

МИНИСТЕРСТВО ПУТЕЙ СООБЩЕНИЯ СССР
Московский ордена Ленина
и ордена Трудового Красного Знамени
институт инженеров железнодорожного транспорта

521

Кафедра теоретических основ электротехники

Утверждено
редакционно-издательским
советом института

ТРЕХФАЗНЫЕ ЦЕПИ

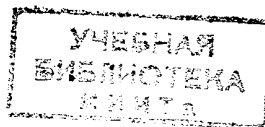
Методические указания
к выполнению типовых заданий

по дисциплине

"ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ"

для студентов II курса
электротехнических специальностей

Москва - 1987



Методические указания составили преподаватели МИИТа: Л.Г.Сегал, Н.В.Кондратьева, Е.И.Коннова

Рецензенты: д-р техн. наук Е.Ф. Цаненко (МГИ), канд. техн. наук С.М.Кучерук (МИРЭА)

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	3
Задание. Трехфазная цепь	4
Основные теоретические положения	14
Пример расчета цепи трехфазного тока	20
Литература	24

ТРЕХФАЗНЫЕ ЦЕПИ

Методические указания
к выполнению типовых заданий

Редактор М. М. Т а м а р о в с к а я
Технический редактор Н. Н. В а с и л ь е в а
Корректор М. В. А в д е е в а

Подписано в печать 14.09.87г. Формат 60х84 1/16
Усл. печ. л. 1,5. Уч.-изд. л. 0,7. Тираж 500 экз
Изд. № 18 Заказ № 1546 Бесплатно

Редакционно-издательский отдел МИИТа
101471, Москва, А-55, ул. Образцова, 15
Типография МИИТа

ВВЕДЕНИЕ

В электроэнергетике исключительно широко применяются трехфазные цепи вследствие их технического совершенства и высокой экономичности. Система трехфазного переменного тока, изобретенная талантливым русским электротехником М.О. Доливо-Добровольским в 1889 г., применяется во всем мире. При помощи этой системы осуществляется экономичная передача электрической энергии, созданы надежные в работе и простые по конструкции электродвигатели, генераторы и трансформаторы.

При изучении этой темы необходимо хорошо уяснить основные свойства трехфазных цепей с различными схемами соединения источников и приемников электрической энергии. Рассматривая схемы соединения трехфазной системы "звездой" и "треугольником", следует усвоить их отличительные особенности, например, связь между фазными и линейными величинами напряжений и токов как при симметричной, так и при несимметричной нагрузке.

Расчет трехфазной цепи, как правило, выполняется символическим методом и сопровождается построением векторных и топографических диаграмм, которые дают наглядное представление о соотношениях между напряжениями и токами различных участков цепи.

При расчете сложных цепей трехфазного переменного тока, когда приемники соединены "звездой" и "треугольником" и подсоединены к одной общей цепи, применяют метод преобразования схемы треугольника в эквивалентную "звезду" или "звезды" в эквивалентный "треугольник". Эти преобразования выполняются по формулам, аналогичным тем, которые применялись при расчете цепей постоянного тока.

Настоящие методические указания предназначены для студентов факультета "Электрификация железных дорог" и содержат необходимые для выполнения домашнего задания основные теоретические положения и расчетные формулы, пример расчета с топографической диаграммой напряжений и векторной диаграммой токов.

ЗАДАНИЕ. ТРЕХФАЗНАЯ ЦЕПЬ

Содержание работы

К симметричной трехфазной системе напряжений подключены два приемника энергии, соединенные "звездой" или "треугольником" (см. варианты схем).

1. Определить токи, потребляемые приемниками электрической энергии для случая, когда один из трехфазных приемников энергии вследствие повреждения в линейных проводах или в фазах приемника работает в несимметричном режиме.

2. Построить векторные диаграммы токов и топографическую диаграмму напряжений.

3. Определить показания приборов. Показания ваттметров и вольтметров определить с помощью топографической диаграммы.

Указания к работе

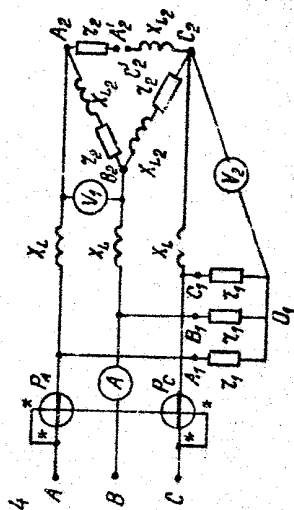
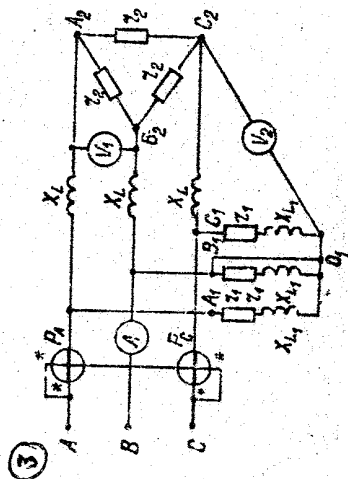
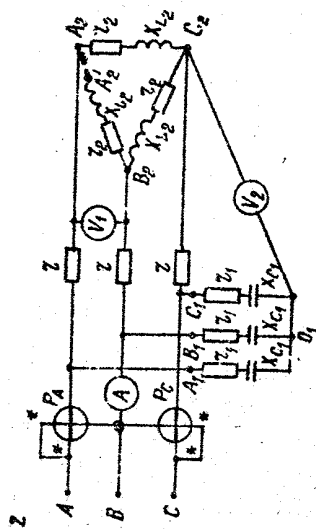
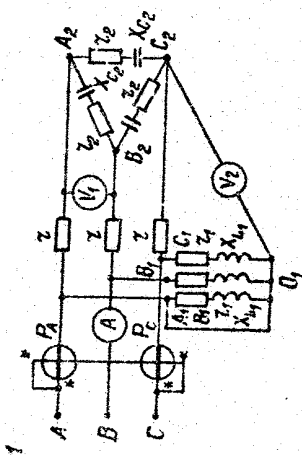
1. На топографических диаграммах должны быть показаны векторы напряжений на всех элементах схем.

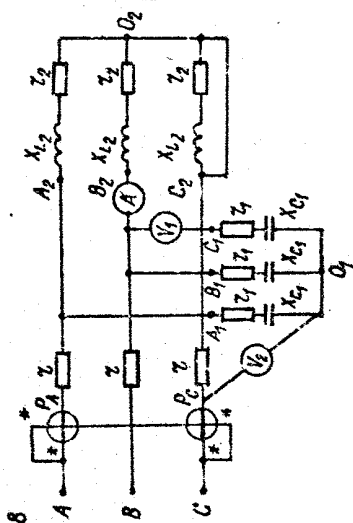
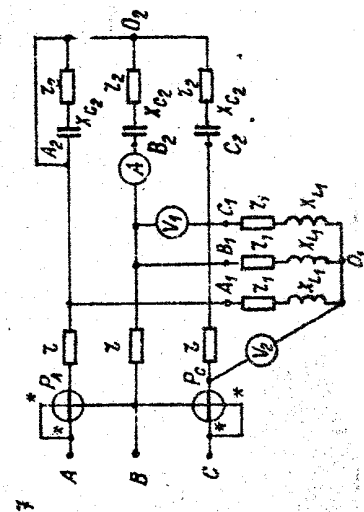
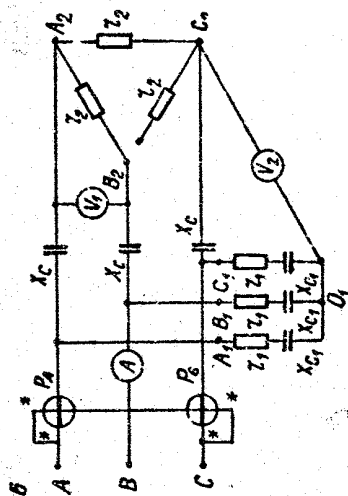
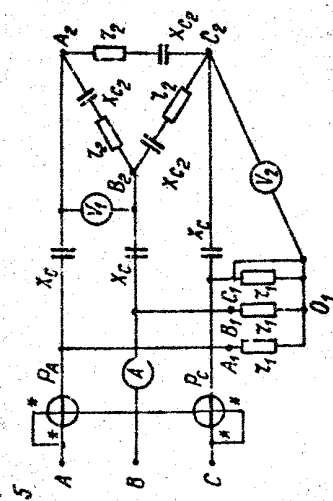
2. Номер схемы соответствует порядковому номеру, под которым фамилия студента записана в групповом журнале.

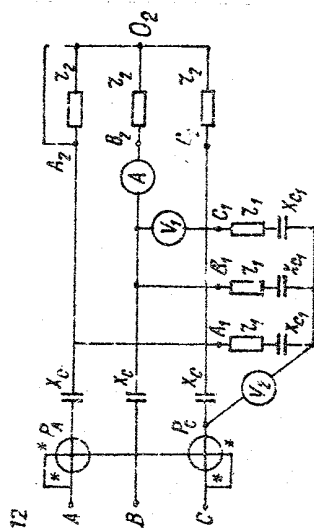
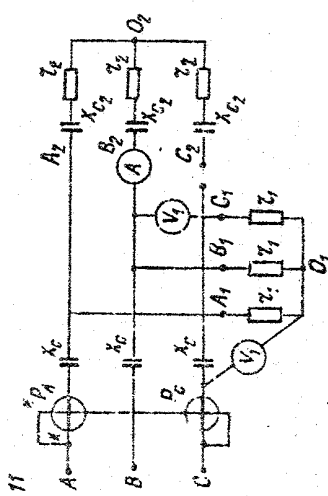
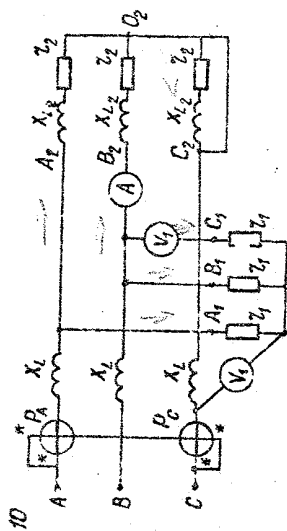
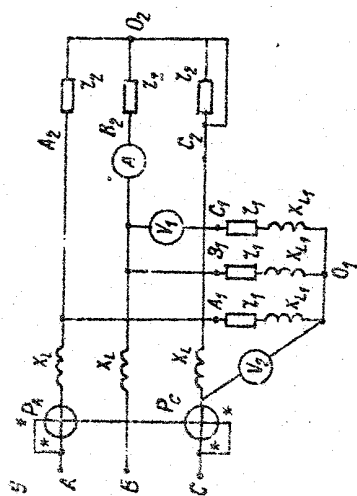
3. Числовые значения параметров элементов схем приведены в таблице.

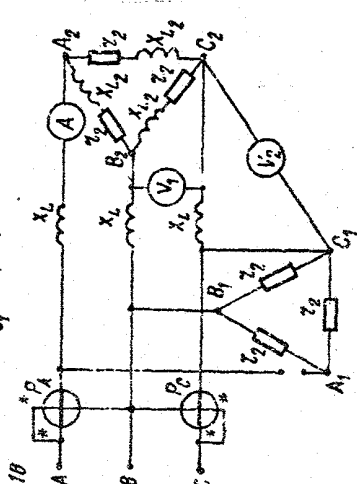
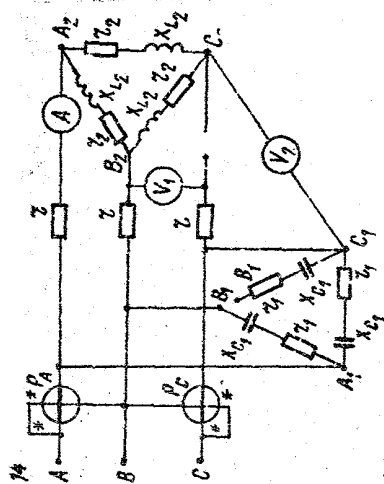
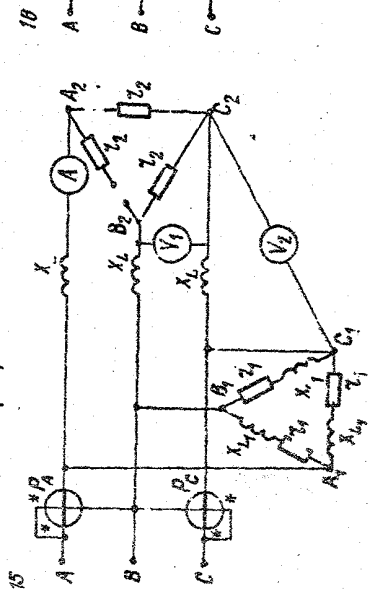
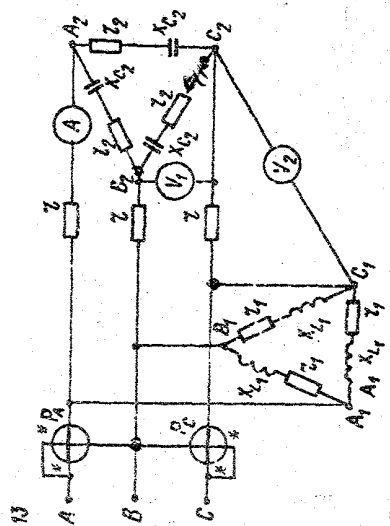
Числовые значения параметров элементов схем
трехфазных цепей

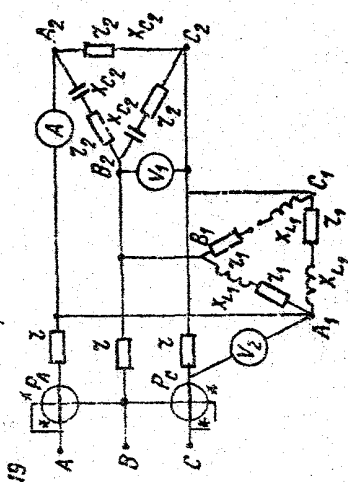
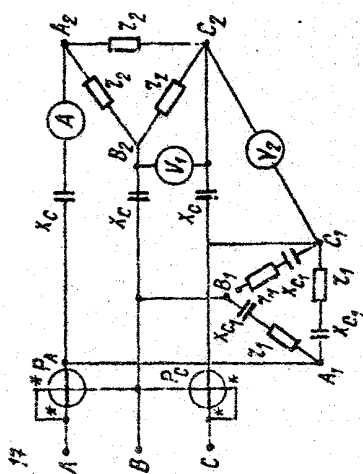
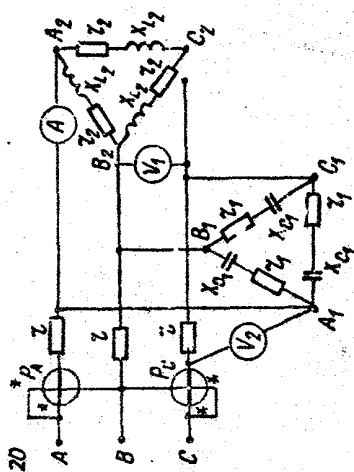
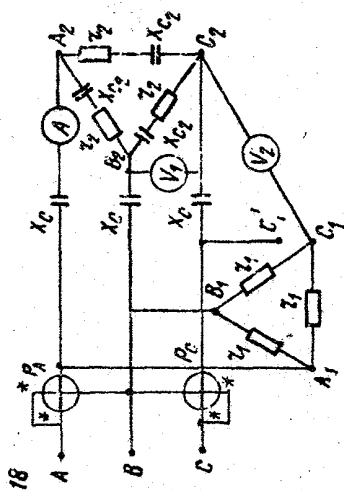
Номер вари- анта	Напря- жение $U_n, В$	Сопротивления, Ом								
		Z_1	X_{L1}	X_{C1}	Z_2	X_{L2}	X_{C2}	Z	X_L	X_C
1	127	9	6	6	9	6	6	2	2	2
2	127	6	9	6	6	9	3	3	3	3
3	127	6	6	9	6	6	9	4	4	4
4	127	6	9	9	6	9	9	2	2	2
5	220	12	9	9	12	9	9	2	2	2
6	220	9	12	9	9	12	9	3	3	3
7	220	9	9	12	9	9	12	4	4	4
8	220	12	12	9	9	9	12	2	2	2
9	380	15	12	15	12	12	12	2	2	2
10	380	12	15	12	12	15	12	3	3	3
11	380	12	12	15	12	12	15	4	4	4
12	380	15	15	12	12	12	15	2	2	2
13	660	18	12	12	18	12	12	4	4	4
14	660	12	18	12	12	18	12	5	5	5
15	660	12	12	18	12	12	18	6	6	6
16	660	12	18	18	12	18	18	4	4	4



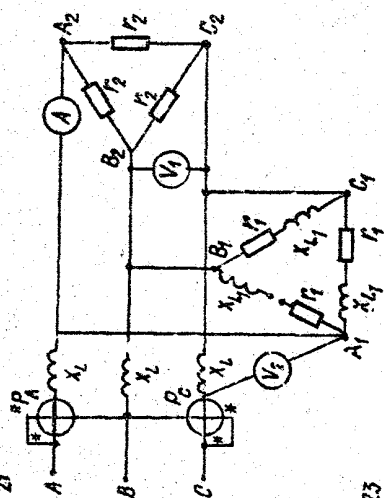




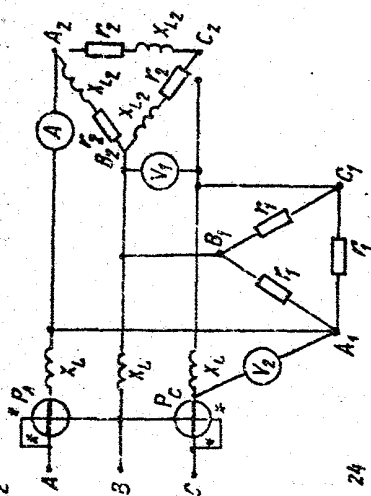




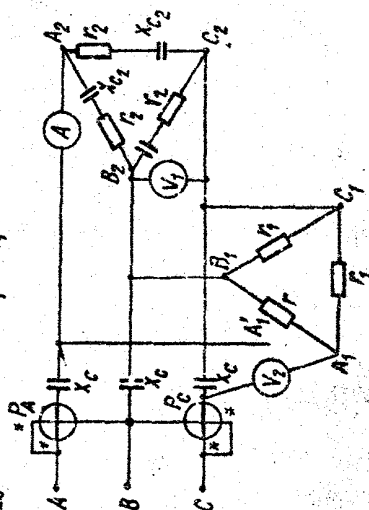
21



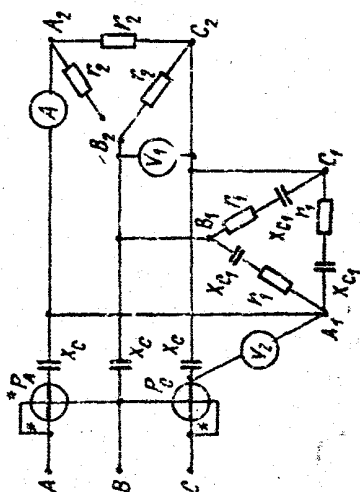
22



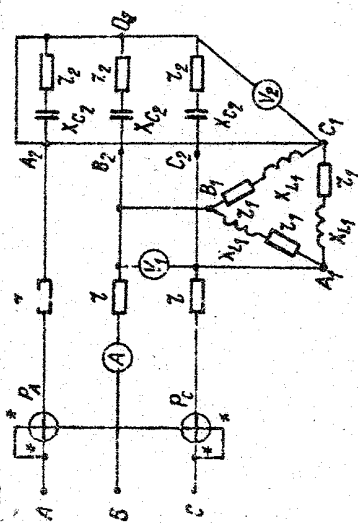
23



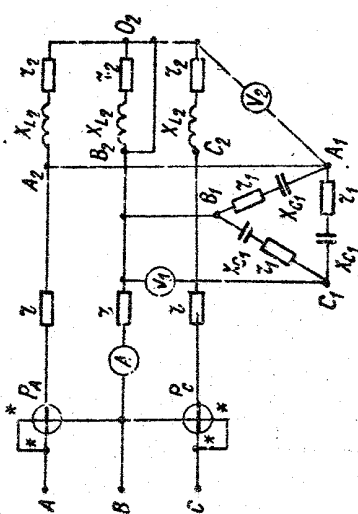
24



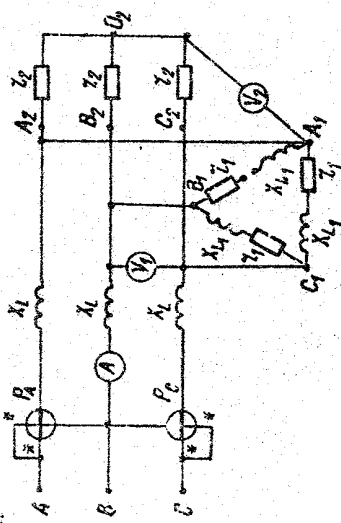
25



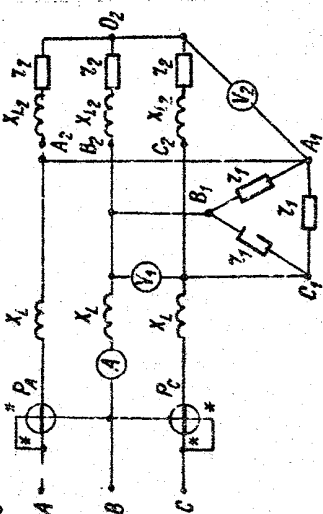
26



27



28



ОСНОВНЫЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1. Трехфазная система э.д.с.

Фазные э.д.с. (или напряжения) симметричной трехфазной системы сдвинуты между собой по фазе на угол 120° . В соответствии с этим мгновенные значения фазных э.д.с. трехфазного симметричного генератора, соединенного по схеме "звезда" или "треугольник", равны:

$$e_A = E_m \sin \omega t,$$

$$e_B = E_m \sin(\omega t - 120^\circ),$$

$$e_C = E_m \sin(\omega t - 240^\circ),$$

где E_m — амплитуда фазной э.д.с;

ω — угловая частота.

В символической форме действующие значения фазных э.д.с. симметричной трехфазной системы можно записать, совмещая э.д.с. первой фазы с положительным направлением действительной оси:

$$\dot{E}_A = E_A e^{j0^\circ} = E,$$

$$\dot{E}_B = \dot{E}_A e^{-j120^\circ} = E e^{-j120^\circ},$$

$$\dot{E}_C = \dot{E}_A e^{j120^\circ} = E e^{j120^\circ}.$$

В симметричной системе сумма комплексов (векторов), образующих систему, равна нулю.

$$\dot{E}_A + \dot{E}_B + \dot{E}_C = 0$$

Действующие значения линейных напряжений симметричного трехфазного генератора, соединенного "звездой" в символической форме равны:

$$\begin{aligned}\dot{U}_{AB} &= \dot{U}_A - \dot{U}_B = \sqrt{3} \dot{U}_A e^{j30^\circ}, \\ \dot{U}_{BC} &= \dot{U}_B - \dot{U}_C = \sqrt{3} \dot{U}_A e^{j90^\circ}, \\ \dot{U}_{CA} &= \dot{U}_C - \dot{U}_A = \sqrt{3} \dot{U}_A e^{j150^\circ}.\end{aligned}$$

Для симметричной системы линейных напряжений также справедливо равенство

$$\dot{U}_{AB} + \dot{U}_{BC} + \dot{U}_{CA} = 0.$$

Отметим, что с положительным направлением действительной оси можно совместить любой вектор линейных или фазных напряжений, при этом взаимное расположение векторов на комплексной плоскости не изменится.

Например, пусть с положительной осью комплексной плоскости совмещен вектор напряжения \dot{U}_{AB} , тогда

$$\dot{U}_{AB} = U_L, \quad \dot{U}_{BC} = U_L e^{-j120^\circ}, \quad \dot{U}_{CA} = U_L e^{j120^\circ},$$

при этом фазовые напряжения системы запишутся так:

$$\dot{U}_A = U_\phi e^{-j30^\circ}, \quad \dot{U}_B = U_\phi e^{-j150^\circ}, \quad \dot{U}_C = U_\phi e^{j90^\circ}.$$

2. Трехфазная нагрузка.

2.1. Симметричная нагрузка по схеме "звезда". При симметричной нагрузке сопротивления лучей "звезды" равны: $Z_A = Z_B = Z_C$. При симметричной системе фазных напряжений генератора на зажимах нагрузки фазные напряжения равны им, а протекающие токи также образуют симметричную систему. Поэтому расчет можно вести для одной фазы, например, фазы А: $\dot{I}_A = \dot{U}_A / Z_A$. Токи фаз В и С получаются умножением тока \dot{I}_A на $e^{\pm j120^\circ}$.

2.2. Несимметричная нагрузка по схеме "звезда". При несимметричной нагрузке сопротивления лучей "звезды" $Z_A \neq Z_B \neq Z_C$, фазные напряжения у приемников энергии будут неодинаковы и не равны фазным напряжениям генератора: $\dot{U}_{A0} \neq \dot{U}_{B0} \neq \dot{U}_{C0}$ и $U_L / U_\phi \neq \sqrt{3}$. В отсутствии нейтрального провода между нулевыми точками генератора (0)

и нагрузки (O') возникает смещение нейтрали $\dot{U}_{O'O}$, которое определяется по формуле:

$$\dot{U}_{O'O} = \frac{\dot{U}_A Y_A + \dot{U}_B Y_B + \dot{U}_C Y_C}{Y_A + Y_B + Y_C}, \quad (1)$$

где $\dot{U}_A, \dot{U}_B, \dot{U}_C$ — фазные напряжения генератора,
 Y_A, Y_B, Y_C — проводимости фаз приемников.

Напряжения фаз приемников

$$\dot{U}_{AO'} = \dot{U}_A - \dot{U}_{O'O},$$

$$\dot{U}_{BO'} = \dot{U}_B - \dot{U}_{O'O},$$

$$\dot{U}_{CO'} = \dot{U}_C - \dot{U}_{O'O}.$$

Токи приемников

$$\dot{I}_A = \dot{U}_{AO'} Y_A, \quad \dot{I}_B = \dot{U}_{BO'} Y_B, \quad \dot{I}_C = \dot{U}_{CO'} Y_C.$$

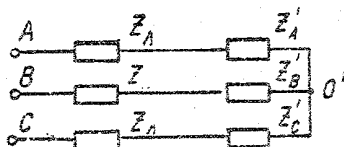
Фазные напряжения приемников энергии можно также определить через известные линейные напряжения симметричной или несимметричной системы:

$$\dot{U}_{AO'} = \frac{\dot{U}_{AB} Y_B - \dot{U}_{CA} Y_C}{Y_A + Y_B + Y_C}, \quad (2)$$

$$\dot{U}_{BO'} = \dot{U}_{AO'} - \dot{U}_{AB}; \quad \dot{U}_{CO'} = \dot{U}_{BO'} - \dot{U}_{BC} = \dot{U}_{CA} + \dot{U}_{AO'}.$$

В некоторых задачах последовательно с сопротивлениями приемников энергии включены сопротивления линейных проводов \underline{Z}_λ (рис. 1, а). Сложив их с сопротивлениями фаз приемника, получим несимметричную звезду с сопротивлениями фаз: $\underline{Z}_A = \underline{Z}_\lambda + \underline{Z}'_A$; $\underline{Z}_B = \underline{Z}_\lambda + \underline{Z}'_B$; $\underline{Z}_C = \underline{Z}_\lambda + \underline{Z}'_C$.

а)



б)

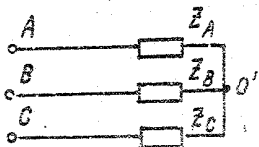


Рис. 1

Фазные напряжения эквивалентной "звезды" (рис. 1, б) определяются по формуле (1), если заданы фазные напряжения генератора $\dot{U}_A, \dot{U}_B, \dot{U}_C$, или по формуле (2), если заданы линейные напряжения $\dot{U}_{AB}, \dot{U}_{BC}$ и \dot{U}_{CA} . По фазным напряжениям $\dot{U}_{A'O'}, \dot{U}_{B'O'}$ и $\dot{U}_{C'O'}$ определяются линейные токи \dot{I}_A, \dot{I}_B и \dot{I}_C . Фазные напряжения приемника энергии

$$\dot{U}_{A'O'} = \dot{I}_A Z_{A'}, \quad \dot{U}_{B'O'} = \dot{I}_B Z_{B'}, \quad \dot{U}_{C'O'} = \dot{I}_C Z_{C'}$$

образуют несимметричную систему.

Линейные напряжения на приемнике равны:

$$\dot{U}_{A'B'} = \dot{U}_{A'O'} - \dot{U}_{B'O'},$$

$$\dot{U}_{B'C'} = \dot{U}_{B'O'} - \dot{U}_{C'O'},$$

$$\dot{U}_{C'A'} = \dot{U}_{C'O'} - \dot{U}_{A'O'}$$

и также создают несимметричную систему.

2.3. Симметричная нагрузка по схеме "треугольник". При симметричной нагрузке и симметричной системе напряжений расчет фазных и линейных токов ведется по одной фазе. Так, фазный ток $\dot{I}_{AB} = \dot{U}_{AB} Y_{AB}$, токи \dot{I}_{BC} и \dot{I}_{CA} получаются умножением тока \dot{I}_{AB} на поворотный множитель $e^{\pm j 120^\circ}$. Линейный ток $\dot{I}_A = \dot{I}_{AB} e^{-j 30^\circ}$, токи \dot{I}_B и \dot{I}_C определяются умножением \dot{I}_A на $e^{\pm j 120^\circ}$.

При расчете симметричной нагрузки с учетом сопротивлений линейных проводов Z_Ω (рис. 2) необходимо преобразовать "треугольник" сопротивлений в "звезду" по известным формулам вида:

$$Z_{A'O'} = \frac{Z_{A'B'} \cdot Z_{C'A'}}{Z_{A'B'} + Z_{B'C'} + Z_{C'A'}} \quad (3)$$

При $Z_{A'B'} = Z_{B'C'} = Z_{C'A'}$ получим $Z_{A'O'} = Z_{B'O'} = Z_{C'O'} = \frac{Z_{A'B'}}{3}$.

После этого преобразования расчет ведется для "звезды" с симметричной нагрузкой, как рассматривалось в пункте 2.2. Определив линейные напряжения $\dot{U}_{A'B'}, \dot{U}_{B'C'}, \dot{U}_{C'A'}$, можно вычислить фазные токи:

$$\dot{I}_{A'B'} = \dot{U}_{A'B'} Y_{A'B'}; \quad \dot{I}_{B'C'} = \dot{U}_{B'C'} Y_{B'C'}; \quad \dot{I}_{C'A'} = \dot{U}_{C'A'} Y_{C'A'}$$

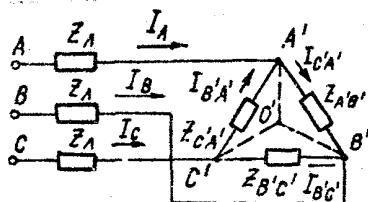


Рис. 2

Полученные системы линейных токов, фазных токов, фазных напряжений на нагрузке образуют симметричные системы.

2.4. Несимметричная нагрузка по схеме "треугольник". При несимметричной нагрузке $\underline{Z}_{AB} \neq \underline{Z}_{BC} \neq \underline{Z}_{CA}$.

По известным линейным на-

пряжениям определяются токи каждой фазы по закону Ома.

Линейные токи вычисляются по первому закону Кирхгофа. Формулы составляются для узлов А, В и С и, при направлении токов, указанном на рис. 2, записываются так:

$$\begin{aligned}\dot{I}_A &= \dot{I}_{AB} - \dot{I}_{CA}, \\ \dot{I}_B &= \dot{I}_{BC} - \dot{I}_{AB}, \\ \dot{I}_C &= \dot{I}_{CA} - \dot{I}_{BC}.\end{aligned}$$

Полученные фазные и линейные токи образуют соответственно две несимметричные системы, однако сумма линейных токов равна нулю.

При расчете несимметричной нагрузки с учетом сопротивления линейных проводов \underline{Z}_Δ (см. рис. 2) "треугольник" сопротивлений необходимо преобразовать в "звезду" по известным формулам (для фазы А см. формулу (3)). Сопротивления полученной "звезды" и сопротивления линейных проводов образуют эквивалентную несимметричную "звезду". Методика расчета токов "звезды" при заданных линейных или фазных напряжениях рассмотрена в п. 2.2.

Фазные токи нагрузки, соединенной "треугольником", определяются по линейным напряжениям на "треугольнике" $\underline{U}_{A'B'}$, $\underline{U}_{B'C'}$ и $\underline{U}_{C'A'}$.

Возможно дальнейшее преобразование полученной эквивалентной "звезды" (см. рис. 2) в "треугольник". Сопротивления несимметричной "звезды" $\underline{Z}_A = \underline{Z}_\Delta + \underline{Z}_{A'}$, $\underline{Z}_B = \underline{Z}_\Delta + \underline{Z}_{B'}$, $\underline{Z}_C = \underline{Z}_\Delta$. Сопротивления "треугольника" вычисляются по известным формулам вида:

$$Z_{AB} = Z_A + Z_B + \frac{Z_A Z_B}{Z_C}$$

Фазные и линейные токи "треугольника" определяются так, как описано в начале п. 2.4. Полученные линейные токи "треугольника" являются токами эквивалентной "звезды" (рис. 3); по этим токам определяются потенциалы то-

чек А, В и С относительно точки О и как разность потенциалов, линейные напряжения $\bar{U}_{A'B'}$, $\bar{U}_{B'C'}$ и $\bar{U}_{C'A'}$ первоначальной схемы. Фазные токи в треугольнике ABC определяются по закону Ома через линейные напряжения и сопротивления фаз.

2.5. Две несимметричные нагрузки, присоединенные параллельно к генератору. Рассмотрим принцип расчета цепи, где две нагрузки соединены как показано на рис. 3. Наиболее просто решается задача, если в нагрузках 1 и 2 сопротивления соединены "треугольником". Стороны этих треугольников попарно параллельны, и обе нагрузки заменяются одним эквивалентным треугольником. Расчет такой схемы с учетом сопротивлений линейных проводов был описан в п. 2.4, а схема приведена на рис. 2.

Если сопротивления нагрузок соединены "звездой" или в одной — "звезда", а в другой — "треугольник", необходимо представить обе нагрузки "треугольниками", а затем одним эквивалентным "треугольником". После этого продолжить преобразование для того, чтобы учесть сопротивление линейных проводов, как рассматривалось в п. 2.4, с тем, чтобы к зажимам генератора в точках А, В и С была присоединена одна нагрузка, сопротивления которой соединены "звездой" или "треугольником".

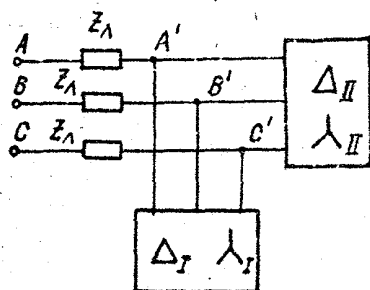


Рис. 3

ПРИМЕР РАСЧЕТА ЦЕПИ ТРЕХФАЗНОГО ТОКА:

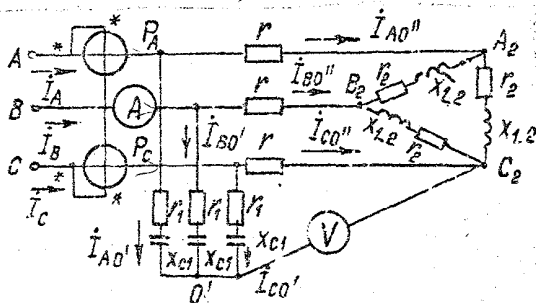


Рис. 4

1) расчетная схема и ее параметры:

$$U_A = 127 \text{ В}, Z = 4 \text{ Ом}, Z_1 = 6 \text{ Ом}, Z_2 = 6 \text{ Ом}, X_{c1} = 9 \text{ Ом}, X_{L3} = 6 \text{ Ом};$$

2) запишем в комплексной форме заданные напряжения генератора. Направим по оси действительных чисел вектор фазного напряжения генератора $\dot{U}_A = \frac{127}{\sqrt{3}}$, тогда

$$\dot{U}_B = \frac{127}{\sqrt{3}} e^{-j120^\circ}, \dot{U}_C = \frac{127}{\sqrt{3}} e^{j120^\circ}, \dot{U}_{AB} = 127 e^{j30^\circ}, \dot{U}_{CA} = 127 e^{j150^\circ}$$

3) комплексные сопротивления фаз нагрузки:

$$Z_{A2C2} = Z_{B2C2} = 6 + j6 = 6\sqrt{2} e^{j45^\circ},$$

$$Z_{A0'} = Z_{B0'} = Z_{C0'} = 6 - j9 = 10,8 e^{-j56^\circ}$$

4) в точках A, B и C подсоединена симметричная нагрузка по схеме "звезда". Определим ее линейные токи (они же фазовые)

$$\dot{I}_{A0'} = \frac{\dot{U}_A}{Z_{A0'}} = \frac{127}{\sqrt{3} \cdot 10,8 e^{-j56^\circ}} = 6,76 e^{j56^\circ} = 3,78 + j5,6,$$

$$\dot{I}_{B0'} = 6,76 e^{j56^\circ} e^{-j120^\circ} = 6,76 e^{-j64^\circ} = 2,96 - j6,08$$

$$\begin{aligned} \dot{I}_{co} &= 6,76 e^{j56^\circ} e^{j120^\circ} = \\ &= 6,76 e^{j176^\circ} = -6,74 + j0,47. \end{aligned}$$

5) рассчитаем токи на грузки, соединенной "треугольником" с учетом сопротивлений линейных проводов (рис. 5)

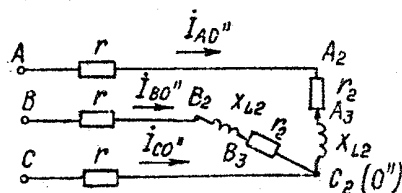


Рис. 5

Вследствие того, что фаза $A_2 B_2$ разомкнута ($Z_{A_2 B_2} = \infty$), будем рассматривать схему "звезда" с несимметричной нагрузкой.

$$Z_A = Z_{\Delta} + Z_{A_2 B_2} = 4 + 6 + j6 = 10 + j6 = 11,7 e^{j31^\circ},$$

$$Z_B = Z_{\Delta} + Z_{B_2 C_2} = 4 + 6 + j6 = 11,7 e^{j31^\circ},$$

$$Z_C = 4.$$

Нейтраль звезды O'' совпадает с точкой C_2 .

Определить следующие параметры:

а) напряжение смещения нейтрали:

$$\begin{aligned} \dot{U}_{O''O} &= \frac{\dot{U}_A Y_A + \dot{U}_B Y_B + \dot{U}_C Y_C}{Y_A + Y_B + Y_C} = \\ &= \frac{73}{11,7 e^{j31^\circ}} + \frac{73 e^{j120^\circ}}{11,7 e^{j31^\circ}} + \frac{73 e^{j120^\circ}}{4} = 32,8 e^{j147^\circ} \end{aligned}$$

б) фазовые напряжения на нагрузке:

$$\dot{U}_{AO''} = \dot{U}_A - \dot{U}_{O''O} = 73 + 27,5 - j17,9 = 100 - j17,9 = 102 e^{-j10^\circ},$$

$$\dot{U}_{BO''} = \dot{U}_B - \dot{U}_{O''O} = -36,5 - j63 + 27,5 - j17,9 = -9 - j80,9 = 81 e^{j96^\circ}$$

$$\dot{U}_{CO''} = \dot{U}_C - \dot{U}_{O''O} = -36,5 + j63 + 27,5 - j17,9 = -9 + j45 = 46,1 e^{j103^\circ}$$

в) токи нагрузки:

$$\dot{I}_{AO''} = \frac{\dot{U}_{AO''}}{Z_A} = \frac{102 e^{-j10^\circ}}{11,7 e^{j31^\circ}} = 8,72 e^{-j41^\circ} = 6,57 - j5,71,$$

$$\dot{I}_{B0}'' = \frac{\dot{U}_{B0}''}{Z_B} = \frac{81 e^{-j96^\circ}}{11,7 e^{j34^\circ}} = 6,9 e^{-j127^\circ} = -4,15 - j5,51,$$

$$\dot{I}_{C0}'' = \frac{\dot{U}_{C0}''}{Z_C} = \frac{46 e^{j101^\circ}}{4} = 11,5 e^{j101^\circ} = -2,19 + j11,3.$$

Проверка: $\dot{I}_{A0}'' + \dot{I}_{B0}'' + \dot{I}_{C0}'' \cong 0$;

6) рассчитаем токи от генератора:

$$\dot{I}_A = \dot{I}_{A0}' + \dot{I}_{A0}'' = 3,78 + j5,6 + 6,57 - j5,71 \cong 10,35,$$

$$\dot{I}_B = \dot{I}_{B0}' + \dot{I}_{B0}'' = 2,96 - j6,08 - 4,15 - j5,51 = 11,7 e^{j96^\circ},$$

$$\dot{I}_C = \dot{I}_{C0}' + \dot{I}_{C0}'' = -6,74 + j0,47 - 2,19 + j11,3 = 14,8 e^{j127^\circ} = 11,8 e^{j127^\circ}$$

Показание амперметра $\bar{I}_B = 11,7$ А;

7) определим активную мощность нагрузки (Вт):

$$W_1 = \operatorname{Re} [\dot{I}_A^* \dot{U}_{AB}] = \operatorname{Re} [10,35 \cdot 127 e^{j30^\circ}] = 1140,$$

$$W_2 = \operatorname{Re} [\dot{I}_C^* \dot{U}_{CB}] = \operatorname{Re} [14,8 e^{j127^\circ} (-127 e^{-j90^\circ})] = 1500,$$

$$W_1 + W_2 = 2640.$$

Проверка:

$$\begin{aligned} & \bar{I}_{A0}^2 (Z + Z_2) + \bar{I}_{B0}^2 (Z + Z_2) + \bar{I}_{C0}^2 Z + 3 \bar{I}_{A0}'^2 Z_1 = \\ & = 8,7^2 \cdot 10 + 6,9^2 \cdot 10 + 11,5^2 \cdot 4 + 3 \cdot 6,76^2 \cdot 6 = 2587 \text{ Вт} \end{aligned}$$

Погрешность в балансе активной мощности составляет около 1,5%;

8) построим векторную диаграмму токов.

На комплексной плоскости строят векторы токов

$$\dot{I}_{A0}', \dot{I}_{B0}', \dot{I}_{C0}'; \quad \dot{I}_{A0}'', \dot{I}_{B0}'' \text{ и } \dot{I}_{C0}''.$$

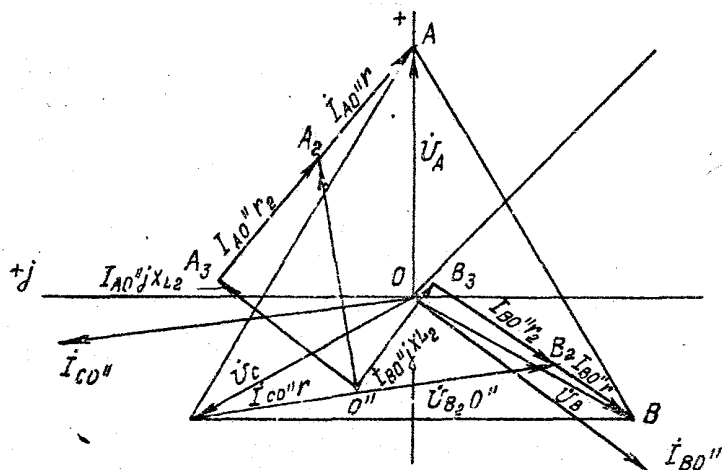


Рис. 6

Токи \dot{I}_A , \dot{I}_B и \dot{I}_C в соответствии с 1 законом Кирхгофа должны быть равны:

$$\dot{I}_A = \dot{I}_{AO'} + \dot{I}_{AO''}; \quad \dot{I}_B = \dot{I}_{BO'} + \dot{I}_{BO''}; \quad \dot{I}_C = \dot{I}_{CO'} + \dot{I}_{CO''};$$

9) построим топографическую диаграмму напряжений.

Построение будет выполняться для второй несимметричной нагрузки (рис. 6) для того, чтобы не затемнять диаграмму напряжениями на элементах и токами первой симметричной нагрузки.

Рассчитаем потенциалы точек A_2 , A_3 и O'' (С) фазы А. Потенциалы точек А, В и С относительно точки О ($\psi_0 = 0$) генератора равны фазным напряжениям: $\psi_A = 73$, $\psi_B = 73 e^{-j120^\circ}$, $\psi_C = 73 e^{j120^\circ}$. Их положение на комплексной плоскости показано на диаграмме. На диаграмме построены линейные токи второй нагрузки $\dot{I}_{AO''}$, $\dot{I}_{BO''}$ и $\dot{I}_{CO''}$.

Определим потенциалы:

$$\psi_{A2} = \psi_A - \dot{I}_{AO''} Z = 73 - 8,7 e^{-j41^\circ} \cdot 4 = 46,8 + j22,8 = 52,1 e^{j25,50^\circ}$$

$$\varphi_{A3} = \varphi_{A2} - \dot{I}_{A0''} \cdot Z_1 = 7,6 + j57 = 58 \text{ В} \angle 82^\circ 30'$$

$$\varphi_{D''} = \varphi_{A3} - \dot{I}_{A0''} \cdot jX_{C1} = -27,6 + j17,8 = 32,8 \text{ В} \angle 122^\circ 50'$$

Нанесем потенциалы точек на комплексную плоскость и соединим точки A и A_2 , A_2 и A_3 , A_3 и O'' векторами, изображающими напряжения на участках цепи.

Аналогичные расчеты, которые здесь не приводятся, для фаз B и C позволяют построить векторы напряжений для этих фаз.

Измеренные по диаграмме разности $\varphi_{A2} - \varphi_{D''} = U_{A2D''}$, $\varphi_{B2} - \varphi_{D''} = U_{B2D''}$ и $\varphi_{C2} - \varphi_{D''} = 0$ должны быть равны фазовым напряжениям на нагрузке, приведенным в расчете.

Разность потенциалов $\varphi_{D''} - \varphi_0 = U_{D''0}$ на диаграмме является напряжением смещения нейтрали, также определенным в расчете. Совпадение значений расчетных напряжений и полученных по диаграмме подтверждает правильность полученных результатов

С п и с о к л и т е р а т у р ы

1. Основы теории цепей. Г.В.Зевеке, П.А.Ионкин, А.В.Нетушил и др. - М.: Энергия, 1975. - 749 с.

2. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники. Электрические цепи. - М.: Высшая школа. 1978. - 528 с.