

ТРЕХФАЗНЫЕ ЦЕПИ

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ РАБОТЫ

При самостоятельном изучении трёхфазных цепей синусоидального тока особое внимание необходимо обратить на преимущества, которые даёт трёхфазная система по сравнению с однофазными электрическими цепями синусоидального тока. Рассматривая способы соединения источников и потребителей в трёхфазных цепях, необходимо особенно понять связь между действующими значениями фазных, линейных напряжений и токов при соединении фаз источника и потребителя звездой или треугольником.

В трёхфазной цепи могут быть два режима: симметричный и несимметричный. Трёхфазная цепь может рассматриваться как разветвлённая электрическая цепь с тремя источниками эдс, и для определения токов, напряжений и мощностей применяются законы и методы, используемые при расчёте сложных электрических цепей однофазного тока. В случае соединения фаз источника и потребителя звездой при симметричной нагрузке и наличии нейтрального провода (сопротивлением которого пренебрегают) расчёт токов в трёхфазных цепях аналогичен расчёту в цепях однофазного синусоидального тока.

При изучении трёхфазных цепей необходимо использовать литературу, указанную в конце методического указания. Для закрепления изученного материала каждый студент выполняет индивидуальное расчётное задание, варианты и данные которого приведены в таблице.

После изучения раздела студенты должны:

Знать основные электрические параметры (источников и потребителей) трёхфазных цепей, способы соединения фаз обмоток генератора и приемников (потребителей); условные графические обозначения в электрических схемах.

Понимать роль нейтрального провода, принцип построения векторных диаграмм; влияние характера и способов включения нагрузки в фазах на величину тока в нейтральном проводе.

Уметь производить расчёты трёхфазных электрических цепей симметричных и несимметричных; составлять и понимать схемы соединения трёхфазных и однофазных приёмников; рассчитывать мощности потребителей трёхфазного тока.

На заключительном этапе изучения раздела студент должен произвести самоконтроль знаний по вопросам, имеющимся в настоящем методическом указании.

2. ТРЕХФАЗНАЯ СИСТЕМА ЭДС И ЕЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ

Если три однофазных источника синусоидальных эдс (например, синхронный генератор) имеющие одинаковые амплитуды эдс, векторы которых сдвинуты относительно друг друга на угол $2\pi/3$, то такую электрическую систему эдс называют симметричной трёхфазной. Начало фазных обмоток трёхфазного источника эдс принято обозначать A, B, C . А концы, соответственно, X, Y, Z .

Для трёхфазной системы мгновенные величины эдс принимают значения:

$$e_A = E_m \cdot \sin \omega t, \text{ В}; \quad (1)$$

$$e_B = E_m \cdot \sin(\omega t - 2\pi/3), \text{ В}; \quad (2)$$

$$e_C = E_m \cdot \sin(\omega t + 2\pi/3), \text{ В}; \quad (3)$$

где E_m – амплитудное (максимальное) значение эдс, В;
 $\omega = 2\pi f$ – циклическая частота, рад \ c; f – частота изменения эдс, Гц.

Сумма трёх мгновенных эдс всегда равна нулю,

$$e_A + e_B + e_C = 0, \quad (4)$$

или в векторной форме: алгебраическая сумма векторов фазных эдс равна нулю:

$$\vec{E}_A + \vec{E}_B + \vec{E}_C = 0. \quad (5)$$

При генерировании, передаче и преобразовании электрической энергии трёхфазные цепи имеют преимущества по сравнению с однофазными: меньший расход меди в проводах и стали в трансформаторах; простота получения вращающегося магнитного поля в электродвигателях; возможность получения в одной сети двух различных по величине рабочих напряжений.

На практике применяются трёхфазные системы, в которых источники и потребители соединяются по схеме «звезда» или по схеме «треугольник».

3. ТРЕХФАЗНАЯ СИСТЕМА ПРИ ВКЛЮЧЕНИИ ФАЗ ПОТРЕБИТЕЛЯ ПО СХЕМЕ «ЗВЕЗДА»

В случае соединения трёхфазной системы эдс звездой, концы фазных обмоток (X, Y, Z) генератора соединяются между собой в одну узловую точку N . Аналогично соединяются концы (x, y, z) фаз приёмника. При этом образуются две нейтральные точки: генератора (N) и нагрузки (n). После этого начала фаз генератора (A, B, C) соединяются с началами фаз нагрузки (a, b, c) тремя линейными проводами. Нейтральную точку генератора (N) соединяют с нейтральной точкой нагрузки (n) проводом, который называют нейтральным или нуле-

вым проводом, и по нему протекает ток \vec{I}_N . При этом образуется четырёхпроводная линия электропередачи энергии.

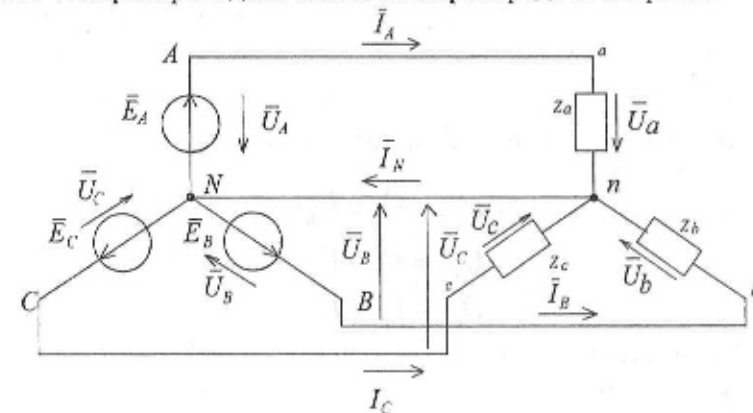


Рис. 3.1 Трёхфазная система, включенная по схеме «звезда»:

$\vec{E}_A, \vec{E}_B, \vec{E}_C$ – векторы фазных эдс генератора;

$\vec{U}_A, \vec{U}_B, \vec{U}_C$ – векторы фазных напряжений генератора;

Z_A, Z_B, Z_C – полные сопротивления фаз потребителей;

$\vec{I}_A, \vec{I}_B, \vec{I}_C$ – векторы токов в линейных проводах линии;

\vec{I}_N – вектор тока в нейтральном проводе,

Aa, Bb, Cc – линейные провода.

Схема соединения источника и приёмника по схеме «звезда» с нейтральным проводом показана на рис. 3.1. Для упрощения расчетов сопротивлениями линейных проводов линии электропередачи пренебрегают. Как видно из электрической схемы, в линейных проводах, а также в фазах генератора и нагрузки, установятся одни и те же токи. Поэтому линейные токи равны фазным токам, $I_L = I_\phi$.

Различают два вида напряжений: фазные $\vec{U}_A, \vec{U}_B, \vec{U}_C$ и линейные $\vec{U}_{AB}, \vec{U}_{BC}, \vec{U}_{CA}$. Так как разность потенциалов (U_{Nn}) нейтрального провода равна нулю, то фазные напряжения приемника равны фазным напряжениям генератора $\vec{U}_A = \vec{U}_a, \vec{U}_B = \vec{U}_b, \vec{U}_C = \vec{U}_c$. Линейные напряжения определяются как разность векторов фазных напряжений:

$$\begin{aligned}\vec{U}_{AB} &= \vec{U}_A - \vec{U}_B; \\ \vec{U}_{BC} &= \vec{U}_B - \vec{U}_C; \\ \vec{U}_{CA} &= \vec{U}_C - \vec{U}_A.\end{aligned}\quad (6)$$

При известных значениях сопротивлений фаз нагрузки Z_A, Z_B, Z_C можно определить значения линейных токов по закону Ома:

$$\vec{I}_A = \frac{\vec{U}_A}{Z_A}; \quad \vec{I}_B = \frac{\vec{U}_B}{Z_B}; \quad \vec{I}_C = \frac{\vec{U}_C}{Z_C}.\quad (7)$$

Углы сдвига фаз между одноимёнными напряжениями и токами определяются из соотношений сторон треугольника сопротивлений:

$$\varphi_A = \arctg \frac{X_A}{R_A}; \quad \varphi_B = \arctg \frac{X_B}{R_B}; \quad \varphi_C = \arctg \frac{X_C}{R_C}; \quad (8)$$

Ток в нейтральном проводе определится из первого закона Кирхгофа в векторной форме:

$$\vec{I}_N = \vec{I}_A + \vec{I}_B + \vec{I}_C.\quad (9)$$

Приведённые соотношения справедливы для любого вида нагрузки. Для успешного усвоения материала раздела рекомендуется проводить анализ трёхфазной цепи, включенной по схеме звезда, для различных видах нагрузок (активной, индуктивной, емкостной, активно-индуктивной, активно-емкостной) и сделать выводы.

4. ТРЕХФАЗНАЯ СИСТЕМА ПРИ ВКЛЮЧЕНИИ ФАЗ ПОТРЕБИТЕЛЯ ПО СХЕМЕ «ТРЕУГОЛЬНИК»

На рис. 4.1. показана схема соединения фаз приёмника треугольником. Обмотки генератора могут соединяться любым способом, например, по схеме «звезда». Сопротивлениям фаз приёмника в этом случае присваивается двойной индекс:

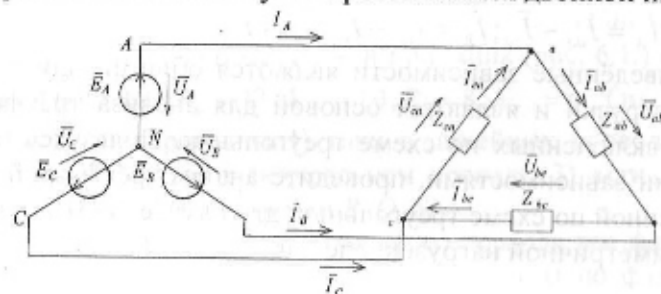


Рис. 4.1. Соединение фаз трёхфазного приёмника треугольником:

Z_{ab}, Z_{bc}, Z_{ca} – полные сопротивления фаз потребителей, Ом.

Каждая фаза приёмника, как это следует из схемы соединений, оказывается включенной на линейное напряжение, поэтому эти же напряжения являются фазными напряжениями:

$$\vec{U}_{ab} = \vec{U}_{AB}; \quad \vec{U}_{bc} = \vec{U}_{BC}; \quad \vec{U}_{ca} = \vec{U}_{CA}; \quad \text{т.е. } U_\phi = U_\lambda.$$

Токи в проводах линии электропередачи $\vec{I}_A, \vec{I}_B, \vec{I}_C$ называются линейными токами. Токи в фазах приёмника называются фазными токами. Им, как и полным сопротивлениям, присваивается двойной индекс: $\vec{I}_{ab}, \vec{I}_{bc}, \vec{I}_{ca}$.

Токи в фазах приёмника рассчитываются по закону Ома:

$$\vec{I}_{ab} = \frac{\vec{U}_{ab}}{Z_{ab}}; \quad \vec{I}_{bc} = \frac{\vec{U}_{bc}}{Z_{bc}}; \quad \vec{I}_{ca} = \frac{\vec{U}_{ca}}{Z_{ca}}.\quad (10)$$

Углы сдвига фаз между токами по отношению к одноимённым напряжениям определяются из соотношений треугольника сопротивлений:

$$\varphi_{ab} = \arctg \frac{X_{ab}}{R_{ab}}, \quad \varphi_{bc} = \arctg \frac{X_{bc}}{R_{bc}}, \quad \varphi_{ca} = \arctg \frac{X_{ca}}{R_{ca}} \quad (11)$$

Линейные и фазные токи связаны между собой первым законом Кирхгофа для узлов «а», «в», и «с» в векторной форме:

$$\vec{I}_A = \vec{I}_{ab} - \vec{I}_{ca}; \quad \vec{I}_B = \vec{I}_{bc} - \vec{I}_{ab}; \quad \vec{I}_C = \vec{I}_{ca} - \vec{I}_{bc}. \quad (12)$$

Приведённые зависимости являются общими для любого вида нагрузки и являются основой для анализа трёхфазных цепей, включённых по схеме треугольник. Пользуясь приведёнными зависимостями, проведите анализ трёхфазной цепи, включённой по схеме треугольник, для случаев симметричной и несимметричной нагрузок, сделайте выводы.

5. МОЩНОСТЬ ТРЕХФАЗНОЙ ЦЕПИ

Трёхфазная цепь представляет собой совокупность однофазных цепей, поэтому активная и реактивная мощности трёхфазной цепи определяются как сумма мощностей отдельных фаз.

При соединении фаз приёмника звездой:

– активная и реактивная мощность соответственно

$$P = I_a \cdot U_a \cdot \cos \varphi_a + I_b \cdot U_b \cdot \cos \varphi_b + I_c \cdot U_c \cdot \cos \varphi_c; \quad (13)$$

$$Q = I_a \cdot U_a \cdot \sin \varphi_a + I_b \cdot U_b \cdot \sin \varphi_b + I_c \cdot U_c \cdot \sin \varphi_c.$$

При соединении фаз приёмника треугольником:

$$P = I_{ab} \cdot U_{ab} \cdot \cos \varphi_{ab} + I_{bc} \cdot U_{bc} \cdot \cos \varphi_{bc} + I_{ca} \cdot U_{ca} \cdot \cos \varphi_{ca}; \quad (14)$$

$$Q = I_{ab} \cdot U_{ab} \cdot \sin \varphi_{ab} + I_{bc} \cdot U_{bc} \cdot \sin \varphi_{bc} + I_{ca} \cdot U_{ca} \cdot \sin \varphi_{ca}.$$

Необходимо помнить, что реактивная мощность фазы, имеющая ёмкостной характер, принимается со знаком “-”.

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

6. ПРИМЕР АНАЛИЗА ТРЕХФАЗНОЙ ЦЕПИ ПРИ ВКЛЮЧЕНИИ ФАЗ ПОТРЕБИТЕЛЯ ПО СХЕМЕ «ЗВЕЗДА»

6.1. Графоаналитический метод

К трёхфазной четырёхпроводной линии с линейным напряжением $U_{л} = 380$ В подсоединён приёмник (рис. 6.1) с сопротивлениями фаз $R_a = 22, X_{cb} = 20, R_c = 8, X_{lc} = 6$, Ом.

Необходимо определить: 1) токи в линейных проводах и фазах нагрузки, 2) ток в нейтральном проводе, 3) активную, реактивную и полную мощности P, Q, S .

Решение. При наличии нейтрального провода все фазные напряжения одинаковы по величине и сдвинуты по фазе на угол $2\pi/3$ и меньше линейного напряжения в $\sqrt{3} = 1,73$:

$$U_a = U_b = U_c = \frac{U_{л}}{\sqrt{3}} = \frac{380}{\sqrt{3}} = 220 \text{ В.}$$

Токи в фазах приёмника рассчитываются по закону Ома:

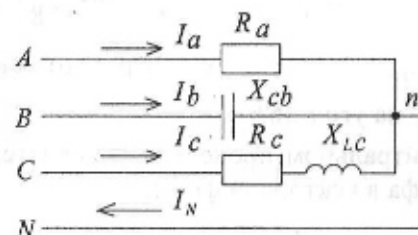


Рис. 6.1

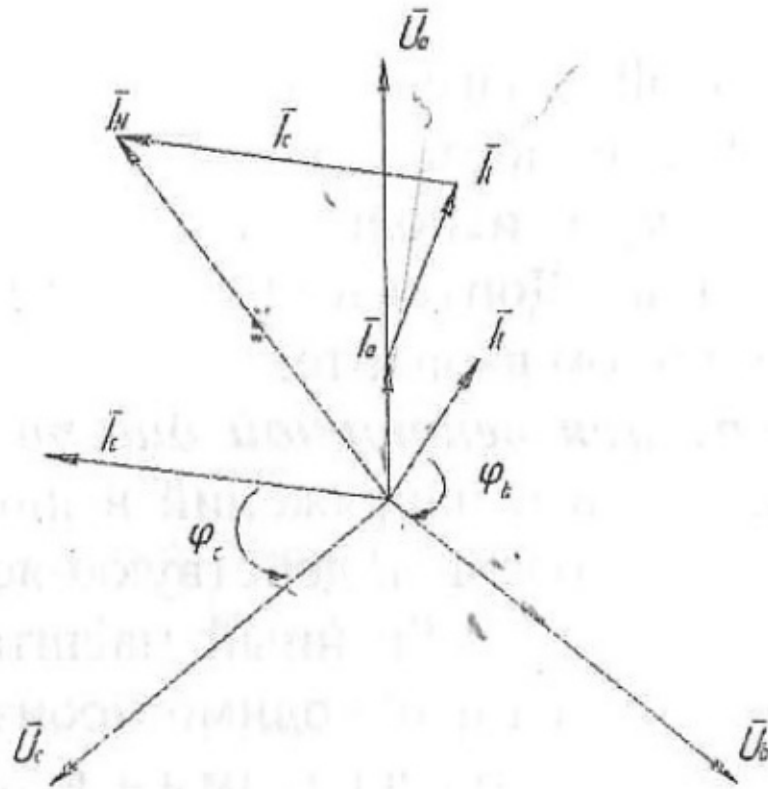


Рис. 6.2. Векторная диаграмма напряжений и токов

Ток в нейтральном проводе из векторной диаграммы

$$I_N = 27,5 \text{ A.}$$

Активная мощность

$$P = I_a \cdot U_a \cdot \cos \varphi_c + I_b \cdot U_b \cdot \cos \varphi_b + I_c \cdot U_c \cdot \cos \varphi_c = 10 \cdot 220 \cdot \cos 0^\circ + \\ + 11 \cdot 220 \cdot \cos 90^\circ + 22 \cdot 220 \cdot \cos 36,9^\circ = 6070,5 \text{ Вт.}$$

7. ПРИМЕР АНАЛИЗА ТРЁХФАЗНОЙ ЦЕПИ ПРИ ВКЛЮЧЕНИИ ФАЗ ПОТРЕБИТЕЛЯ ПО СХЕМЕ «ТРЕУГОЛЬНИК»

7.1. Графоаналитический метод

Пусть те же потребители, что и в первой задаче, включены по схеме треугольник (рис. 7.1) к той же трёхфазной линии электропередачи.

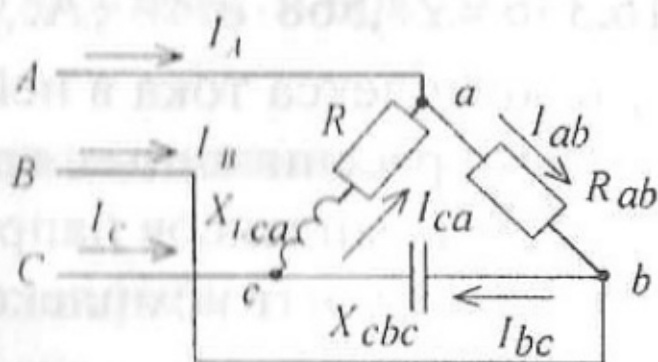


Рис. 7.1

Необходимо определить фазные и линейные токи и мощности P, Q, S .

Каждая фаза приемника включена на линейное напряжение и эти же напряжения являются фазными.

$$U_{\text{л}} = U_{ab} = U_{bc} = U_{ca} = 380 \text{ В.}$$

Поскольку напряжения фаз увеличились в $\sqrt{3}$ раз, то и фазные токи увеличатся во столько же раз:

$$I_{ab} = I_a \cdot \sqrt{3} = 10 \cdot \sqrt{3} = 17,3 \text{ А,}$$

$$I_{bc} = I_b \cdot \sqrt{3} = 19,1 \text{ А,}$$

$$I_{ca} = I_c \cdot \sqrt{3} = 38,2 \text{ А.}$$

Углы сдвига фаз между векторами токов и одноименными напряжениями останутся без изменения:

$$\varphi_{ab} = 0^\circ, \varphi_{bc} = -90^\circ, \varphi_{ca} = 36,9^\circ.$$

Линейные токи определяются как векторная разность двух фазных токов:

$$\bar{I}_A = \bar{I}_{ab} - \bar{I}_{ca};$$

$$\bar{I}_B = \bar{I}_{bc} - \bar{I}_{ab};$$

$$\bar{I}_C = \bar{I}_{ca} - \bar{I}_{bc}.$$

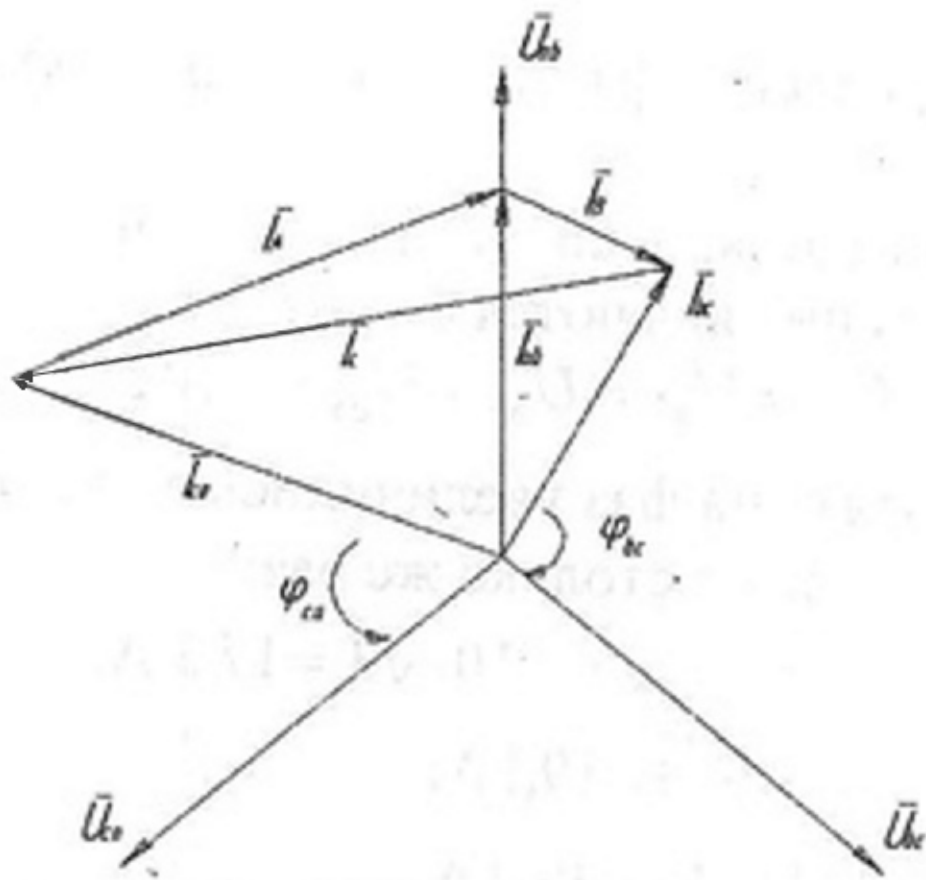


Рис. 7.2. Векторная диаграмма

Из векторной диаграммы:

$$I_A = 40; I_B = 10; I_C = 49 \text{ А.}$$

Так как напряжения и токи увеличились в $\sqrt{3}$ раз, то мощности увеличиваются в $\sqrt{3} \cdot \sqrt{3} = 3$ раза:

$$P = 6070,5 \cdot 3 = 18211,5 \text{ Вт; } Q = 486 \cdot 3 = 1458 \text{ ВАр;}$$

$$S = 6089,9 \cdot 3 = 18269,7 \text{ ВА.}$$

8. ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

8.1. В чем состоит преимущество трехфазной системы перед однофазной?

8.2. Напишите выражения для активной, реактивной и полной мощностей трехфазной системы.

8.3. Начертите схему включения трех приемников, соединенных по схеме в треугольник, и введите в нее измерительные приборы для измерения линейных и фазных токов и напряжений.

8.4. Какие существуют соотношения (для симметричной нагрузки) между фазными и линейными значениями напряжений и тока при соединении по схеме звездой и треугольником?

8.5. Какими уравнениями связаны линейные и фазные напряжения и токи для несимметричной нагрузки, соединенной звездой и треугольником?

8.6. Приведите формы представления комплексных чисел.

8.7. Какие арифметические действия можно производить с комплексными числами?

8.8. Какова роль нейтрального провода?

8.9. Записать первый закон Кирхгофа в векторной форме и в комплексной форме для действующих значений токов.

9.0. Пояснить суть графоаналитического метода.

9.1. Пояснить суть символического метода.

9.2. Порядок построения векторной диаграммы токов.

9.3. Построение векторной диаграммы токов, напряжений и треугольников мощностей на комплексной плоскости.

9. ВАРИАНТЫ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ ЗАДАНИЙ

Для электрической схемы, изображенной на рис. 9.1, по данным таблицы определить:

1. Действующие значения токов в линейных проводах и нейтральном проводе графоаналитическим и символическим методами.

2. Мощности P , Q , S , потребляемые трёхфазной нагрузкой.

3. Действующие значения линейных и фазных токов, если, не меняя величин сопротивлений фаз потребителей, переключить их по схеме «треугольник».

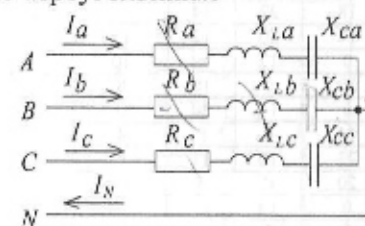


Рис. 9.1. Электрическая схема

Таблица

№ Вар.	$U_{\text{л}}$ В	R_a Ом	X_{La} Ом	X_{ca} Ом	R_b Ом	X_{Lb} Ом	X_{cb} Ом	R_c Ом	X_{Lc} Ом	X_{cc} Ом
1	220	5	8	6	10	0	0	10	10	8
2	220	10	7	10	0	8	0	5	6	12
3	220	8	10	12	0	0	10	15	20	10
4	220	7	10	10	15	0	0	0	8	12
5	220	15	16	0	0	12	0	15	0	17
6	220	20	0	12	10	5	0	20	30	0
7	220	15	10	5	20	10	10	0	14	20
8	220	0	20	10	0	0	20	10	20	30
9	220	20	12	10	5	8	0	0	15	12
10	220	25	15	0	10	20	10	10	0	5
11	220	35	20	12	5	10	0	0	0	10
12	220	5	20	0	10	5	20	13	0	10
13	220	18	6	5	0	10	18	8	0	0
14	220	0	8	18	5	12	0	25	12	0
15	220	12	0	10	6	5	0	20	10	0
16	220	14	12	0	6	12	0	0	20	0
17	220	30	0	10	20	0	10	20	12	0
18	220	7	11	0	15	20	0	5	6	0
19	220	15	10	0	14	0	10	12	8	5

Продолжение таблицы

№ Вар.	$U_{Л}$ В	R_a Ом	X_{La} Ом	X_{ca} Ом	R_b Ом	X_{Lb} Ом	X_{cb} Ом	R_c Ом	X_{Lc} Ом	X_{cc} Ом
20	220	17	8	9	10	5	0	0	10	0
21	220	12	0	10	5	8	10	0	0	12
22	220	0	0	15	0	10	0	14	16	0
23	220	6	10	8	4	20	0	20	8	0
24	220	0	0	20	10	20	0	12	0	20
25	127	8	10	20	10	0	0	12	20	0
26	127	10	18	22	14	0	20	0	20	10
27	127	0	14	20	12	10	0	8	10	10
28	127	20	0	12	6	10	0	10	7	20
29	127	15	12	0	10	8	20	12	16	0
30	127	5	0	14	20	0	8	10	0	9
31	127	12	14	6	0	4	10	12	16	8
32	127	8	23	10	11	6	0	4	10	0
33	127	0	20	0	5	10	0	0	12	0
34	127	24	0	10	12	20	0	12	6	8
35	127	15	8	0	12	7	10	4	0	6
36	127	14	12	0	14	10	5	13	6	8
37	127	30	12	8	25	10	14	0	10	0
38	127	32	0	10	17	5	12	10	0	4
39	127	27	8	15	0	10	14	0	12	7
40	127	10	6	4	8	0	4	6	0	15
41	127	8	0	12	4	10	15	0	10	0
42	127	5	12	0	0	12	3	16	4	0
43	127	0	0	10	12	4	0	14	3	0
44	127	8	5	7	4	8	0	15	0	0
45	127	10	5	0	3	10	7	0	0	5
46	127	12	8	0	4	15	0	0	18	4
47	127	16	5	4	12	7	0	12	6	0
48	127	7	0	2	18	6	0	10	10	5
49	127	10	8	20	0	10	0	0	20	12
50	220	18	10	22	0	14	20	10	20	0
51	220	14	0	20	10	12	0	10	10	8
52	220	0	20	12	10	6	0	20	7	10
53	220	12	15	0	8	10	20	0	16	12
54	220	0	5	14	0	20	8	9	0	10
55	220	14	12	6	4	0	10	8	16	12
56	220	23	8	10	6	11	0	0	10	4
57	220	20	0	0	10	5	0	0	12	0
58	220	0	24	10	20	12	0	8	6	12
59	220	8	15	0	7	12	10	6	0	4
60	220	12	14	0	10	14	5	8	6	13
61	220	12	30	8	10	25	14	0	10	0

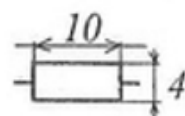
Окончание таблицы

№ Вар.	$U_{Л}$ В	R_a Ом	X_{La} Ом	X_{ca} Ом	R_b Ом	X_{Lb} Ом	X_{cb} Ом	R_c Ом	X_{Lc} Ом	X_{cc} Ом
62	220	0	32	10	5	17	12	4	0	10
63	220	8	27	15	10	0	14	7	12	0
64	220	6	10	4	0	8	4	15	0	6
65	220	0	8	12	10	4	15	0	10	0
66	220	12	5	0	12	0	3	0	4	16
67	220	0	0	10	4	12	0	0	3	14
68	220	5	8	7	8	4	0	0	0	15
69	220	5	10	0	10	3	7	5	0	0
70	220	8	12	0	15	4	0	4	18	0
71	220	5	16	4	7	12	0	0	6	12
72	220	8	5	6	0	10	0	8	10	10
73	220	7	10	10	8	0	0	12	6	5
74	220	10	8	12	0	0	10	10	20	15
75	127	10	7	10	0	15	0	12	8	0
76	127	16	15	0	12	0	0	14	0	15
77	127	0	20	12	5	10	0	0	30	20
78	127	10	15	5	10	20	10	20	14	0
79	127	20	0	10	0	0	20	30	20	10
80	127	12	20	10	8	5	0	12	15	0
81	127	15	25	0	20	10	10	5	0	20
82	127	20	35	12	10	5	0	10	0	0
83	127	20	5	0	5	10	20	10	0	13
84	127	6	18	5	10	0	18	0	0	8
85	127	8	0	18	12	5	0	0	12	25
86	127	0	12	10	5	6	0	0	10	20
87	127	12	14	0	12	6	0	0	20	0
88	127	0	30	10	0	20	10	0	12	10
89	127	11	7	0	20	15	0	0	6	5
90	127	10	15	0	0	14	10	5	8	12
91	127	8	17	9	5	10	0	0	10	0
92	127	0	12	10	8	5	10	12	0	0
93	127	0	0	15	10	0	0	0	16	14
94	127	10	6	8	20	4	0	0	8	20
95	127	0	0	20	20	10	0	20	0	12
96	127	20	14	0	10	10	20	5	10	15
97	127	0	30	20	0	5	10	12	0	20
98	127	14	0	15	0	12	0	0	16	15
99	127	12	8	0	0	0	15	10	10	7
100	127	10	20	15	10	0	0	12	10	8

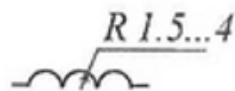
4. Построить векторные диаграммы напряжений и токов для обоих методов, а также построить треугольник сопротивлений на комплексной плоскости.

Приложение 1

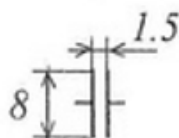
Условные графические обозначения в электрических схемах



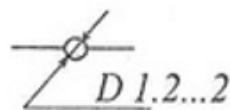
Резистор
(омическое сопротивление)



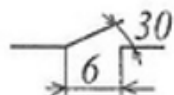
Индуктивность, обмотка трансформатора или электродвигателя



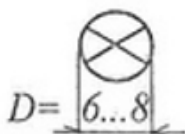
Конденсатор,
ёмкость



Контакт разборного соединения, узел электрической цепи



Рубильник,
контакт замыкающий



Лампа накаливания