

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА
Федеральное Государственное Бюджетное Образовательное Учреждение Высшего
Профессионального Образования
«МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ПУТЕЙ СООБЩЕНИЯ»
(МИИТ)

Кафедра: «Электрификация
и электроснабжение»

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА, ЭЛЕКТРОНИКА И ЭЛЕКТРОПРИВОД

Задание на контрольную работу №1 с методическими указаниями
по дисциплине для студентов-специалистов 3 курса
специальности: «Наземные транспортно-технологические средства»

специализации: «Подъемно-транспортные, строительные, дорожные средства и
оборудование»

Москва, 2013 г.

ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ

Контрольные задания имеют 100 вариантов, которые отличаются друг от друга схемами и числовыми значениями заданных величин. Вариант, подлежащий решению, определяется по двум последним цифрам шифра студента: по последней цифре выбирается номер схемы, а по предпоследней – номер числовых значений величин. Например, шифру 07-НС-21324 соответствует схема 4 и второй вариант числовых значений.

Требования к оформлению контрольной работы

1. Работа выполняется в отдельной тетради, на обложке которой указывают название дисциплины, курс, фамилию, имя, отчество, учебный шифр студента.

2. Писать следует на одной стороне листа или на двух при наличии широких полей для замечаний.

3. Условие задачи переписывается полностью.

4. Основные положения решения объясняют и иллюстрируют электрическими схемами, чертежами, векторными диаграммами и т.д., которые выполняют аккуратно с помощью чертежного инструмента. На электрических схемах показывают положительные направления токов.

5. Выдерживают следующий порядок записи при вычислениях: сначала приводят формулу, затем подставляют числовые значения величин, входящих в формулу без каких-либо преобразований, далее выполняют преобразования с числами, после этого записывают результат вычислений с указанием единиц измерения.

6. К работе прилагают перечень использованной литературы, в конце работы ставят дату и подпись.

7. Работы, выполненные не по своему варианту, а также написанные неразборчиво, не рецензируются.

8. Правильно выполненная контрольная работа возвращается к студенту с указанием "Допущен к зачету" и при необходимости с перечнем замечаний, которые студент должен исправить к зачету.

9. После получения отрецензированной работы студент должен исправить все ошибки и сделать требуемые дополнения. При большом количестве исправлений они делаются в конце работы.

ЗАДАНИЕ НА КОНТРОЛЬНУЮ РАБОТУ №1

ЗАДАЧА 1

РАСЧЕТ РАЗВЕТВЛЕННОЙ ЛИНЕЙНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЦЕПИ ПОСТОЯННОГО ТОКА С НЕСКОЛЬКИМИ ИСТОЧНИКАМИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

Для электрической цепи, вариант которой соответствует последней цифре учебного шифра студента и изображенной на рис. 2, выполнить следующее:

1. Составить уравнения для определения токов путем непосредственного применения законов Кирхгофа (указав, для каких узлов и контуров эти уравнения записаны). Решать эту систему уравнений не следует.

2. Определить токи в ветвях методом контурных токов.

3. Определить режимы работы активных элементов и составить баланс мощностей.

Значения ЭДС источников и сопротивлений приемников приведены в табл. 2.

Таблица 1

Параметры цепи (рис. 2)	Предпоследняя цифра учебного шифра студента									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
$E_1, \text{В}$	100	90	80	70	60	110	120	130	140	150
$E_2, \text{В}$	160	170	180	190	200	150	140	110	120	130
$R_1, \text{Ом}$	10	16	11	17	11	17	10	15	18	20
$R_2, \text{Ом}$	14	11	17	12	18	12	18	11	16	19
$R_3, \text{Ом}$	19	15	12	18	13	19	13	19	12	17
$R_4, \text{Ом}$	11	20	16	13	19	14	20	14	20	13
$R_5, \text{Ом}$	15	12	21	17	14	20	15	21	15	21
$R_6, \text{Ом}$	11	13	13	10	18	15	21	16	10	16

Теоретический материал и примеры расчета приведены в [1, §§ 1.11, 1.15; 2; 12].

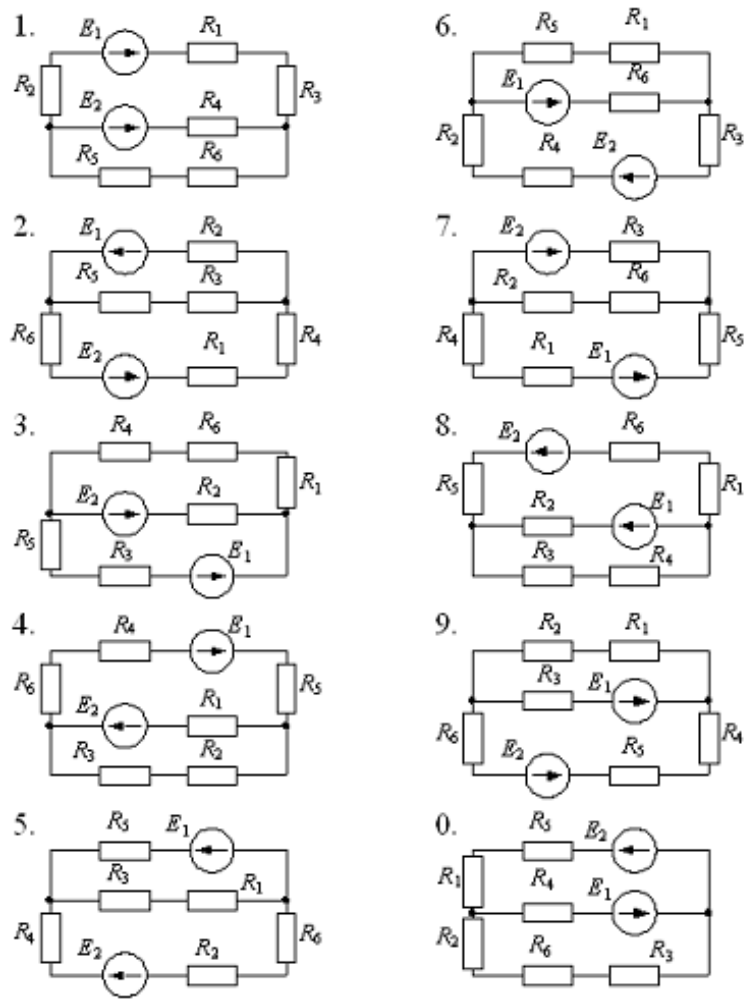


Рис. 1 (выбор схемы по последней цифре учебного шифра студента)

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ЗАДАЧЕ 1

Расчет линейной электрической цепи можно выполнить, составив систему уравнений по законам Кирхгофа. Для этого сначала выбирают положительное направление тока в каждой ветви. Это можно делать произвольно, но лучше воспользоваться следующей методикой: если в ветви есть источник ЭДС, то направление тока в ней считают совпадающим с направлением ЭДС; в ветвях без ЭДС ток направляют произвольно, учитывая, по возможности, первый закон Кирхгофа: *алгебраическая сумма токов в узле электрической цепи равна нулю*: $\sum I = 0$. Число независимых уравнений, составленных по первому закону Кирхгофа на единицу меньше числа узлов в схеме.

Остальные уравнения составляют по второму закону Кирхгофа для независимых контуров: *в любом замкнутом контуре электрической цепи алгебраическая сумма ЭДС равна алгебраической сумме напряжений на сопротивлениях, входящих в этот контур*:

$$\sum E = \sum IR$$

Перед составлением уравнений по второму закону Кирхгофа необходимо произвольно выбрать направление обхода контура (по или против движения часовой стрелки), причем направление обхода разных контуров могут быть различными. Для упрощения дальнейших

расчетов советуем выбирать направления обхода всех контуров одинаковыми по движению часовой стрелки.

Решать полученную систему уравнений не следует, так как существуют более экономичные методы определения токов в ветвях.

Одним из таких способов является метод контурных токов, согласно которому считают, что в каждом независимом контуре цепи течет свой ток, который обозначают I_{11} , I_{22} и т.д.

Для этих контурных токов записывают стандартную систему уравнений, которая для случая двух независимых контуров имеет вид:

$$\left. \begin{aligned} R_{11}I_{11} + R_{12}I_{22} &= E_{11} \\ R_{21}I_{11} + R_{22}I_{22} &= E_{22} \end{aligned} \right\}$$

где R_{11} , R_{22} – собственные сопротивления первого и второго контура, равные сумме всех сопротивлений, входящих в контур (всегда положительные);

$R_{12} = R_{21}$ – взаимные сопротивления первого и второго контуров, которые равны сопротивлению ветви, общей для этих двух контуров; взаимное сопротивление положительно, если контурные токи, протекающие через общую ветвь, имеют одинаковое направление и отрицательно при различных направлениях контурных токов (при выборе одинаковых направлений обхода всех контуров взаимное сопротивление всегда отрицательно);

E_{11} , E_{22} – контурные ЭДС, равные алгебраической сумме ЭДС, входящих в контур (если ЭДС совпадает с направлением обхода контура, то она берется со знаком "+", если не совпадает, то со знаком "-"). Нужно отметить, что если ЭДС находится в ветви, общей для двух контуров, то она будет входить и в E_{11} , и в E_{22} .

Решая полученную систему одним из известных способов, определяют контурные токи I_{11} и I_{22} , а затем по контурным токам находят действительные. В тех ветвях, где протекает только один контурный ток, действительный ток по величине и направлению совпадает с контурным. В ветвях, где протекает несколько контурных токов, действительный ток равен алгебраической сумме контурных токов.

Проверка расчета токов выполняется по балансу мощностей.

ЗАДАЧА 2

РАСЧЕТ РАЗВЕТВЛЕННОЙ ЛИНЕЙНОЙ ЦЕПИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Напряжение на зажимах цепи, вариант которой соответствует последней цифре учебного шифра студента и изображенной на рис. 2, изменяется по закону $u = U_m \sin \omega t$. Значение напряжения U , значения активных сопротивлений r_1, r_2, r_3 , индуктивностей катушек L_1, L_2, L_3 и емкостей конденсаторов C_1, C_2, C_3 приведены в табл. 2.

Частота питающего напряжения $f = 50$ Гц.

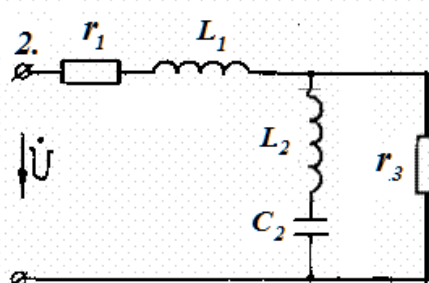
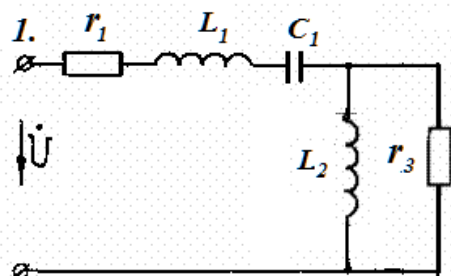
Требуется:

1. Определить комплексным методом действующие значения токов всех ветвей.
2. По полученным комплексным значениям токов ветвей записать выражения для их мгновенных значений.
3. Определить активную и реактивную мощности источника и приемников.
4. Составить баланс активных и реактивных мощностей и оценить погрешность расчета.
5. Построить векторную диаграмму токов и напряжений.

Таблица 2

Вариант	U, В	r_1 , Ом	L_1 , мГн	C_1 , мкФ	r_2 , Ом	L_2 , мГн	C_2 , мкФ	r_3 , Ом	L_3 , мГн	C_3 , мкФ
1	220	5	20	400	10	20	300	11	30	300
2	380	9	35	200	12	30	200	15	60	300
3	127	5	10	700	6	20	600	8	40	400
4	220	6	20	600	11	30	500	8	50	300
5	220	7	25	500	9	25	400	10	30	400
6	127	6	15	900	7	15	800	8	30	500
7	380	9	30	300	10	35	300	15	50	200
8	380	8	30	200	12	40	400	12	60	200
9	127	6	10	800	8	20	700	11	20	600
0	220	9	20	400	10	30	600	9	40	300

Теоретический материал и примеры расчета приведены в [3, §§2.9, 2.10; 4, §§2.1, 2.2, 2.4; 6, §§5, 10, 11; 7, §§3.2, 3.4].



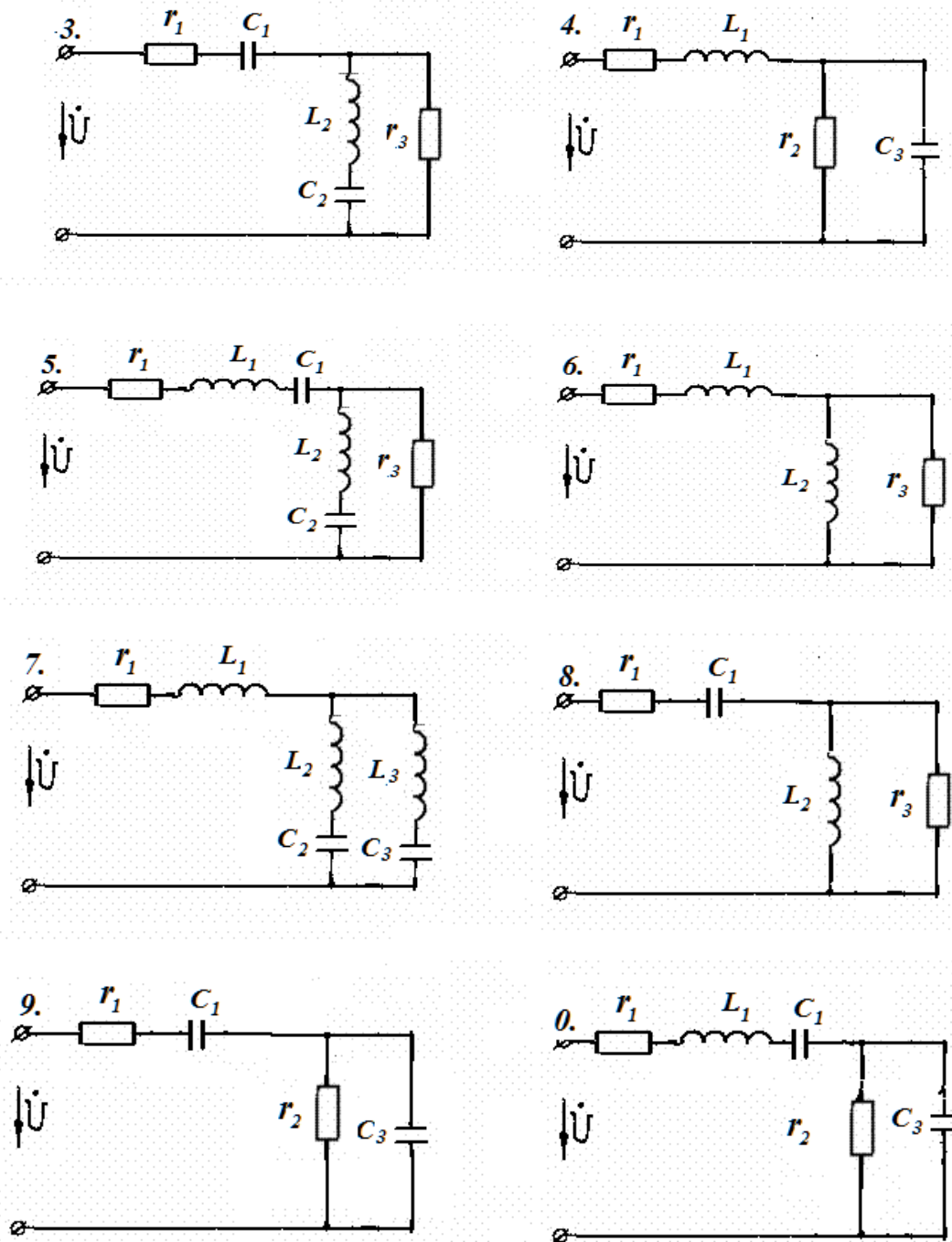


Рис. 2

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ЗАДАЧЕ 2

В комплексном методе расчёта электрических цепей синусоидального тока величины ЭДС, напряжений, токов, сопротивлений, проводимостей и мощностей представляют комплексными числами. При этом комплексные значения параметров, изменяющихся по гармоническому закону, обозначают соответствующими прописными буквами, над которыми ставят точку: $\dot{E}, \dot{U}, \dot{I}$. Для обозначения модулей этих величин применяют те же буквы, но без точек над ними E, U, I .

Комплекс полного сопротивления обозначают прописной буквой \underline{Z} , а комплекс полной проводимости – буквой \underline{Y} . Модули этих величин обозначают соответствующими строчными буквами Z и Y . Комплексные числа записываются в одной из следующих форм

$$\dot{A} = a + j \cdot b \quad \text{– алгебраическая форма;}$$

$$\dot{A} = A \cdot (\cos \alpha + j \cdot \sin \alpha) \quad \text{– тригонометрическая форма;}$$

$$\dot{A} = A \cdot e^{j\alpha} \quad \text{– показательная форма,}$$

где $A = \sqrt{a^2 + b^2}$ – модуль комплексного числа;

$$\alpha = \arctg(b / a) \quad \text{– аргумент комплексного числа;}$$

$$j = \sqrt{-1} \quad \text{– мнимая единица.}$$

Если напряжение и ток являются синусоидальными функциями времени

$$u = U_m \cdot \sin(\omega t + \psi_u);$$

$$i = I_m \cdot \sin(\omega t + \psi_i),$$

то эти величины в комплексной форме запишутся так

$$\dot{U} = U \cdot e^{j\psi_u} \quad \text{и} \quad \dot{I} = I \cdot e^{j\psi_i},$$

где $U = \frac{U_m}{\sqrt{2}}$ и $I = \frac{I_m}{\sqrt{2}}$ – действующие значения напряжения и тока.

Комплекс полного сопротивления участка цепи, состоящего из последовательно

включенных r, L и C ,
$$\underline{Z} = r + j\omega L - j\frac{1}{\omega C} = r + j \cdot \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right) = r + jx = z \cdot e^{j\varphi}$$

где $z = \sqrt{r^2 + x^2}$ – модуль комплексного сопротивления,

$$\varphi = \arctg(x / r) \quad \text{– аргумент комплексного сопротивления.}$$

Для расчёта цепей синусоидального переменного тока комплексным методом применяются все методы, известные из теории электрических цепей постоянного тока. Отличие состоит в том, что вместо действительных чисел, соответствующих токам, напряжениям и сопротивлениям в цепях постоянного тока, при расчёте цепей переменного тока используются комплексные числа. При умножении и делении комплексных чисел необходимо использовать показательную форму записи, а при сложении и вычитании – алгебраическую форму.

Пример. Для электрической цепи, заданной на рисунке 2.1 найти действующие значения токов и напряжений на всех участках цепи, активные, реактивные и полные мощности всей цепи и отдельных участков с проверкой баланса мощностей; построить векторную диаграмму токов и напряжений.

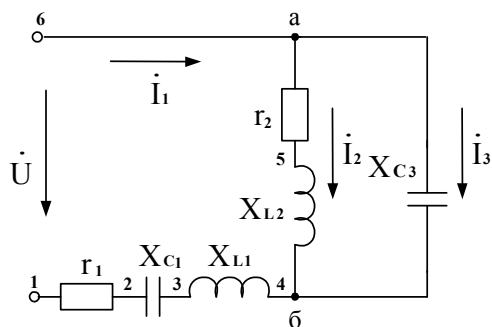


Рис. 2.1

Дано: $U = 380$ В, $r_1 = 6$ Ом, $X_{L1} = 12$ Ом, $X_{C1} = 4$ Ом,
 $r_2 = 10$ Ом, $X_{L2} = 8$ Ом, $X_{C3} = 6$ Ом.

Решение. Записываем комплексы сопротивлений ветвей

$$\underline{Z}_1 = r_1 + jX_{L1} - jX_{C1} = 6 + j8 = 10 \cdot e^{j53,1^\circ} \text{ Ом,}$$

$$\underline{Z}_2 = r_2 + jX_{L2} = 10 + j8 = 12,8 \cdot e^{j38,7^\circ} \text{ Ом,}$$

$$\underline{Z}_3 = -jX_{C3} = -j6 = 6 \cdot e^{-j90^\circ} \text{ Ом.}$$

Найдём комплекс полного сопротивления цепи

$$\underline{Z} = \underline{Z}_1 + \frac{\underline{Z}_2 \cdot \underline{Z}_3}{\underline{Z}_2 + \underline{Z}_3} = 9,6 \cdot e^{j7,9^\circ} \text{ Ом.}$$

Приняв $\dot{U} = U$, найдем токи и напряжения отдельных участков

$$\dot{I}_1 = \frac{\dot{U}}{\underline{Z}} = 39,6 \cdot e^{-j7,9^\circ} \text{ А}$$

$$\dot{U}_1 = \dot{I}_1 \cdot \underline{Z}_1 = 396 \cdot e^{j45,2^\circ} \text{ В,}$$

$$\dot{U}_{аб} = \dot{U} - \dot{U}_1 = 298,5 \cdot e^{-j70,2^\circ} \text{ В,}$$

$$\dot{I}_2 = \frac{\dot{U}_{аб}}{\underline{Z}_2} = 23,3 \cdot e^{-j108,9^\circ} \text{ А} \quad \dot{I}_3 = \frac{\dot{U}_{аб}}{\underline{Z}_3} = 49,8 \cdot e^{j19,8^\circ} \text{ А.}$$

Комплекс полной мощности источника $\underline{S} = \dot{U} \cdot \dot{I}_1^* = P + jQ$,

где $\dot{I}_1^* = 39,6 \cdot e^{j7,9^\circ} \text{ А}$ – комплексно-сопряженный ток.

Откуда $P = 14905$ Вт; $Q = 2068$ Вар.

Аналогично находят комплексы полных мощностей участков цепи $\underline{S}_1, \underline{S}_2$ и \underline{S}_3 , при этом должно выполняться равенство

$$\underline{S} = \underline{S}_1 + \underline{S}_2 + \underline{S}_3.$$

Для построения топографической диаграммы вычислим напряжения на всех элементах цепи:

$$\begin{aligned} \dot{U}_{r1} &= \dot{I}_1 \cdot r_1 = 39,6 \cdot e^{-j7,9^\circ} \cdot 6 = 237,6 \cdot e^{-j7,9^\circ} \text{ В}; \\ \dot{U}_{C1} &= \dot{I}_1 \cdot (-jX_{C1}) = 39,6 \cdot e^{-j7,9^\circ} \cdot 4 \cdot e^{-j90^\circ} = 158,4 \cdot e^{-j97,9^\circ} \text{ В}; \\ \dot{U}_{L1} &= \dot{I}_1 \cdot jX_{L1} = 39,6 \cdot e^{-j7,9^\circ} \cdot 12 \cdot e^{j90^\circ} = 475,2 e^{j82,1^\circ} \text{ В}; \\ \dot{U}_{L2} &= \dot{I}_2 \cdot jX_{L2} = 23,3 \cdot e^{-j108,9^\circ} \cdot 8 \cdot e^{j90^\circ} = 186,4 \cdot e^{-j18,9^\circ} \text{ В}; \\ \dot{U}_{r2} &= \dot{I}_2 \cdot r_2 = 23,3 \cdot e^{-j108,9^\circ} \cdot 10 = 233 \cdot e^{-j108,9^\circ} \text{ В}; \\ \dot{U}_{C3} &= \dot{I}_3 \cdot (-jX_{C3}) = 49,8 \cdot e^{j19,8^\circ} \cdot 6 \cdot e^{-j90^\circ} = 298,8 \cdot e^{-j70,2^\circ} \text{ В}. \end{aligned}$$

Задавшись масштабом, отложим на комплексной плоскости векторы токов \dot{I}_1, \dot{I}_2 и \dot{I}_3 (рис. 2.2). Сумма векторов токов \dot{I}_2 и \dot{I}_3 равна вектору тока \dot{I}_1 .

Примем потенциал точки 1 равным нулю $\dot{\phi}_1 = 0$ и поместим эту точку в начало координат. Затем определим комплексные потенциалы остальных точек, обходя схему навстречу положительному направлению токов.

Комплексный потенциал точки 2 равен $\dot{\phi}_2 = \dot{\phi}_1 + \dot{I}_1 \cdot r_1 = \dot{I}_1 \cdot r_1$. Построив из точки 1 вектор напряжения на резисторе r_1 (совпадает по направлению с током \dot{I}_1), получим на диаграмме точку 2.

Комплексный потенциал точки 3 - $\dot{\phi}_3 = \dot{\phi}_2 + \dot{I}_1 \cdot (-jX_{C1})$. Построив из точки 2 вектор $\dot{I}_1 \cdot (-jX_{C1})$ ёмкостного напряжения (по фазе отстаёт от тока \dot{I}_1 на 90°), получим на диаграмме точку 3.

Комплексный потенциал точки 4 - $\dot{\phi}_4 = \dot{\phi}_3 + \dot{I}_1 \cdot jX_{L1}$. Построив из точки 3 вектор индуктивного напряжения $\dot{I}_1 \cdot jX_{L1}$ (по фазе опережает ток \dot{I}_1 на 90°), получим точку 4. Аналогично определяем комплексные потенциалы точек 5 и 6.

Вектор, соединяющий точку 1 с точкой 6 и направленный из точки 1 к точке 6, изображает напряжение \dot{U} на зажимах цепи. Вектор, проведённый из начала координат в какую-либо точку диаграммы, изображает комплексный потенциал соответствующей точки цепи.

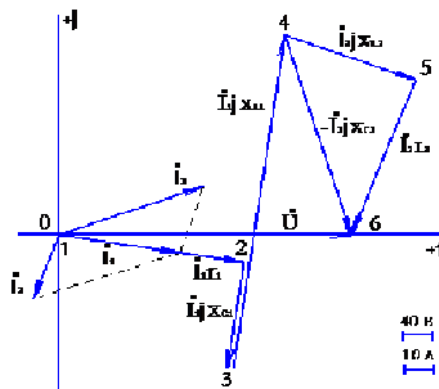


Рис. 2.2

ЗАДАЧА 3 РАСЧЕТ ТРЕХФАЗНОЙ ЦЕПИ

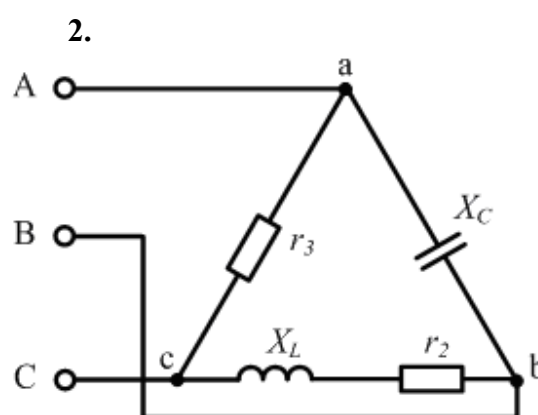
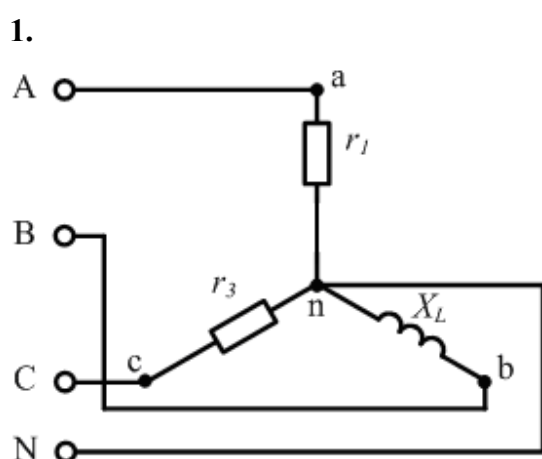
К трехфазному источнику подключен несимметричный трехфазный приемник (рис. 3). Значения линейного напряжения, сопротивлений резисторов и реактивных элементов цепи приведены в табл. 3.

Требуется:

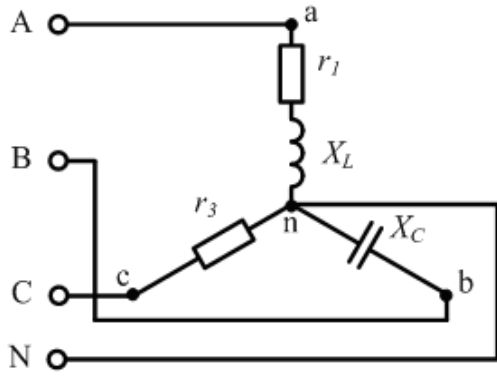
1. Определить фазные и линейные токи для заданной схемы соединения, а также ток в нейтральном проводе для схемы «звезда».
2. Определить активную, реактивную и полную мощности, потребляемые трехфазным приемником.
3. Построить в масштабе векторную диаграмму напряжений и на ней показать векторы токов.

Таблица 3

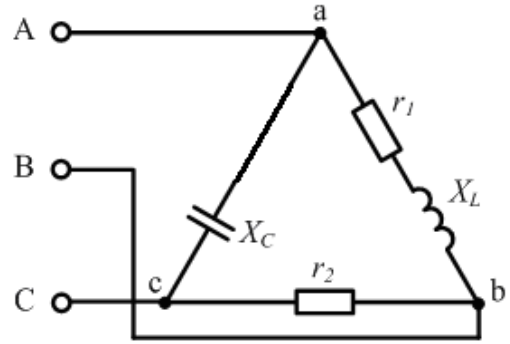
Предпоследняя цифра учебного шифра студента	$U_{л},$ В	$r_1,$ Ом	$r_2,$ Ом	$r_3,$ Ом	$X_L,$ Ом	$X_C,$ Ом
1	380	20	24	50	12	25
2	380	30	35	40	15	35
3	220	25	30	30	28	18
4	220	20	40	35	14	30
5	380	40	45	45	11	20
6	220	15	20	20	18	30
7	220	25	25	25	20	25
8	380	40	50	40	24	35
9	380	50	40	45	30	22
0	220	30	30	25	25	24



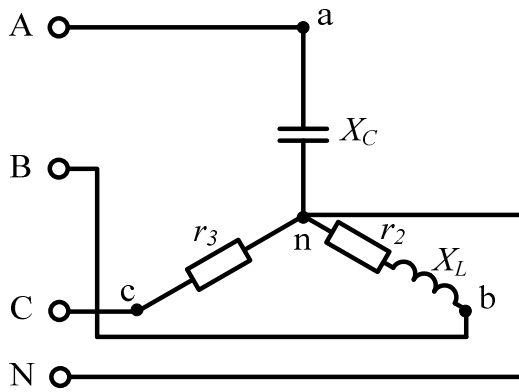
3.



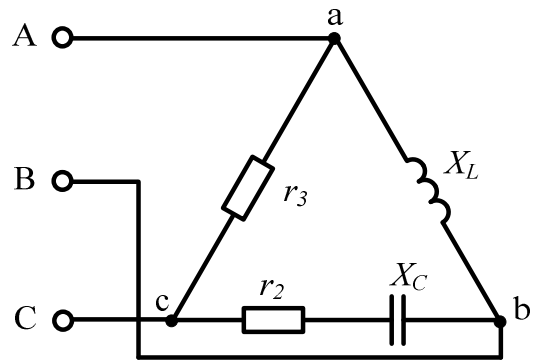
4.



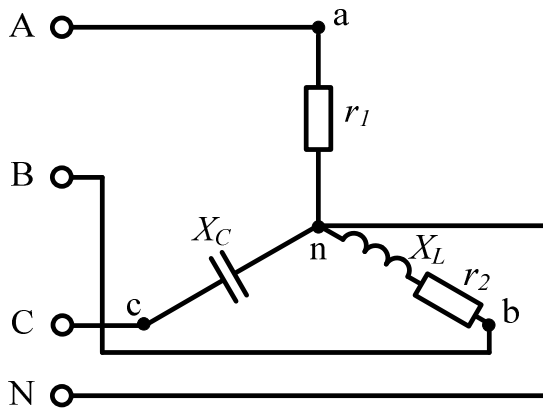
5.



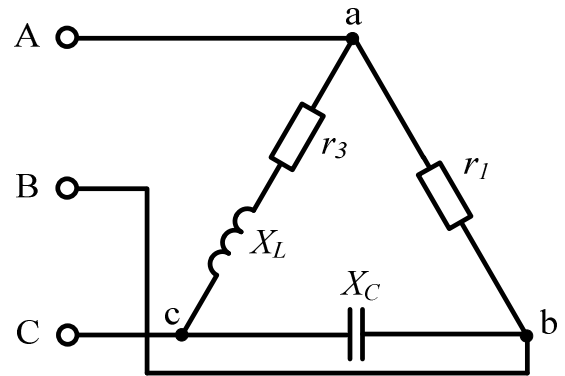
6.



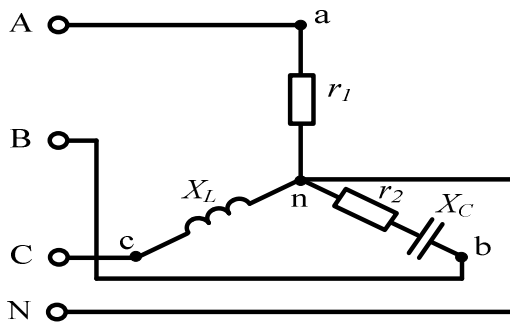
7.



8.



9.



0.

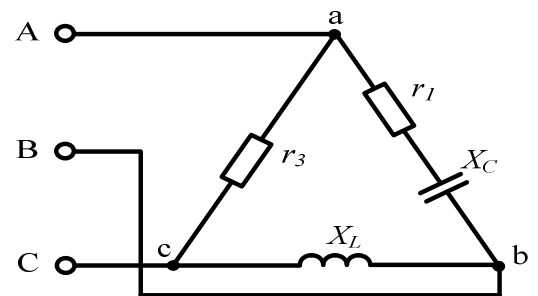


Рис. 3

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ЗАДАЧЕ 3

Трёхфазные системы синусоидального тока являются наиболее распространёнными системами электроснабжения. Теория трёхфазных цепей базируется на теории однофазных цепей синусоидального тока, однако, следует иметь в виду, что соотношения между напряжениями и токами в приёмнике зависят от схемы соединения его фаз.

При соединении приёмника *звездой с нейтральным (нулевым) проводом* к нему подводятся фазные $\dot{U}_A, \dot{U}_B, \dot{U}_C$ и линейные $\dot{U}_{AB}, \dot{U}_{BC}, \dot{U}_{CA}$ напряжения (рис. 2).

Если сопротивления линейных и нейтрального проводов пренебрежимо малы, то фазные напряжения приёмника $\dot{U}_a, \dot{U}_b, \dot{U}_c$ равны соответствующим фазным напряжениям источника $\dot{U}_A, \dot{U}_B, \dot{U}_C$ и в комплексной форме записываются так

$$\dot{U}_a = \dot{U}_A = U_\phi e^{j0^\circ}, \quad \dot{U}_b = \dot{U}_B = U_\phi e^{-j120^\circ} \quad \text{и} \quad \dot{U}_c = \dot{U}_C = U_\phi e^{+j120^\circ},$$

где U_ϕ – действующее значение фазного напряжения источника, которое можно определить по заданному линейному напряжению $U_\phi = U_\pi / \sqrt{3}$.

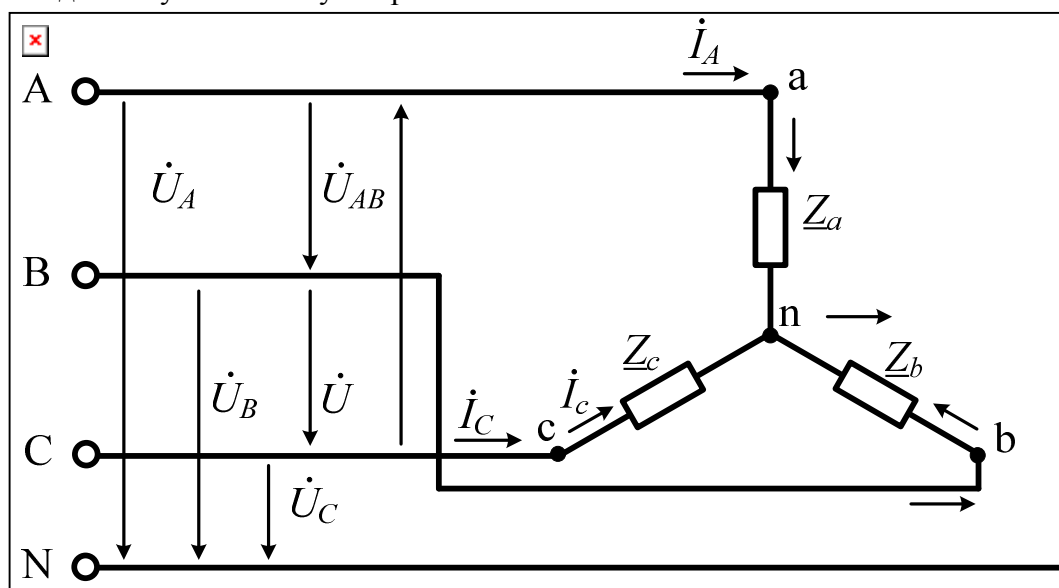


Рис. 4

Фазные токи в приёмнике $\dot{I}_a, \dot{I}_b, \dot{I}_c$ определяются по закону Ома

$$\dot{I}_a = \frac{\dot{U}_a}{\underline{Z}_a}, \quad \dot{I}_b = \frac{\dot{U}_b}{\underline{Z}_b}, \quad \dot{I}_c = \frac{\dot{U}_c}{\underline{Z}_c},$$

где $\underline{Z}_a = z_a e^{j\varphi_a}$, $\underline{Z}_b = z_b e^{j\varphi_b}$, $\underline{Z}_c = z_c e^{j\varphi_c}$ – комплексные сопротивления фаз приёмника.

Линейные токи при соединении приёмников звездой равны фазным токам

$$\dot{I}_A = \dot{I}_a, \quad \dot{I}_B = \dot{I}_b, \quad \dot{I}_C = \dot{I}_c.$$

Ток в нейтральном проводе I_N определяется в соответствии с первым законом Кирхгофа и равен сумме фазных токов

$$\dot{I}_N = \dot{I}_a + \dot{I}_b + \dot{I}_c.$$

Положительные направления всех фазных и линейных напряжений и токов при соединении приемников звездой с нейтральным проводом показаны на рис. 4.

На рис. 5 показана схема соединения фаз приемника **треугольником**.

При таком соединении сопротивление каждой фазы приемника Z_{ab} , Z_{bc} и Z_{ca} подключено на соответствующее линейное напряжение источника, поэтому эти же напряжения являются и фазными напряжениями приемника, т.е.

$$\dot{U}_{ab} = \dot{U}_{AB}, \quad \dot{U}_{bc} = \dot{U}_{BC}, \quad \dot{U}_{ca} = \dot{U}_{CA}.$$

Комплексные значения линейных напряжений рассчитываются по комплексам фазных напряжений

$$\dot{U}_{AB} = \dot{U}_A - \dot{U}_B = U_{\text{л}} e^{j30^\circ}, \quad \dot{U}_{BC} = \dot{U}_B - \dot{U}_C = U_{\text{л}} e^{-j90^\circ},$$

$$\dot{U}_{CA} = \dot{U}_C - \dot{U}_A = U_{\text{л}} e^{j150^\circ}.$$

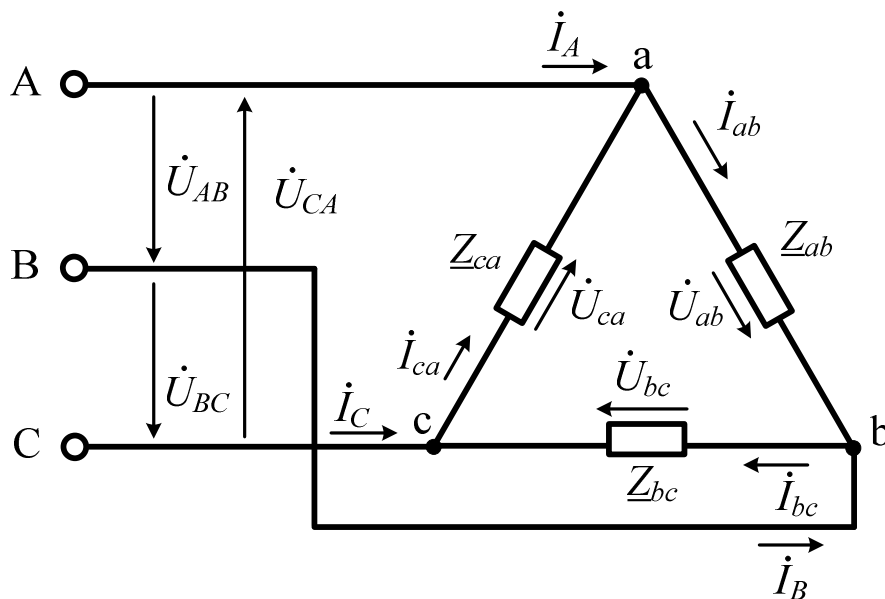


Рис. 5

Токи в фазах приемника рассчитываются по закону Ома

$$\dot{I}_{ab} = \frac{\dot{U}_{ab}}{Z_{ab}}, \quad \dot{I}_{bc} = \frac{\dot{U}_{bc}}{Z_{bc}}, \quad \dot{I}_{ca} = \frac{\dot{U}_{ca}}{Z_{ca}}.$$

Линейные токи определяются из уравнений, записанных по первому закону Кирхгофа для узлов a , b , c , т.е.

$$\dot{I}_A = \dot{I}_{ab} - \dot{I}_{ca}, \quad \dot{I}_B = \dot{I}_{bc} - \dot{I}_{ab}, \quad \dot{I}_C = \dot{I}_{ca} - \dot{I}_{bc}.$$

Положительные направления линейных и фазных напряжений и токов, соответствующие соединению приемников треугольником, показаны на рис. 3.

Активная мощность трехфазного приемника равна сумме активных мощностей фаз, т.е. $P_{\text{пр}} = P_a + P_b + P_c$ (при соединении звездой) или $P_{\text{пр}} = P_{ab} + P_{bc} + P_{ca}$ (при соединении треугольником).

Реактивная мощность трехфазного приемника определяется как алгебраическая сумма реактивных мощностей фаз – $Q_{\text{пр}} = Q_a + Q_b + Q_c$ (при соединении звездой) или $Q_{\text{пр}} = Q_{ab} + Q_{bc} + Q_{ca}$ (при соединении треугольником). Следует иметь ввиду, что при суммировании реактивная мощность индуктивных элементов берется со знаком плюс, а емкостных – со знаком минус.

Активная и реактивная мощности в каждой фазе трехфазного приемника определяются по тем же формулам, что и при расчете однофазных цепей: либо через квадраты модулей фазных токов, умноженных на соответствующие сопротивления фаз – ($P_{\phi} = I_{\phi}^2 r_{\phi}$ и $Q_{\phi} = I_{\phi}^2 x_{\phi}$), либо в комплексной форме – ($P_{\phi} = \text{Re}(\dot{U}_{\phi} I_{\phi}^*)$ и $Q_{\phi} = \text{Im}(\dot{U}_{\phi} I_{\phi}^*)$).

По найденным значениям $P_{\text{пр}}$ и $Q_{\text{пр}}$ записывается полная мощность трехфазного приемника в комплексной форме $\tilde{S}_{\text{пр}} = P_{\text{пр}} + jQ_{\text{пр}}$. Модуль этой мощности равен – $S_{\text{пр}} = \sqrt{P_{\text{пр}}^2 + Q_{\text{пр}}^2}$. Следует помнить, что при определении полной мощности несимметричного трехфазного приемника недопустимо суммировать модули полных мощностей отдельных фаз, т.е. $S_{\text{пр}} \neq S_a + S_b + S_c$ и $S_{\text{пр}} \neq S_{ab} + S_{bc} + S_{ca}$.

Построение векторной диаграммы напряжений трехфазной цепи при соединении приемников звездой с нейтральным проводом показано на рис. 4.

Оси координат комплексной плоскости направляют из точки 0: ось положительных действительных чисел (обозначено $+1$) – вертикально вверх, а ось положительных мнимых чисел – горизонтально влево (обозначено $+j$).

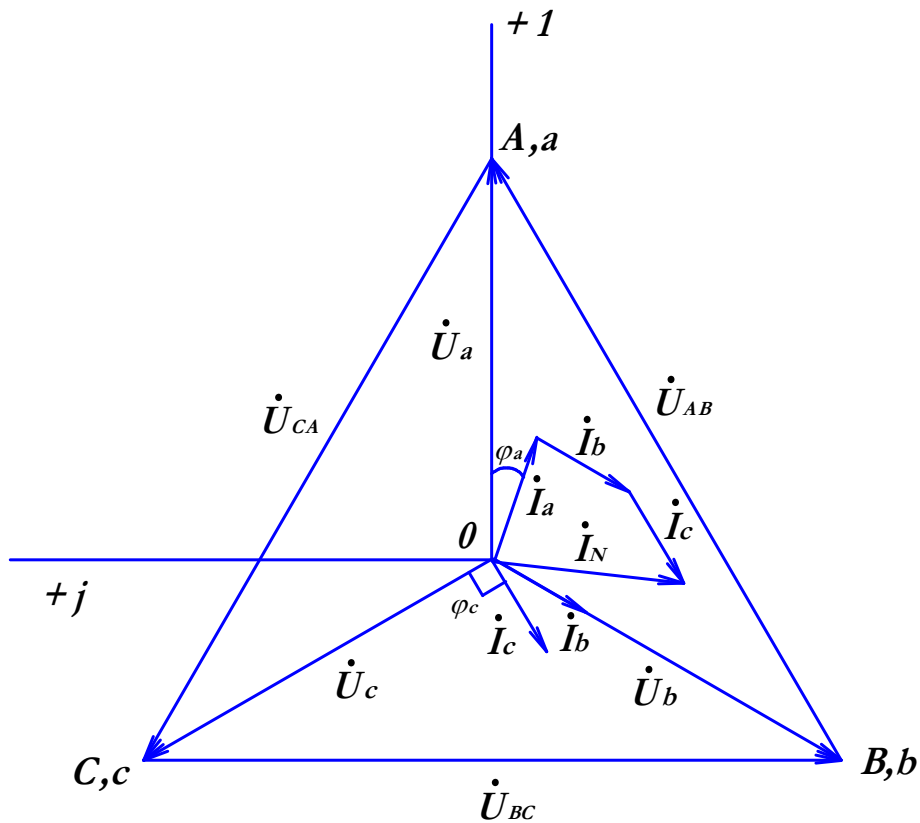


Рис. 6

Далее, в соответствии с комплексными значениями фазных напряжений \dot{U}_a , \dot{U}_b и \dot{U}_c , из начала координат откладывают их векторы: вектор напряжения \dot{U}_a будет совпадать с осью $+1$, т.к. аргумент (угол) комплекса напряжения фазы А равен нулю; вектор напряжения \dot{U}_b будет отставать от вектора \dot{U}_a на 120° (откладывается по направлению часовой стрелки), а вектор \dot{U}_c – опережать его на 120° (откладывается по направлению против часовой стрелки). Векторы линейных напряжений \dot{U}_{AB} , \dot{U}_{BC} и \dot{U}_{CA} , равные разности соответствующих фазных напряжений, получают посредством соединения концов векторов фазных напряжений \dot{U}_a , \dot{U}_b и \dot{U}_c . Положительное направление векторов фазных и линейных напряжений показано на рис. 4.

Вариант векторной диаграммы, изображенной на рис. 6, соответствует случаю, когда \underline{Z}_a имеет активно-индуктивный характер (\dot{I}_a отстает от \dot{U}_a на угол φ_a), \underline{Z}_b – чисто активное сопротивление (\dot{I}_b совпадает с \dot{U}_b), \underline{Z}_c – емкостное сопротивление (\dot{I}_c опережает \dot{U}_c на угол

90°). Вектор тока в нейтральном проводе \dot{I}_N равен геометрической сумме векторов фазных токов \dot{I}_a , \dot{I}_b и \dot{I}_c .

При соединении приемников треугольником построение векторной диаграммы начинают с векторов линейных напряжений \dot{U}_{ab} , \dot{U}_{bc} и \dot{U}_{ca} , образующих равносторонний треугольник (рис. 7). Затем из вершин b , c , a , полученного треугольника, откладывают соответственно векторы фазных токов \dot{I}_{ab} , \dot{I}_{bc} и \dot{I}_{ca} . Векторы линейных токов \dot{I}_A , \dot{I}_B и \dot{I}_C находят построением на основании первого закона Кирхгофа.

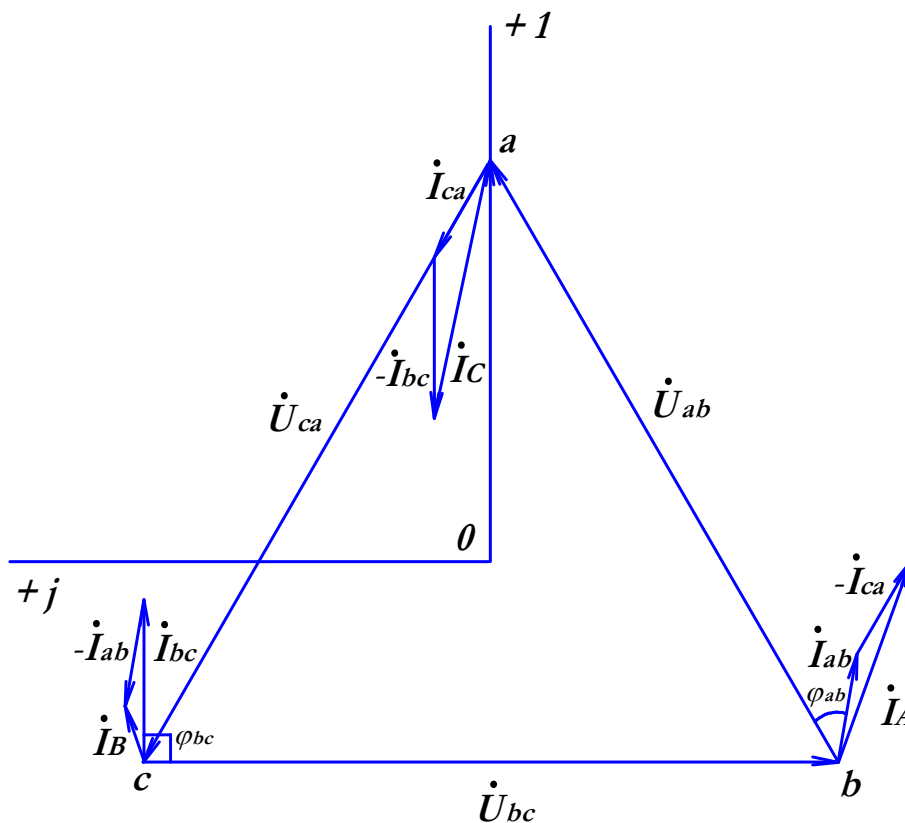


Рис.7.

Векторная диаграмма, показанная на рис. 5 соответствует случаю, когда сопротивление Z_{ab} – активно-индуктивное (\dot{I}_{ab} отстает от \dot{U}_{ab} на угол φ_{ab}), Z_{bc} – емкостное (\dot{I}_{bc} опережает \dot{U}_{bc} на угол 90°), Z_{ca} – чисто активное сопротивление (\dot{I}_{ca} совпадает с \dot{U}_{ca}).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Касаткин А.С., Немцов М.В. Электротехника. М.: Высшая школа, 2005.
2. Сатаров А.А. Электротехника и электроника. Линейные электрические цепи постоянного тока: Учебное пособие. М.: РГОТУПС, 2006.
3. Климентов Н.И. Электротехника. Линейные электрические цепи однофазного переменного тока: Конспект лекций. М.: РГОТУПС, 2001.
4. Сатаров А.А., Гадулин А.Н. Электротехника. Трехфазные цепи: Конспект лекций. М.: РГОТУПС, 2000.
5. Рекус Г.Г. Основы электротехники и электроники в задачах с решениями. М.: Высшая школа, 2007.