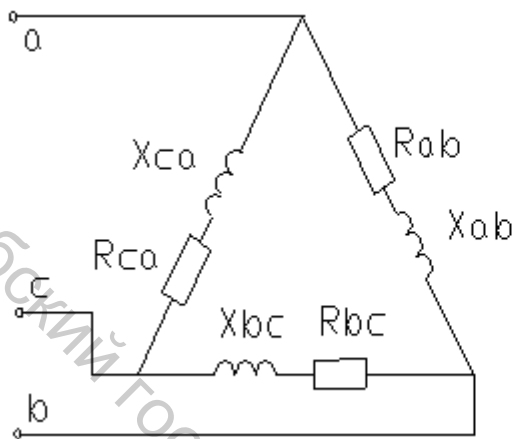


Рисунок 66

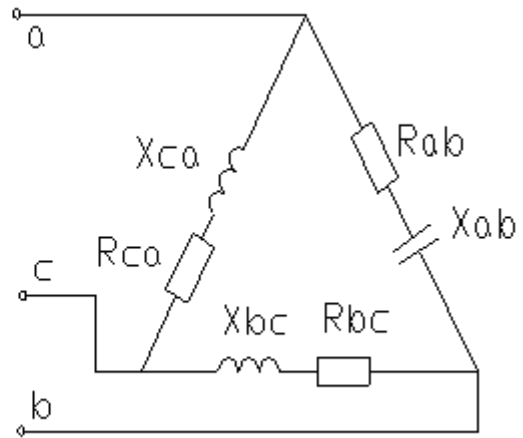


Рисунок 67

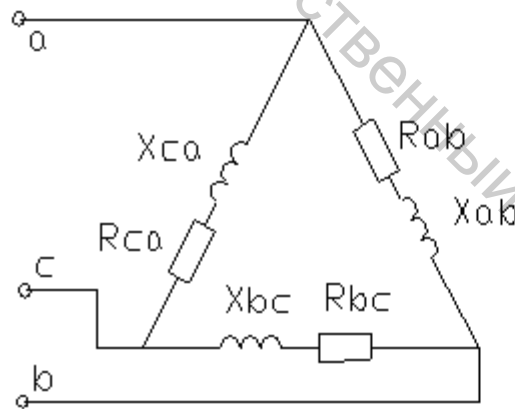


Рисунок 68

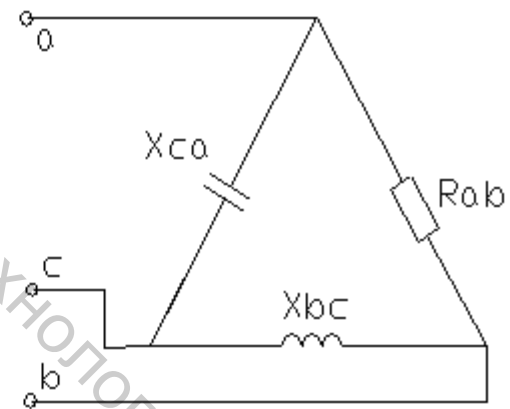


Рисунок 69

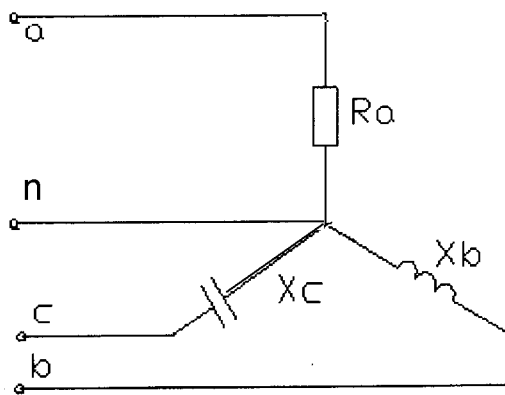


Рисунок 70

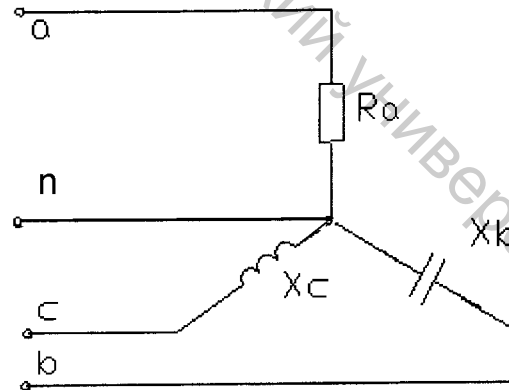


Рисунок 71

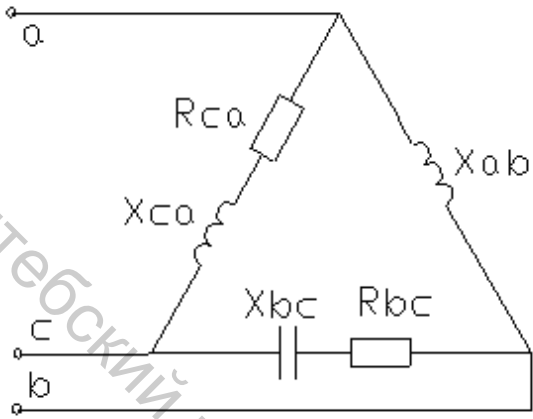


Рисунок 72

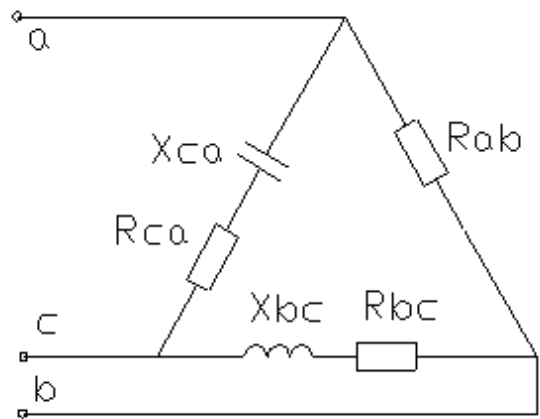


Рисунок 73

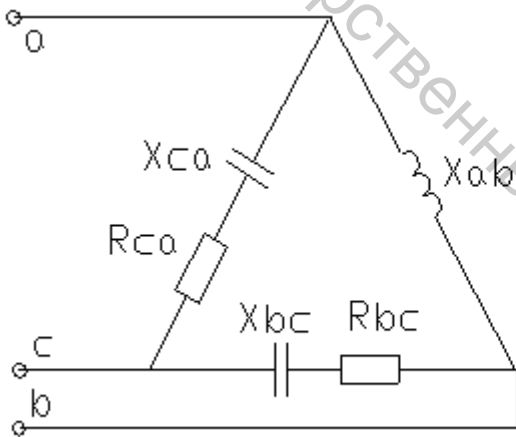


Рисунок 74

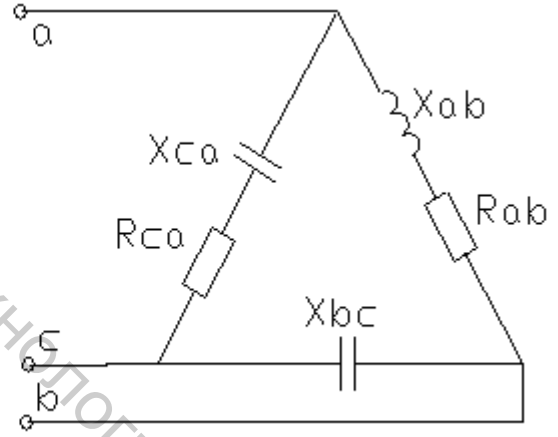


Рисунок 75

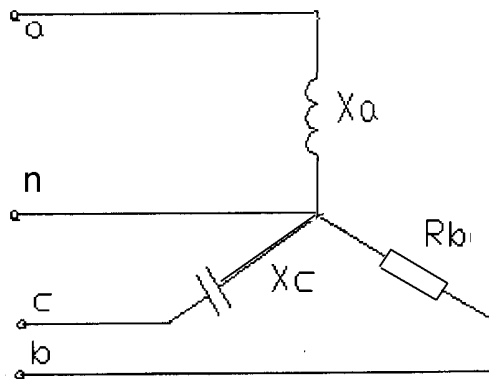


Рисунок 76



### Пример решения задачи

Для трехфазной электрической цепи, схема которой изображена на рисунке 77, по заданным параметрам и линейному напряжению необходимо определить фазные и линейные токи, ток в нейтральном проводе (для четырехпроводной схемы), активную мощность всей цепи и каждой фазы отдельно. Построить векторную диаграмму токов и напряжений.

Дано:  $U_{\text{л}}=220$  В,  $R_a=3$  Ом,  $R_b=3$  Ом,  $R_c=4$  Ом,  $X_a=4$  Ом,  $X_b=5,2$  Ом,  $X_c=3$  Ом.

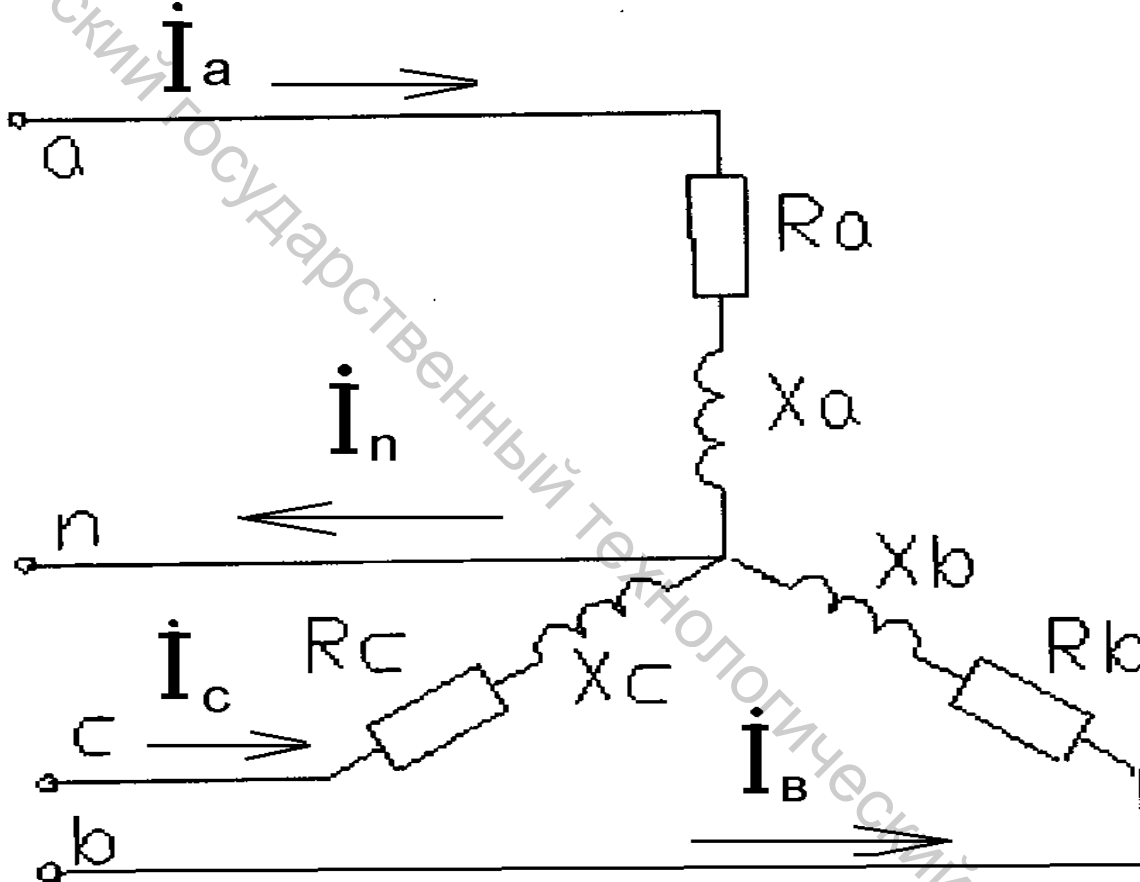


Рисунок 77 — Схема цепи трехфазного тока

#### Решение:

1. Указывают направления токов в ветвях (расчет производится с использованием комплексных значений символическим методом).
2. Выражают фазные напряжения и сопротивления ветвей в комплексной форме.

Фазные напряжения

$$\dot{U}_a = \frac{U_{\text{л}}}{\sqrt{3}} \cdot e^{j0^\circ} = 127 \cdot e^{j0^\circ} \text{ В}, \quad \dot{U}_b = 127 \cdot e^{-j120^\circ} \text{ В}, \quad \dot{U}_c = 127 \cdot e^{-j240^\circ} = 127 \cdot e^{j120^\circ} \text{ В}.$$

Сопротивления ветвей в комплексной форме

$$\underline{Z}_a = R_a + j \cdot X_a = 3 + j \cdot 4 = 5 \cdot e^{j53^\circ} \text{ Ом},$$

$$\underline{Z}_b = 3 + j \cdot 5,2 = 6 \cdot e^{j60^\circ} \text{ Ом},$$

$$\underline{Z}_c = 4 + j \cdot 3 = 5 \cdot e^{j37^\circ} \text{ Ом}.$$

3. Определяют комплексные и действующие значения токов в отдельных фазах (при соединении звездой  $I_{\text{л}} = I_{\phi}$ ).

Комплексное значение на фазе А

$$\dot{I}_a = \frac{\dot{U}_a}{\underline{Z}_a} = \frac{127 \cdot e^{j0^\circ}}{5 \cdot e^{j53^\circ}} = 25,4 \cdot e^{-j53^\circ} \text{ А},$$

действующее значение  $I_a = 25,4 \text{ А}$ .

Комплексное значение на фазе В

$$\dot{I}_b = \frac{\dot{U}_b}{\underline{Z}_b} = \frac{127 \cdot e^{-j120^\circ}}{6 \cdot e^{j60^\circ}} = 21,2 \cdot e^{-j180^\circ} \text{ А},$$

действующее значение  $I_b = 21,2 \text{ А}$ .

Комплексное значение на фазе С

$$\dot{I}_c = \frac{\dot{U}_c}{\underline{Z}_c} = \frac{127 \cdot e^{j120^\circ}}{5 \cdot e^{j37^\circ}} = 25,4 \cdot e^{j83^\circ} \text{ А},$$

действующее значение  $I_a = 25,4$  А.

4. Комплекс тока в нейтральном проводе определяется как сумма комплексов линейных токов

$$\dot{I}_n = \dot{I}_a + \dot{I}_b + \dot{I}_c,$$

$$\dot{I}_n = 25,4 \cdot e^{-j53^\circ} + 21,2 \cdot e^{-j180^\circ} + 25,4 \cdot e^{j83^\circ} = 5,9 \cdot e^{j124^\circ} \text{ А}, \quad I_n = 5,9 \text{ А}.$$

5. Активные мощности отдельных фаз и всей цепи будут равны

Активная мощность фазы А

$$P_a = I_a^2 \cdot R_a = 25,4^2 \cdot 3 = 1935,5 \text{ Вт}.$$

Активная мощность фазы В

$$P_b = I_b^2 \cdot R_b = 21,2^2 \cdot 3 = 1348,3 \text{ Вт}.$$

Активная мощность фазы С

$$P_c = I_c^2 \cdot R_c = 25,4^2 \cdot 4 = 2580,6 \text{ Вт}.$$

Активная мощность всей цепи

$$P = P_a + P_b + P_c = 1935,5 + 1348,3 + 2580,6 = 5864,4 \text{ Вт}.$$

6. Используя комплексные значения токов и напряжений, строят векторную диаграмму (рисунок 78).

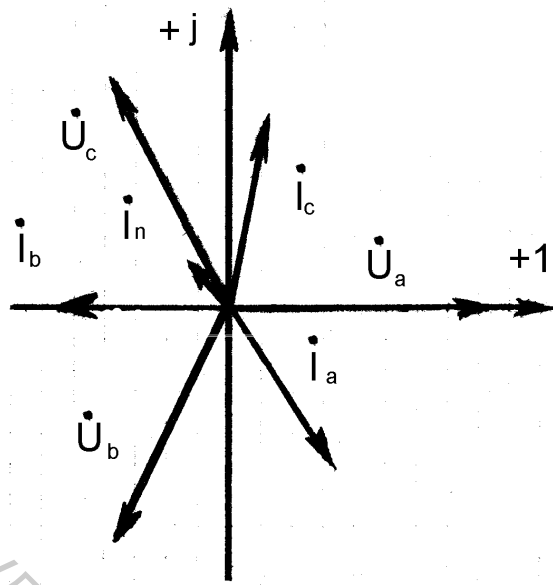


Рисунок 78 — Векторная диаграмма

Витебский государственный технологический университет

## ЛИТЕРАТУРА

1. Касаткин, А. С. Электротехника / А. С. Касаткин, М. В. Немцов. – Москва : Высшая школа, 2003. – 542 с.
2. Электротехника / В. Г. Герасимов [и др.] ; под ред. В. Г. Герасимова. – Москва : Высшая школа, 1985. – 768 с.
3. Рыбаков, Н. С. Электротехника / Н. С. Рыбаков. – Москва : РИОР, 2007. – 160 с.
4. Борисов, Ю. М. Электротехника / Ю. М. Борисов [и др.]. – Москва : Энергоиздат, 1985. – 559 с.
5. Бутырин, П. А. Электротехника / П. А. Бутырин. – Москва : Академия, 2007. – 272 с.
6. Москаленко, В. В. Электрический привод / В. В. Москаленко. – Москва : Высшая школа, 2000. – 368 с.
7. Ильинский, Н. Ф. Основы электропривода / Н. Ф. Ильинский. – Москва : Издат. дом МЭИ, 2007. – 224 с.
8. Справочник по электрическим машинам / Том 1 / под. ред. И. П. Копылова и Б. К. Клокова. – Москва : Энергоатомиздат, 1988. – 456 с.

Учебное издание

## РАСЧЕТ ЦЕПИ СИНУСОИДАЛЬНОГО ТОКА

Методические указания по выполнению расчетно-графической работы

Составитель:

Новиков Юрий Васильевич

Редактор *Н.В. Медведева*

Корректор *Т.А. Осипова*

Компьютерная верстка *Ю.В. Новиков*

---

Подписано к печати 11.12.17. Формат 60x90 1/16. Усл. печ. листов 2.4.  
Уч.-изд. листов 2.4. Тираж 30 экз. Заказ № 410.

Учреждение образования «Витебский государственный технологический университет»  
210035, г. Витебск, Московский пр., 72.

Отпечатано на ризографе учреждения образования  
«Витебский государственный технологический университет».  
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,  
распространителя печатных изданий № 1/172 от 12 февраля 2014 г.

Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,  
распространителя печатных изданий № 3/1497 от 30 мая 2017 г.