

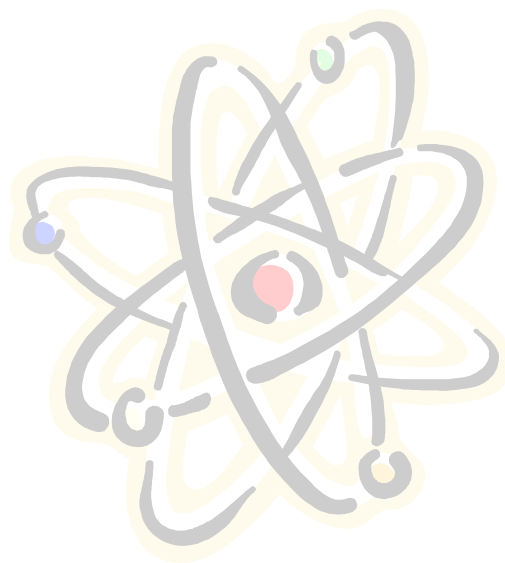
МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РФ

**ГОУСПО МО «ЧЕХОВСКИЙ МЕХАНИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ТЕХНИКУМ
МОЛОЧНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ»**

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА И ЭЛЕКТРОНИКА

**Методические указания по выполнению контрольной работы и контрольные задания
для студентов-заочников образовательных учреждений среднего профессионального
образования по специальности:**

№ 151031 «Монтаж и техническая эксплуатация промышленного оборудования»



2013 г.

Методические указания разработаны на основе примерной учебной программы дисциплины «ЭЛЕКТРОТЕХНИКА И ЭЛЕКТРОНИКА», утверждённой Министерством образования РФ

Рассмотрено на заседании предметной комиссии спец.дисциплин механического цикла

Протокол № от г.

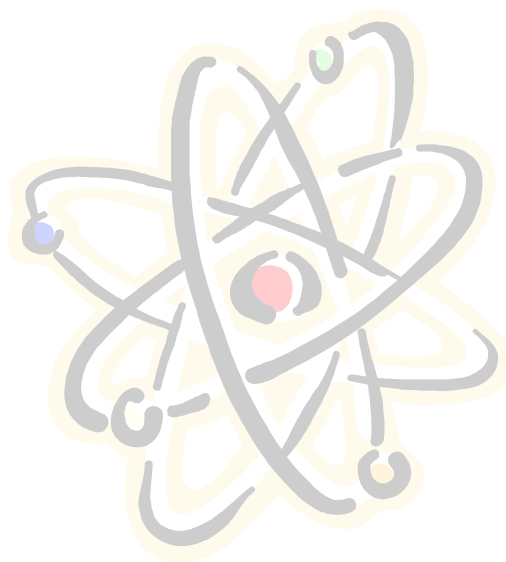
Председатель предметной комиссии



Составитель: **Зинакова Вера Александровна** – преподаватель Чеховского механико-технологического техникума.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ОБЩИЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ.....	4
РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА	5
ПРИМЕРНАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ С ПЕРЕЧНЕМ РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....	6
МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ (с примерами решений)	7
ПРИМЕРНЫЙ ПЕРЕЧЕНЬ ЛАБОРАТОРНО-ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ	21
ВАРИАНТЫ КОНТРОЛЬНЫХ ЗАДАНИЙ.....	22
ВОПРОСЫ К ЭКЗАМЕНУ	30



ОБЩИЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

«Электротехника и электроника» является важным общетехническим предметом. Изучение электротехники должно базироваться на знаниях учащимися физики, математики, химии. Тесная связь между этими предметами позволяет сформировать научное мировоззрение на электрические явления в природе.

Учебная программа по «электротехнике и электронике» предусматривает изучение физических явлений и процессов, происходящих в электрических и магнитных полях и цепях, рассматривает методы расчета линейных и нелинейных электрических и магнитных цепей постоянного и переменного, синусоидального и несинусоидального токов, трехфазных цепей, переходные процессы; устройство, применение и принцип действия электротехнических устройств, электронных, ионных и полупроводниковых приборов; знакомит с электроизмерительной аппаратурой и средствами измерений и другие вопросы.

Все знания и умения, полученные обучающимися при изучении электротехники, найдут применение при решении электротехнических задач в процессе изучения специальных предметов, а также в процессе практической работы при наладке, ремонте, установки и эксплуатации различного электрооборудования и электротехнических устройств.

Изучать курс электротехники необходимо в строгом порядке, предусмотренном программой. Это обеспечит систематичность получаемых знаний и логическую связь между различными разделами и темами предмета.

Изучение учебного материала должно предшествовать выполнению контрольной работы. Следует придерживаться такой последовательности изучения материала: ознакомиться с содержанием программы и подобрать рекомендуемую учебную литературу; изучить материал каждой темы задания, разобраться в основных понятиях, определениях, законах, правилах, следствиях и их логической взаимосвязи.

После того, как материал задания изучен, можно приступить к выполнению контрольной работы. Задачи контрольной работы даны в последовательности тем программы и поэтому должны решаться постепенно, по мере изучения материала.

Задачи составлены в соответствии с программой курса по дисциплине «Электротехника и электроника», утвержденной Управлением учебных заведений среднего профессионального образования Минобрнауки России.

Контрольная работа содержит четыре задания. Вариант для каждого студента индивидуален. Номер варианта определяется последней цифрой номера личного дела (шифра) студента.

Контрольная работа выполняется в отдельной тетради, желательно в клетку. Условие задачи надо переписывать полностью и начинать решение необходимо с краткого перечня исходных данных и искомых величин. Необходимо оставлять поля шириной 20-25мм для замечаний рецензента. Формулы и расчеты выполняют чернилами, а чертежи схем выполняются карандашом, на графиках и векторных диаграммах указывают масштаб. Исходные данные и искомые величины выражаются в Международной системе единиц (СИ). Электрические схемы должны быть вычерчены в условных обозначениях, определенных стандартом.

Ход решения каждой задачи должен сопровождаться краткими пояснениями, т.е. следует указать, какие формулы применяются при решении задачи.

В заключении необходимо указать список литературы, используемой студентом при выполнении контрольной работы.

После получения работы с оценкой и замечаниями преподавателя надо исправить отмеченные ошибки и повторить недостаточно усвоенный материал. После получения незачтенной работы студент должен в той же тетради выполнить ее снова по старому или новому варианту (в зависимости от указаний преподавателя) и предоставить работу на повторное рецензирование.

В случае возникновения затруднений при выполнении контрольной работы студент может обратиться в техникум для консультации.

Учебными планами заочного обучения предусмотрено выполнение обучающимися нескольких лабораторно-практических заданий. Эти работы выполняются в период учебно-экзаменационной сессии. К этим работам учащиеся допускаются после сдачи контрольной работы. К сдаче экзамена допускаются студенты, которые имеют зачет по контрольным и лабораторным работам.



РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Данилов И.А., Иванов П.М. Общая электротехника с основами электроники. – М.: Высшая школа, 1983.
2. Попов В.С., Николаев С.А. Общая электротехника с основами электроники. – М.: Энергия, 1972.
3. Евдокимов Ф.Е. Общая электротехника. – М.: Высшая школа, 1990.
4. Березкина Т.Ф., Гусев Н.Г., Масленников В.В.. Задачник по общей электротехнике с основами электроники. – М.: Высшая школа, 1983.
5. Константинов В.И., Симонов А.Ф. Сборник практических примеров и задач по общей электротехнике. – М.: Высшая школа, 1982.
6. Лебедев Н.Н., Леви С.С. Электротехника и электрооборудование. – М.: Высшая школа, 1974.
7. Лоторейчук Е.А. Теоретические основы электротехники. – М.: ИД «ФОРУМ» - ИНФРА-М, 2008.
8. Морозова Н.Ю.. Электротехника и электроника. – М.: Академия, 2007.

ПРИМЕРНАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ С ПЕРЕЧНЕМ РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

Раздел 1. Электротехника.

Тема 1.1. Электрическое поле.

Литература: Л-1, гл.1; Л-2, гл.1; Л-4, гл.1.

Тема 1.2. Электрические цепи постоянного тока.

Литература: Л-1, гл. 2; Л-2, гл. 2; Л-4, гл.2.

Тема 1.3. Электромагнетизм.

Литература: Л-1, гл.3; Л-2, гл.3.

Тема 1.4. Электрические цепи переменного тока.

Литература: Л-1, гл.4, 5; Л-2, гл. 5, 6; Л-4, гл.4, 5.

Тема 1.5. Трехфазные электрические цепи.

Литература: Л-1, гл.6; Л-2, гл.7; Л-4, гл.6.

Тема 1.6. Электрические измерения.

Литература: Л-1, гл.11; Л-2, гл.8

Тема 1.7. Трансформаторы.

Литература: Л-1, гл.7; Л-2, гл.9; Л-4, гл.7.

Тема 1.8. Электрические машины постоянного тока.

Литература: Л-1, гл.9; Л-2, гл.4; Л-4, гл.9.

Тема 1.9. Электрические машины переменного тока.

Литература: Л-1, гл.8; Л-2, гл.10; Л-4, гл. 10.

Тема 1.10. Основы электропривода.

Литература: Л-1, гл.13; Л-2, гл.11

Тема 1.11 Передача и распределение электрической энергии.

Литература: Л-2 гл.12; Л-8 гл.15.

Раздел 2. Электроника.

Тема 2.1 Электронные приборы.

Литература: Л-1, гл.14, 15, 16; Л-2, гл.13, 14, 15, 17.

Тема 2.2 Электронные усилители.

Литература: Л-2, гл.14; Л-1 гл.19.

Тема 2.3. Электронные генераторы и измерительные приборы.

Литература: Л-2 гл.15; Л-1 гл.20.

Тема 2.4 Электронные выпрямители.

Литература: Л-2 гл.13; Л-1 гл.18.

Тема 2.5. Фотоэлементы.

Литература: Л-1, гл.17; Л-2, гл.18.

Тема 2.6. Интегральные микросхемы.

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ (с примерами решений)

В рекомендованной литературе студенты найдут достаточное число примеров решения задач, подобных тем, которые включены в контрольное задание. Ниже будут даны необходимые краткие методические указания к решению задач контрольной работы и примеры решения задач.

Решение **задачи 1** требует знания **темы 1,2. Электрические цепи постоянного тока**: закона Ома для участка цепи, свойств последовательного и параллельного соединения резисторов и первого закона Кирхгофа. Расчет электрической цепи с одним источником и смешанным соединением резисторов методом свертывания проводится в следующей последовательности.

1. На схеме отмечаются все токи и узловые точки.
2. Группы резисторов с явно выраженным последовательным или параллельным соединением заменяются эквивалентными, и определяются их сопротивления. Общее (эквивалентное) сопротивление $R(\text{Ом})$ последовательно включенных сопротивлений (потребителей) равно сумме этих сопротивлений: $R = R_1 + R_2 + R_3$. Обратная величина общего (эквивалентного) сопротивления R параллельно включенных потребителей равна сумме обратных величин сопротивлений этих потребителей:
 $1/R = 1/R_1 + 1/R_2 + 1/R_3$.
3. Замена производится до получения простейшей схемы, для которой элементарно определяется общее (эквивалентное) сопротивление всей цепи.
По заданному напряжению источника и вычисленному общему сопротивлению всей цепи определяется ток в неразветвленной части цепи (общий ток), используя закон Ома для замкнутой цепи: $I_{\text{общ.}} = U_{\text{AB}} / R_{\text{общ.}}$. Если задано напряжение или ток на каком-нибудь резисторе, то производится расчет цепи с этого участка.
4. Определяются падения напряжения на участках цепи и ток каждого резистора. Индексы токов в ветвях удобно употреблять такими же, как и номер резистора на этом участке.
5. Мощность электрической цепи определяется произведением напряжения всей цепи и общего тока: $P = U \cdot I \text{ (Вт)}$.
6. Расход электрической энергии при работе электрической цепи за t часов определяется произведением мощности электрической цепи на время работы: $W = P \cdot t \text{ (кВт·ч)}$.

Расчет цепи методом свертывания рассмотрим на примере **1.1**.

Пример 1.1. Для схемы, приведенной на **рис.1.1.**, при заданных сопротивлениях всех потребителей цепи и напряжении U_{AB} определить токи всех потребителей и напряжения, приложенные к каждому потребителю.

Решение.

1. В рассматриваемой цепи (**рис.1.1.**) определяются группы потребителей, соединенных последовательно и параллельно. Определяются эквивалентные сопротивления участков, а схема при этом «свертывается»

Очевидно, резисторы R_2 и R_3 соединены последовательно, поэтому, используя свойства последовательного соединения резисторов, получим:
 $R_{2,3} = R_2 + R_3$.

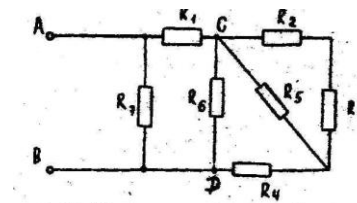


Рис.1.1.

Схема примет вид (рис.1.1б).

Резисторы $R_{2,3,5}$ и R_4 соединены последовательно, поэтому

$$R_{2,3,4,5} = R_{2,3,5} + R_4.$$

Схема имеет вид (рис.1.1в).

Резисторы R_6 и $R_{2,3,4,5}$ соединены параллельно, поэтому

$$R_{2,3,4,5,6} = R_6 \cdot R_{2,3,4,5} / (R_6 + R_{2,3,4,5}).$$

Схема примет вид (рис.1.1г):

Резисторы R_1 и $R_{2,3,4,5,6}$ соединены последовательно, поэтому

$$R_{1,2,3,4,5,6} = R_1 + R_{2,3,4,5,6}.$$

И схема принимает вид (рис.1.1д).

Дальнейшее упрощение схемы не нужно.

Находим $R_{\text{общ}}$.

$$R_{\text{общ}} = R_7 \cdot R_{1,2,3,4,5,6} / (R_7 + R_{1,2,3,4,5,6}).$$

2. Находим общий ток, протекающий в неразветвленной части цепи, воспользовавшись законом Ома для замкнутой цепи:

$$I_{\text{общ}} = U_{AB} / R_{\text{общ}}.$$

3. Третий пункт решения задачи сводится к нахождению токов и напряжений на отдельных участках. Эта часть задачи сводится к решению нескольких простейших задач. Количество этих задач равно количеству схем, которые появились в результате упрощения исходной схемы; в нашем примере таких схем, включая исходную, шесть (рис.1.1, а, б, в, г, д)

Нахождение токов и напряжений на участках цепи нужно начинать с последней схемы (рис.1.1д). Если проанализировать данные по этой схеме, то нам известно напряжение, приложенное к резисторам R_7 и $R_{1,2,3,4,5,6}$ и сопротивление каждой параллельной ветви, поэтому по закону Ома для участка цепи мы можем найти токи в ветвях:

$$I_7 = U_{AB} / R_7; \quad I_{1,2,3,4,5,6} = U_{AB} / R_{1,2,3,4,5,6}.$$

В схеме (рис.1.1д) мы определили токи и напряжения в каждом резисторе, поэтому начинаем расчет следующей схемы (рис.1.1г), т.е. определим токи и напряжения на каждом резисторе этой схемы. Ток и приложенное напряжение на R_7 известны, значит ток, протекающий по ветви с резисторами R_1 и $R_{2,3,4,5,6}$, так же будет известен:

$$I_{1,2,3,4,5,6} = I_1 = I_{2,3,4,5,6},$$

так как резисторы соединены последовательно (рис.1.1г), поэтому нам остается найти напряжение U_1 и $U_{2,3,4,5,6}$.

$$U_1 = I_1 \cdot R_1; \quad U_{2,3,4,5,6} = I_{2,3,4,5,6} \cdot R_{2,3,4,5,6}.$$

Расчет схемы (рис.1.1г) закончен, так как мы знаем токи и напряжения на каждом резисторе этой схемы.

Рассчитаем параметры схемы (рис.1.1в). В этой схеме определяем токи I_6 и $I_{2,3,4,5}$, так как все остальные токи и напряжения известны. Напряжения на резисторах R_6 и $R_{2,3,4,5}$ будут одинаковые, так как соединены они параллельно.

$$U_{2,3,4,5,6} = U_{2,3,4,5} = U_6.$$

Определим на них токи по закону Ома.

$$I_6 = U_6 / R_6; \quad I_{2,3,4,5} = U_{2,3,4,5} / R_{2,3,4,5}.$$

Расчет схемы (рис.1.1в) закончен. Переходим к расчету схемы (рис.1.1б). В этой схеме неизвестны напряжения U_4 и $U_{2,3,5}$, а токи $I_4 = I_{2,3,5} = I_{2,3,4,5}$, так как резисторы соединены последовательно. Вычислим напряжения:

$$U_4 = I_4 \cdot R_4; \quad U_{2,3,5} = I_{2,3,5} \cdot R_{2,3,5}.$$

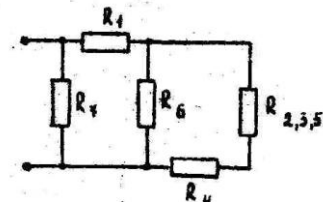


Рис.1.1б.

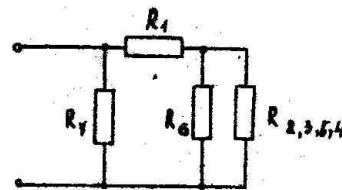


Рис.1.1в.

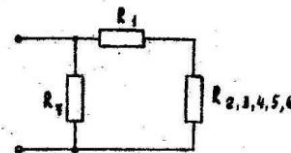


Рис.1.1г.

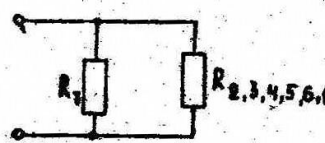


Рис.1.1д.

Рассчитываем схему (рис.1.1а) . В этой схеме нужно найти I_5 и $I_{2,3}$. Из свойств параллельного соединения резисторов следует, что $U_5 = U_{2,3} = U_{2,3,5}$. По закону Ома вычислим токи:

$$I_5 = U_5 / R_5 ; \quad I_{2,3} = U_{2,3} / R_{2,3} .$$

Произведем расчет исходной схемы (рис.1.1.). В этой схеме нам не известно только напряжение на резисторах R_2 и R_3 . Ток, протекающий через эти резисторы будет одинаков и известен $I_2 = I_3 = I_{2,3}$, так как соединены резисторы последовательно. Вычислим напряжения.

$$U_2 = I_2 \cdot R_2 ; \quad U_3 = I_3 \cdot R_3 .$$

Таким образом, определены токи и напряжения всех включенных в цепь потребителей (рис.1.1).

Пример 1.2 Условие предыдущей задачи. Известен ток I_6 на резисторе R_6 . Определить токи и напряжения на остальных потребителях.

Решение.

Определять общее сопротивление цепи нужно, упрощая исходную схему так же, как и в предыдущем примере.

Начинать расчет схемы, то есть, найти токи и напряжения каждого резистора, нужно с упрощенной схемы (рис.1.1в) . Проведем расчет цепи слева от R_6 .

По закону Ома найдем U_6 и $I_{2,3,4,5}$;

$$U_6 = I_6 \cdot R_6$$

Если R_6 и $R_{2,3,4,5}$ соединены параллельно, то

$$U_6 = U_{2,3,4,5} = U_{2,3,4,5,6} ;$$

$$I_{2,3,4,5} = U_{2,3,4,5} / R_{2,3,4,5} ;$$

$$I_1 = I_6 + I_{2,3,4,5} ;$$

$$U_{AB} = U_1 + U_{2,3,4,5,6} = U_7 ;$$

$$I_7 = U_{AB} / R_7 .$$

Общий ток в неразветвленной части цепи можно определить, воспользовавшись первым законом Кирхгофа:

$$I_{общ.} = I_7 + I_1 .$$

Теперь можно провести расчет цепи справа от R_6 .

Резисторы R_4 и $R_{2,3,5}$ на схеме (рис.1.1в) соединены последовательно, значит $I_4 = I_{2,3,5} = I_{2,3,4,5}$, найдем напряжения

$$U_4 = I_4 \cdot R_4 ; \quad U_{2,3,5} = I_{2,3,5} \cdot R_{2,3,5} .$$

Рассчитаем схему (рис.1.1.б):

$$U_5 = U_{2,3} = U_{2,3,5} ;$$

$$I_5 = U_5 / R_5 ; \quad I_{2,3} = U_{2,3} / R_{2,3} ;$$

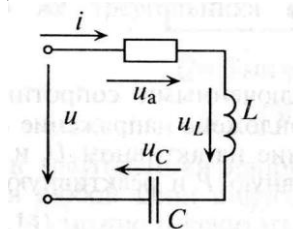
$$I_2 = I_3 = I_{2,3} ;$$

$$U_2 = I_2 \cdot R_2 ; \quad U_3 = I_3 \cdot R_3 .$$

На этом расчет цепи закончен.

Задача 2 относится к разветвленным цепям переменного тока. Для ее решения требуется знание темы 1.4. Электрические цепи переменного тока и навык построения векторных диаграмм. Решать задачу рекомендуется в следующей последовательности:

1. Отметить на схеме токи в ветвях и неразветвленной части цепи.
2. Вычислить токи в ветвях I_1 и I_2 , воспользовавшись законом Ома для неразветвленных цепей переменного тока (рис.2.1.):



$I=U/Z$, где Z - полное сопротивление ветви вычисляется из треугольника сопротивлений (рис.2.1 б): $Z= \sqrt{R^2+ (X_L - X_C)^2}$, где X_L – индуктивное и X_C –емкостное сопротивление ветви.

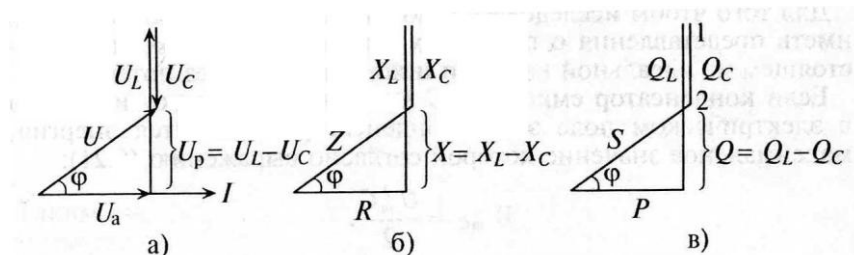


Рис.2.1.

3. Определить активную и реактивную составляющие токов в ветвях.

Для расчета разветвленных цепей синусоидального тока вводятся расчетные величины активного и реактивного токов цепи. Если к цепи, содержащей активное сопротивление R и реактивное (X_L или X_C), приложено синусоидальное напряжение, то синусоидальный ток в цепи, вызванный этим напряжением, отстает (если в цепи X_L) или опережает (если в цепи X_C) его на угол ϕ . Векторная диаграмма для разветвленной цепи изображена на рис.2.2.:



Токи в ветвях I_1 и I_2 раскладывается на две составляющие, одна из которых I_a совпадает по фазе с напряжением, другая I_p – сдвинута на 90° . Составляющая тока I_a , совпадающая по фазе с напряжением, называется активной составляющей, или активным током. Составляющая тока I_p , имеющая относительно сдвиг по фазе на угол 90° , называется реактивной составляющей, или реактивным током.

Активный и реактивный токи физического смысла не имеют. Они являются расчетными величинами, так как в неразветвленной цепи ток на всех участках имеет одинаковое значение. Однако понятия активный I_a и реактивный I_p токи значительно облегчают расчет разветвленных цепей синусоидального тока. Соотношения между токами определяются из треугольника токов.

$$I_{a1} = I_1 \cdot \cos \phi_1, \text{ где } \cos \phi_1 = R_1 / Z_1; \quad I_{a2} = I_2 \cdot \cos \phi_2, \text{ где } \cos \phi_2 = R_2 / Z_2;$$

$$I_{p1} = I_1 \cdot \sin \phi_1, \text{ где } \sin \phi_1 = (X_{L1} - X_{C1}) / Z_1; \quad I_{p2} = I_2 \cdot \sin \phi_2, \text{ где } \sin \phi_2 = (X_{L2} - X_{C2}) / Z_2.$$

При вычислении $\sin \phi$ нужно помнить, что если $X_L > X_C$ то угол ϕ . положителен ($+\phi$), если $X_L < X_C$, то угол ϕ отрицательный ($-\phi$).

4. Определить ток неразветвленной части.

Ток в неразветвленной части цепи I равен геометрической сумме токов в ветвях, так как токи не совпадают по фазе. Для определения этого тока строится векторная диаграмма цепи (рис.2.2 б), из которой следует:

$$I = \sqrt{I_a^2 + I_p^2} = \sqrt{(I_{a1} + I_{a2})^2 + (I_{p1} - I_{p2})^2}.$$

5. Вычислить коэффициент мощности всей цепи.

Коэффициент мощности всей цепи $\cos \phi$ вычисляется из векторной диаграммы токов:

$$\cos \phi = (I_{a1} + I_{a2}) / I.$$

6. Определить активную P , реактивную Q и полную S мощности всей цепи.

Если все стороны треугольника напряжений (рис.2.1а) умножить на величину тока цепи, то получится подобный прямоугольный треугольник, все стороны которого в

определенном масштабе изображают мощности цепи, т.е. получился треугольник мощностей (**рис.2.1 в**)

Произведение напряжения и тока цепи характеризует полную мощность цепи:

$$S = U \cdot I,$$

которая выражается в вольт-амперах $[\text{В} \cdot \text{А}]$.

Однако потребляется в цепи только часть полной мощности- активная мощность:

$$P = S \cdot \cos \varphi = U \cdot I \cdot \cos \varphi,$$

Где $\cos \varphi$ показывает, какая часть полной мощности потребляется в цепи, поэтому $\cos \varphi$ называют коэффициентом мощности:

$$\cos \varphi = P / S.$$

Из того же треугольника мощностей (**рис.2.1в**) можно записать:

$$Q = S \cdot \sin \varphi = U \cdot I \cdot \sin \varphi, \text{ где } Q = Q_L - Q_C, \sin \varphi = \sqrt{1 - \cos^2 \varphi}.$$

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2}.$$

7. Построить векторную диаграмму токов.

Построение векторной диаграммы для параллельного соединения ветвей нужно начинать с вектора напряжения – U . Направить вектор напряжения нужно по положительному направлению оси «X» произвольной длины. Затем откладываются активная I_a и реактивная I_p составляющие векторов токов для каждой ветви в выбранном масштабе. Направление векторов токов рассмотрены выше. Вектор тока в неразветвленной части цепи I получаем как векторную сумму векторов $I_{a1}, I_{a2}, I_{p1}, I_{p2}$.

Пример 2.1. Для заданной схемы (**рис.2.3.**) определить токи в ветвях, ток в неразветвленной части; коэффициент мощности всей цепи; активную, реактивную и полную мощности всей цепи; построить в масштабе векторную диаграмму токов.

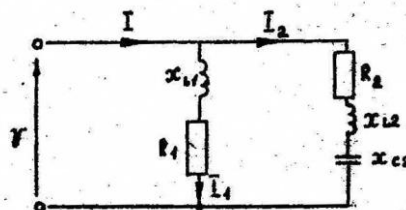
Известны значения всех сопротивлений:

$R_1, X_{L1}, R_2, X_{L2}, X_{C2}$.

напряжение, подводимое к цепи- U .

Найти: $I, I_1, I_2, P, Q, S, \cos \varphi$.

Построить векторную диаграмму токов в масштабе.



Решение.

1. Определяем токи в ветвях:

$$I_1 = U / Z_1; \quad I_2 = U / Z_2.$$

$$Z_1 = \sqrt{R_1^2 + X_{L1}^2}$$

$$Z_2 = \sqrt{R_2^2 + (X_{L2} - X_{C2})^2}.$$

2. Определяем активную и реактивную составляющие токов в ветвях:

$$I_{a1} = I_1 \cdot \cos \varphi_1, \text{ где } \cos \varphi_1 = R_1 / Z_1; \quad I_{a2} = I_2 \cdot \cos \varphi_2, \text{ где } \cos \varphi_2 = R_2 / Z_2;$$

$$I_{p1} = I_1 \cdot \sin \varphi_1, \text{ где } \sin \varphi_1 = X_{L1} / Z_1; \quad I_{p2} = I_2 \cdot \sin \varphi_2, \text{ где } \sin \varphi_2 = (X_{L2} - X_{C2}) / Z_2.$$

3. Определяем ток в неразветвленной части:

$$I = \sqrt{I_a^2 + I_p^2} = \sqrt{(I_{a1} + I_{a2})^2 + (I_{p1} - I_{p2})^2}.$$

4. Определяем коэффициент мощности всей цепи:

$$\cos \varphi = (I_{a1} + I_{a2}) / I.$$

5. Определяем мощности:

$$S = U \cdot I,$$

$$P = S \cdot \cos \varphi = U \cdot I \cdot \cos \varphi,$$

$$Q = S \cdot \sin \varphi = U \cdot I \cdot \sin \varphi, \quad \sin \varphi = \sqrt{1 - \cos^2 \varphi}.$$

6. Для построения векторной диаграммы требуется определить активную и реактивную составляющие токов. Если в ветвях содержится один активный элемент и один реактивный, то в этом случае затруднений с нахождением этих составляющих токов нет. В случае, если в ветвях есть два реактивных элемента (в нашем примере во второй ветви X_{L2} и X_{C2}), то отдельно найти составляющие I_{L2} и I_{C2} необходимо следующим образом:

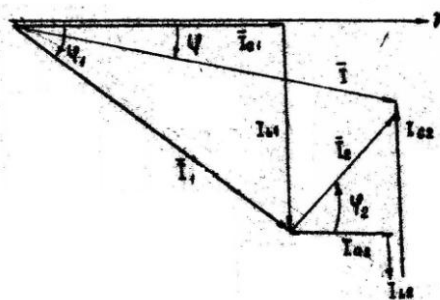
$$I_{p2} = I_2 \cdot \sin \varphi_2 = I_2 \cdot (X_{L2} - X_{C2}) / Z_2 = I_2 \cdot (X_{L2} / Z_2 - X_{C2} / Z_2) = I_2 \cdot (X_{L2} / Z_2) - I_2 \cdot (X_{C2} / Z_2).$$

При таком алгебраическом преобразовании реактивной составляющей тока I_{p2} ясно, что

$$I_{L2} = I_2 \cdot (X_{L2} / Z_2), \text{ а } I_{C2} = - I_2 \cdot (X_{C2} / Z_2).$$

Построение векторной диаграммы для параллельного соединения ветвей начинаем с вектора напряжения - \vec{U} . Направляем вектор напряжения по положительному направлению оси «X» произвольной длины. Чтобы отложить векторы токов на плоскости, выбираем масштаб. Векторы \vec{I}_{a1} и \vec{I}_{a2} – совпадают по направлению с вектором напряжения, так как активная составляющая тока совпадает по фазе с напряжением. Векторы \vec{I}_{L1} и \vec{I}_{L2} – совпадают с отрицательным направлением оси «Y» (направлены вниз), т.к. они отстают от вектора напряжения на 90° . Вектор тока \vec{I}_{C2} – совпадает с положительным направлением оси «Y» (направлен вверх), т.к. он опережает напряжение на 90° . Вектор тока в неразветвленной части цепи \vec{I} получаем как векторную сумму всех векторов - \vec{I}_{a1} , \vec{I}_{a2} , \vec{I}_{L1} , \vec{I}_{L2} , \vec{I}_{C2} .

Таким образом, векторная диаграмма для данной разветвленной цепи будет иметь вид (рис.2.4.):



Второй способ решения.

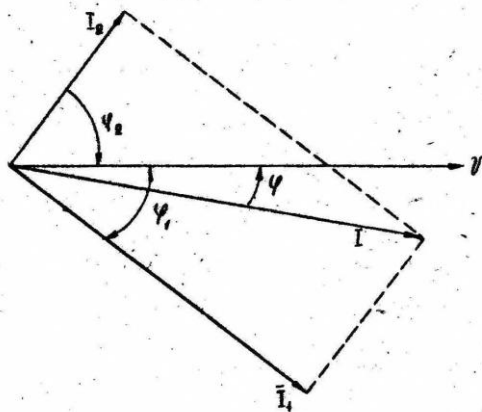
После нахождения токов в ветвях (пункт 1) необходимо найти мощности P , Q и S .

$$\begin{aligned} P &= P_1 + P_2 = I_1^2 \cdot R_1 + I_2^2 \cdot R_2; \\ Q &= Q_1 + Q_2 = I_1^2 \cdot X_{L1} + I_2^2 \cdot X_{L2} - I_2^2 \cdot X_{C2}; \\ S &= \sqrt{P^2 + Q^2}. \end{aligned}$$

Но $S = U \cdot I$, отсюда $I = S / U$.

При этом способе решения задачи для построения векторной диаграммы необходимо найти $\sin \varphi_1$, а затем φ_1 , и $\sin \varphi_2$, а затем φ_2 .

Зная величину векторов \vec{I}_1 и \vec{I}_2 токов в ветвях, а так же углы поворота этих векторов по отношению к оси «X» - φ_1 и φ_2 , можно начертить их на плоскости в масштабе и графически сложить. Получим векторную диаграмму (рис.2.5.):



Задача 3 относится к трехфазным цепям переменного тока. Решение этой задачи требует знания теории по темам **1.5. Трехфазные электрические цепи.** Знания свойств соединения

«звездой» и «треугольником», умения строить векторные диаграммы при симметричной и несимметричной нагрузке.

Трехфазной называется система трех ЭДС одинаковой частоты, сдвинутых друг относительно друга по фазе так, что сумма углов сдвига равна 2π , или 360° .

Трехфазная система ЭДС называется **симметричной**, если ЭДС трех фаз сдвинуты друг относительно друга на угол $2\pi/3 = 120^\circ$ и амплитуды этих трех ЭДС одинаковы по величине.

Начала обмоток трехфазного генератора обозначаются прописными буквами **A, B и C**, а концы соответственно **X, Y, Z** (т.е. в трехфазном генераторе имеется три обмотки: **AX, BY и CZ**).

К каждой обмотке трехфазного генератора может быть подключена нагрузка с сопротивлениями **Z_A, Z_B и Z_C**.

Если при этом три обмотки генератора электрически не соединены, то такая трехфазная система называется **несвязанной**.

Каждая обмотка трехфазного генератора со своей нагрузкой и соединительными проводами называется **фазой**. В трехфазной системе различают три **фазы: A, B и C**.

В связанных трехфазных системах применяется соединение обмоток генератора и потребителя «звездой» или «треугольником».

При соединении обмоток генератора «звездой» (рис.3.а.) концы обмоток **X, Y, Z** электрически соединяются в одну точку, которая называется **нулевой**, или **нейтральной**. При этом генератор с потребителем соединяются тремя или четырьмя проводами.

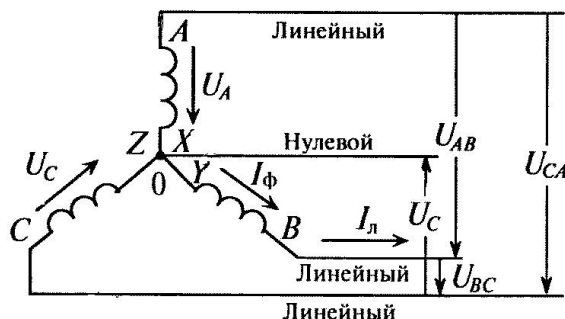


Рис.3.а:

Провода, подключенные к началам обмоток генератора (**A, B и C**), называют **линейными** проводами, а провод, подключенный к нулевой точке, называется **нулевым** или **нейтральным**.

Фазным называется напряжение между началом и концом обмотки генератора или между нулевым и линейным проводом. Обозначаются **фазные** напряжения буквами с индексами фаз **U_A, U_B, U_C**.

Линейным называется напряжение между началами обмоток генератора или между линейными проводами. Обозначаются **линейные** напряжения **U_{AB}, U_{BC}, U_{CA}**.

При симметричной системе ЭДС **линейное** напряжение трехфазного генератора, обмотки которого соединены «звездой» в $\sqrt{3} = 1,73$ раза больше **фазного** напряжения:

$$U_L = \sqrt{3} U_\phi.$$

Линейный ток равен фазному току: **I_Л = I_Ф**.

Соединение «звездой» потребителя и генератора может быть с нулевым проводом, т.е. четырехпроводная цепь, и без нулевого провода, т.е. трехпроводная цепь.

Равномерной считается нагрузка, при которой сопротивления фаз одинаковы по величине **Z_A = Z_B = Z_C**, по характеру (активный, индуктивный или емкостной) и имеют одинаковый угол сдвига фаз **φ_A = φ_B = φ_C**. При равномерной нагрузке фаз нулевой провод не нужен.

При неравномерной нагрузке фаз отсутствие нулевого провода приводит к неодинаковым по величине напряжениям на каждой фазе потребителя. Нулевой провод служит для выравнивания напряжений на фазах потребителя при неравномерной нагрузке фаз.

Ток в нулевом проводе при соединении «звездой» определяется геометрической суммой токов в фазах потребителя:

$$I_0 = I_A + I_B + I_C.$$

Величина напряжения на каждой фазе потребителя в $\sqrt{3} = 1,73$ раза меньше линейного напряжения: **U_φ = U_Л / √3**.

При соединении обмоток генератора «треугольником» (рис.3.б) конец обмотки фазы **A** соединяется с началом обмотки фазы **B**, конец обмотки фазы **B** соединяется с началом обмотки

фазы С, конец обмотки фазы С соединяется с началом обмотки фазы А и к точкам соединения подключаются линейные провода.

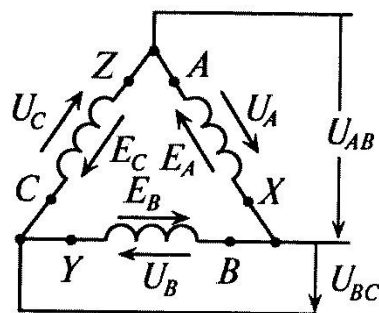


Рис.3.б:

При соединении обмоток генератора «треугольником» трехфазная цепь трехпроводная. Линейное напряжение U_{AB} равно фазному напряжению U_A , $U_{BC} = U_B$ и $U_{CA} = U_C$.

$$U_{\text{л}} = U_{\text{ф}}.$$

Так как при симметричной системе ЭДС все линейные напряжения равны по величине и сдвинуты на угол 120° по фазе, то и напряжения на каждой фазе потребителя, соединенного «треугольником», равны по величине и сдвинуты на угол 120° , независимо от характера нагрузки.

При соединении потребителей «треугольником» линейные токи обозначаются прописными буквами с индексами фаз, т.е. I_A , I_B , I_C , а токи в фазах потребителя - I_{AB} , I_{BC} и I_{CA} .

Линейный ток при соединении потребителей «треугольником» (рис.3.в) определяется геометрической разностью двух фазных токов, сходящихся с линейным в одной узловой точке:

$$I_A = I_{AB} - I_{CA}; \quad I_B = I_{BC} - I_{AB};$$

$$I_C = I_{CA} - I_{BC}.$$

При равномерной нагрузке и симметричной системе ЭДС при соединении потребителей «треугольником» линейный ток в трехфазной цепи в $\sqrt{3} = 1,73$ раза больше фазного тока:

$$I_{\text{л}} = \sqrt{3} \cdot I_{\text{ф}}.$$

Активная мощность, отдаваемая трехфазным генератором и потребляемая трехфазным потребителем, определяется суммой активных мощностей каждой фазы потребителя:

$$P = P_A + P_B + P_C.$$

Аналогичное определение можно отнести и к **реактивной** мощности трехфазного тока, т.е.:

$$Q = Q_A + Q_B + Q_C.$$

Полная мощность трехфазного потребителя равна $S = \sqrt{P^2 + Q^2}$.

При равномерной нагрузке фаз при соединении потребителей «звездой» и «треугольником» мощности трехфазного тока определяются выражениями:

$$\text{активная мощность} \quad - P = \sqrt{3} \cdot U_{\text{л}} \cdot I_{\text{л}} \cdot \cos \varphi \text{ (Вт)},$$

$$\text{реактивная мощность} \quad - Q = \sqrt{3} \cdot U_{\text{л}} \cdot I_{\text{л}} \cdot \sin \varphi \text{ (Вар)},$$

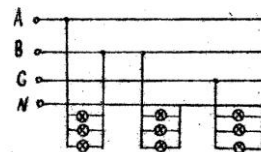
$$\text{полная мощность} \quad - S = \sqrt{3} \cdot U_{\text{л}} \cdot I_{\text{л}} \text{ (В} \cdot \text{А)}.$$

Для пояснения методики решения задач на трехфазные цепи, рассмотрим типовые примеры.

Пример 3.1 В трехфазную четырехпроводную сеть включены «звездой» лампы накаливания мощностью $P_{\text{л}} = 150$ Вт каждая (рис. 3.1.а) В фазу А включили 30 ламп, в фазу В – 50 ламп и в фазу С – 20 ламп. Линейное напряжение сети $U_{\text{ном.}} = 380$ В.

Рис.3.1 а.

Определить токи в фазах и начертить векторную диаграмму, из которой найти значение тока в нулевом проводе.

**Решение.**

1. Определим фазное напряжение установки:

$$U_A = U_B = U_C = U_{\phi} = U_{\text{ном.}} / \sqrt{3} = 380 / 1,73 = 220 \text{ В}$$

2. Находим фазные токи:

$$I_A = P_{\phi A} / U_A = 150 \cdot 30 / 220 = 20,5 \text{ А};$$

$$I_B = P_{\phi B} / U_B = 150 \cdot 50 / 220 = 34 \text{ А};$$

$$I_C = P_{\phi C} / U_C = 150 \cdot 20 / 220 = 13,7 \text{ А};$$

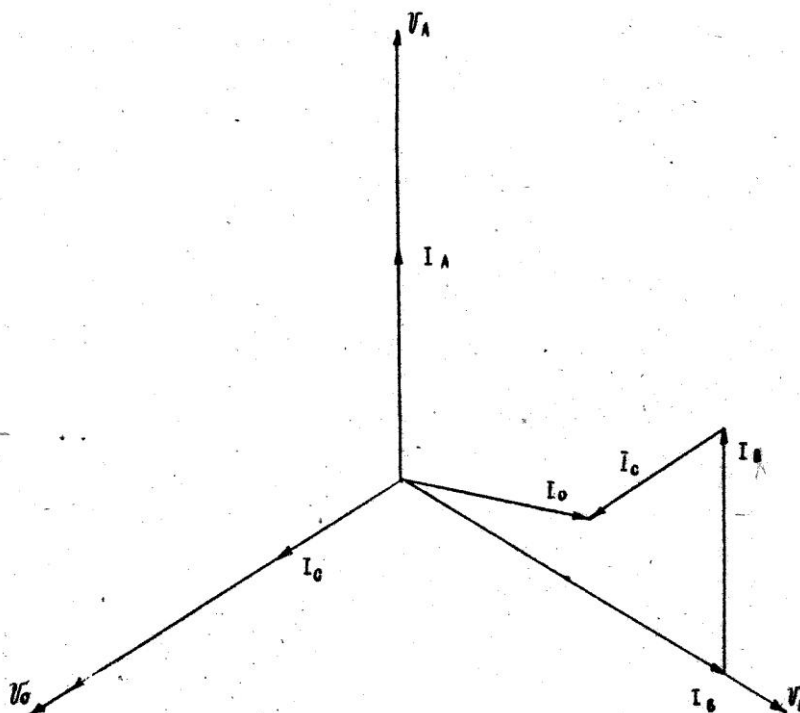
3. Для построения векторной диаграммы (рис.3.1.б) выбираем масштаб по току: **1 см – 4А**, масштаб по напряжению может быть произвольным. Построение диаграммы начинается с векторов фазных напряжений (рис. 3.1.б), располагая эти вектора под углом 120° (такими их вырабатывает генератор на электростанциях). Лампы накаливания являются активной нагрузкой, поэтому ток в них совпадает с соответствующим фазным напряжением.

Длина вектора: $I_A = 20,5 / 4 = 5,1 \text{ см}$; $I_B = 34 / 4 = 8,5 \text{ см}$; $I_C = 13,7 / 4 = 3,4 \text{ см}$.

Ток I_0 в нулевом проводе является геометрической суммой всех фазных токов. Измеряя длину вектора тока I_0 в нулевом проводе – 4,5 см, определяем:

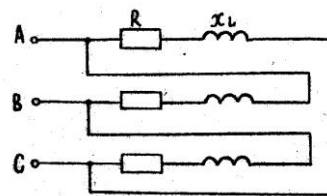
$$I_0 = 4,5 \cdot 4 = 18 \text{ А}.$$

Рис.3.1.б.



Пример 3.2. В трехфазную сеть включили «треугольником» три одинаковых катушки (рис.3.2.а). Активное сопротивление катушки $R = 6 \text{ Ом}$, индуктивное $X_L = 8 \text{ Ом}$. Линейное напряжение в сети $U_{\text{ном}} = 220 \text{ В}$.

Рис.3.2 а.



Определить фазные и линейные токи; активную, реактивную и полную мощность цепи. Начертить в масштабе векторную диаграмму. Определить логически, как изменится ток, активная мощность и угол сдвига фаз при увеличении частоты тока.

Решение.

1. При соединении «треугольником» $U_\phi = U_L = 220 \text{ В}$.

2. Определяем фазные токи

$$I_{AB} = I_{BC} = I_{CA} = I_\phi = U_\phi / Z_\phi = U_\phi / \sqrt{R^2 + X_L^2} = 22 \text{ А}.$$

3. При симметричной нагрузке линейный ток превышает фазный в $\sqrt{3}$ раз, поэтому

$$I_A = I_B = I_C = I_L = \sqrt{3} \cdot I_\phi = \sqrt{3} \cdot 22 = 38 \text{ А}.$$

4. Определим мощности цепи:

$$P = \sqrt{3} \cdot U_L \cdot I_L \cdot \cos \varphi_\phi = 1,73 \cdot 220 \cdot 38 \cdot 0,6 = 8670 \text{ Вт};$$

$$Q = \sqrt{3} \cdot U_L \cdot I_L \cdot \sin \varphi_\phi = 1,73 \cdot 220 \cdot 38 \cdot 0,8 = 11370 \text{ Вар};$$

$$S = \sqrt{3} \cdot U_L \cdot I_L = 1,73 \cdot 220 \cdot 38 = 14430 \text{ В} \cdot \text{А}.$$

$$\cos \varphi_\phi = R / Z_\phi = 6 / \sqrt{6^2 + 8^2} = 0,6;$$

$$\sin \varphi_\phi = X_L / Z_\phi = 8 / \sqrt{6^2 + 8^2} = 0,8; \varphi_\phi = 53^\circ 10'.$$

При увеличении частоты тока в два раза X_L увеличивается в два раза, а активное сопротивление остается неизменным. Полное сопротивление фазы увеличится, а значит ток уменьшится. Активная мощность уменьшится, т.к. уменьшится ток. Угол сдвига фазы увеличится, т.к. увеличилась реактивная составляющая полного сопротивления.

Если логические рассуждения вызывают затруднения, можно произвести расчет.

1. $Z_\phi = \sqrt{R^2 + X_{L2}^2} = \sqrt{6^2 + 16^2} = 17,1 \text{ Ом}.$

2. $I_\phi = U_\phi / Z_\phi = 220 / 17,1 = 12,07 \text{ А}; I_L = \sqrt{3} \cdot 12,07 = 22,3 \text{ А}.$

3. $\cos \varphi_\phi = R / Z_\phi = 6 / 17,1 = 0,351; \sin \varphi_\phi = X_{L2} / Z_\phi = 16 / 17,1 = 0,94; \varphi_\phi = 69,5^\circ.$

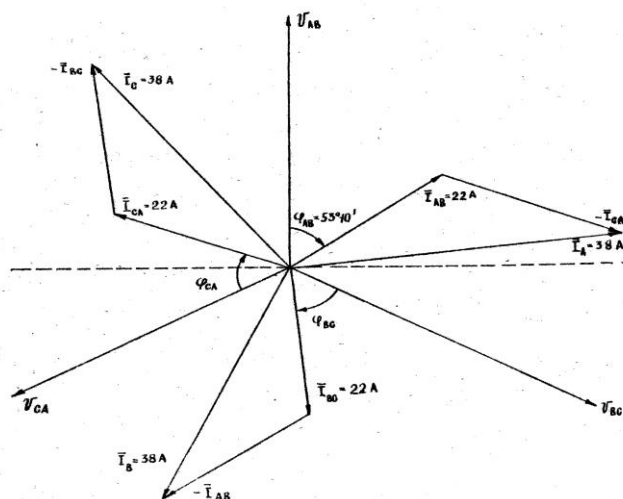
4. $P = \sqrt{3} \cdot U_L \cdot I_L \cdot \cos \varphi_\phi = 1,73 \cdot 220 \cdot 22,3 \cdot 0,351 = 2983 \text{ В}.$

Построение векторной диаграммы (рис.3.2.б) начинается с векторов линейных (они же фазные) напряжений U_{AB}, U_{BC}, U_{CA} , которые располагают под углом 120° друг относительно друга. Масштаб векторов напряжений может быть произвольным. Под углом $\varphi_\phi = 53^\circ 10'$ к каждому вектору напряжения располагают вектора фазных токов. Откладывают их по часовой стрелке, т.к. вектор тока отстает от вектора напряжения при активной и индуктивной нагрузках (активное сопротивление и катушка). Масштаб токов выбираем: 1 см – 4А. Затем строим векторы линейных токов на основании уравнений:

$$I_A = I_{AB} - I_{CA}; I_B = I_{BC} - I_{AB}; I_C = I_{CA} - I_{BC}.$$

Учитывая масштаб для тока, определяем величины I_A, I_B и I_C .

Рис. 3.2.б.

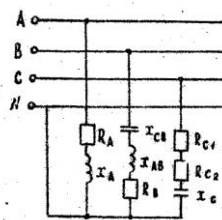


Пример 3.3. В трехфазную четырехпроводную сеть с линейным напряжением включили «звездой» разные по характеру сопротивления (рис.3.3.а). Определить линейные токи и начертить в масштабе векторную диаграмму цепи. Используя векторную диаграмму цепи, определить ток в нулевом проводе.

Какие сопротивления надо включить в фазы **В** и **С** приведенной схемы, чтобы ток в нулевом проводе стал равным нулю при неизменной нагрузке в фазе **А**.

Рис.3.3 а.

Дано: $R_A = 6 \text{ Ом}; X_A = 8 \text{ Ом};$
 $R_B = 16 \text{ Ом}; X_{C.B} = 20 \text{ Ом};$
 $R_{C1} = 1 \text{ Ом}; X_{L.B} = 8 \text{ Ом};$
 $R_{C2} = 2 \text{ Ом}; X_{C.C} = 4 \text{ Ом};$
 $U_L = 220 \text{ В}.$



Решение.

1. Определяем фазное напряжение:

$$U_A = U_B = U_C = U_\phi = U_L / \sqrt{3} = 220 / 1,73 = 127 \text{ В}.$$

2. Находим линейные и фазные токи:

$$I_A = U_\phi / Z_A = U_\phi / \sqrt{R^2 + X_L^2} = 127 / \sqrt{6^2 + 8^2} = 12,7 \text{ А};$$

$$I_B = U_\phi / Z_B = U_\phi / \sqrt{R^2 + (X_{L.B} - X_{C.B})^2} = 127 / \sqrt{16^2 + (8 - 20)^2} = 6,35 \text{ А};$$

$$I_C = U_\phi / Z_C = U_\phi / \sqrt{(R_{C1} + R_{C2})^2 + X_{C.C}^2} = 127 / \sqrt{(1 + 2)^2 + 4^2} = 23,4 \text{ А}.$$

3. Построение векторной диаграммы (рис.3.3.б) начинаем с векторов фазных напряжений U_A, U_B, U_C , располагаем их под углом 120° относительно друг друга произвольной одинаковой длины. По току выбираем масштаб: $1 \text{ см} - 4 \text{ А}$.

$$I_A = 3,2 \text{ см}; I_B = 1,4 \text{ см}; I_C = 5,8 \text{ см}.$$

Ток I_A отстает от напряжения U_A на угол φ_A , который можно определить из выражения:

$$\cos \varphi_A = R_A / Z_A = 6 / 10 = 0,6; \quad \varphi_A = 53^\circ 10'.$$

Ток I_B опережает напряжение U_B на угол φ_B :

$$\cos \varphi_B = R_B / Z_B = 16 / 20 = 0,8; \quad \varphi_B = 36^\circ 30'.$$

Ток I_C опережает напряжение U_C на угол φ_C :

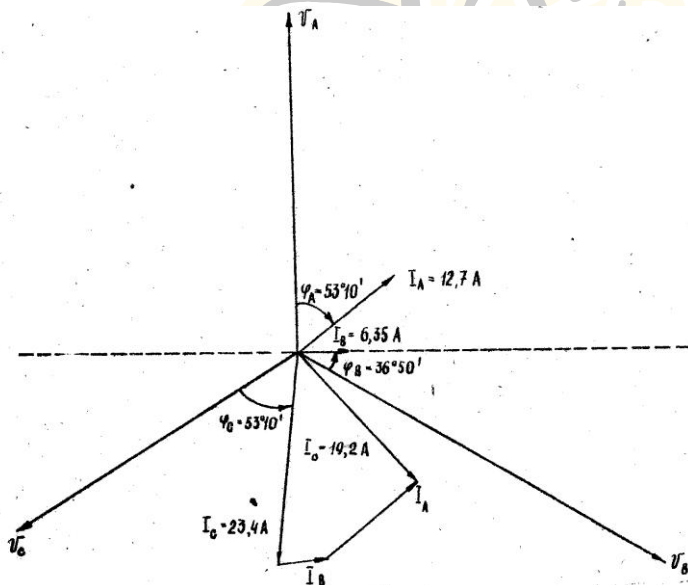
$$\cos \varphi_C = R_C / Z_C = 3 / 5 = 0,6; \quad \varphi_C = 53^\circ 10'.$$

Ток в нулевом проводе находим как векторную сумму векторов фазных токов:

$$I_0 = I_A + I_B + I_C.$$

Учитывая принятый масштаб по току: $I_0 = 4,8 \cdot 4 = 19,2 \text{ А}.$

Рис.3.3.б.



4. Чтобы ток в нулевом проводе был равен нулю при неизменной нагрузке в фазе **А**, необходимо включить в фазах **В** и **С** такие сопротивления, которые обеспечат следующее соотношение: $I_A = - (I_B + I_C)$. Для выполнения этого векторного равенства необходимо, чтобы I_B отставал от своего напряжения, т.е. должно выполняться соотношение: $X_{L.B} > X_{C.B}$. Вектор I_C также должен отставать от напряжения U_C . Это можно достичь, если включить в фазу **С** катушку индуктивности, при этом $X_{L.C} > X_{C.C}$.

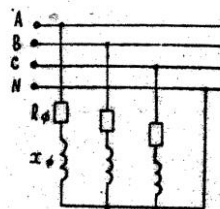
Пример 3.4. В каждую фазу включена симметричная нагрузка: индуктивность и активное сопротивление, включенные под фазное напряжение U_{ϕ} . Номинальное напряжение сети $U_{ном1}$.

Выбрать схему соединения («звездой» или «треугольником») в зависимости от $U_{ном}$ и начертить ее. Определить линейный ток, активную P , реактивную Q и полную S мощности цепи.

Как нужно соединить фазы потребителя («звездой» или «треугольником») для включения его в сеть с номинальным напряжением $U_{ном2}$? Вычислить линейные токи при этом способе включения.

Дано: $R_{\phi} = 8 \text{ Ом};$
 $X_{\phi} = 6 \text{ Ом};$
 $U_{\phi} = 220 \text{ В};$
 $U_{ном1} = 380 \text{ В};$
 $U_{ном2} = 220 \text{ В}.$

Рис.3.4.



Решение.

1. Сопоставляя U_{ϕ} и $U_{ном1}$, делаем заключение о способе подключения потребителя. Так как $U_{\phi} = 220 \text{ В}$ и $U_{ном1} = 380 \text{ В}$ отличаются в $\sqrt{3}$, то потребитель включен «звездой» по схеме (рис. 3.4.).

$$I_{\phi} = U_{\phi} / Z_{\phi} = U_{\phi} / \sqrt{R_{\phi}^2 + X_{\phi}^2} = 22 \text{ А}.$$

2. При соединении «звездой»: $I_{\phi} = I_L = 22 \text{ А}.$

3. Найдем активную, реактивную и полную мощности сети, предварительно определив:

$$\cos \varphi_{\phi} = R_{\phi} / Z_{\phi} = 8 / 10 = 0,8;$$

$$\sin \varphi_{\phi} = X_{\phi} / Z_{\phi} = 6 / 10 = 0,6;$$

$$P = \sqrt{3} \cdot U_{ном1} \cdot I_L \cdot \cos \varphi_{\phi} = 1,73 \cdot 380 \cdot 22 \cdot 0,8 = 1155,2 \text{ Вт};$$

$$Q = \sqrt{3} \cdot U_{ном1} \cdot I_L \cdot \sin \varphi_{\phi} = 1,73 \cdot 380 \cdot 22 \cdot 0,6 = 866,4 \text{ Вар};$$

$$S = \sqrt{3} \cdot U_{ном1} \cdot I_L = 1,73 \cdot 380 \cdot 22 = 1440 \text{ В} \cdot \text{А}.$$

4. При включении этого потребителя под напряжение $U_{ном2} = 220 \text{ В}$ его можно включить «треугольником».

$$I_{\phi} = U_{\phi} / Z_{\phi} = U_{\phi} / \sqrt{R_{\phi}^2 + X_{\phi}^2} = 22 \text{ А}.$$

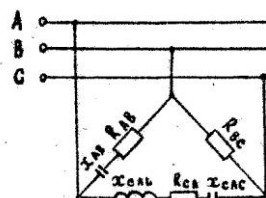
$$I_L = \sqrt{3} \cdot I_{\phi} = 1,73 \cdot 22 = 38 \text{ А}.$$

Пример 3.5. В трехфазную трехпроводную сеть с линейным напряжением $U_{ном}$ включили «треугольником» разные по характеру сопротивления (рис.3.5.а). Определить фазные токи и начертить в масштабе векторную диаграмму цепи. Из векторной диаграммы определить численные значения линейных токов.

Как изменятся значения фазных и линейных токов и взаимное расположение векторов токов и напряжений при увеличении частоты тока в сети в два раза?

Дано: $R_{AB} = 8 \text{ Ом}; X_{AB,C} = 6 \text{ Ом};$
 $R_{BC} = 10 \text{ Ом}; X_{CA,L} = 20 \text{ Ом};$
 $R_{CA} = 16 \text{ Ом}; X_{CA,C} = 8 \text{ Ом};$
 $U_{ном} = 380 \text{ В}.$

Рис.3.5.а.



Решение.

1. Определяем фазные токи:

$$I_{\phi} = U_{\phi} / Z_{\phi};$$

$$I_{AB} = U_{AB} / Z_{AB} = U_{AB} / \sqrt{R_{AB}^2 + X_{AB,C}^2} = 380 / \sqrt{8^2 + 6^2} = 38 \text{ А};$$

$$I_{BC} = U_{BC} / Z_{BC} = U_{BC} / R_{BC} = 380 / 10 = 38 \text{ А};$$

$$I_{CA} = U_{CA} / Z_{CA} = U_{CA} / \sqrt{R_{CA}^2 + (X_{CA,L} - X_{CA,C})^2} = 380 / \sqrt{16^2 + (20 - 8)^2} = 19 \text{ А}.$$

2. Построение векторной диаграммы начинаем с векторов напряжений U_{AB} , U_{BC} , U_{CA} (Рис. 3.5.6), которые расположены под углом 120° относительно друг друга. Вектор I_{AB} опережает вектор U_{AB} на угол φ_{AB} :

$$\cos \varphi_{AB} = R_{AB} / Z_{AB} = 8 / 10 = 0,8; \quad \varphi_{AB} = 36^\circ 50'.$$

Вектор I_{BC} совпадает по направлению с вектором U_{BC} , так как нагрузка активная $\varphi_{BC} = 0$.

Вектор I_{CA} отстает от вектора U_{CA} на угол φ_{CA} :

$$\cos \varphi_{CA} = R_{CA} / Z_{CA} = 16 / 20 = 0,8; \quad \varphi_{CA} = 36^\circ 50'.$$

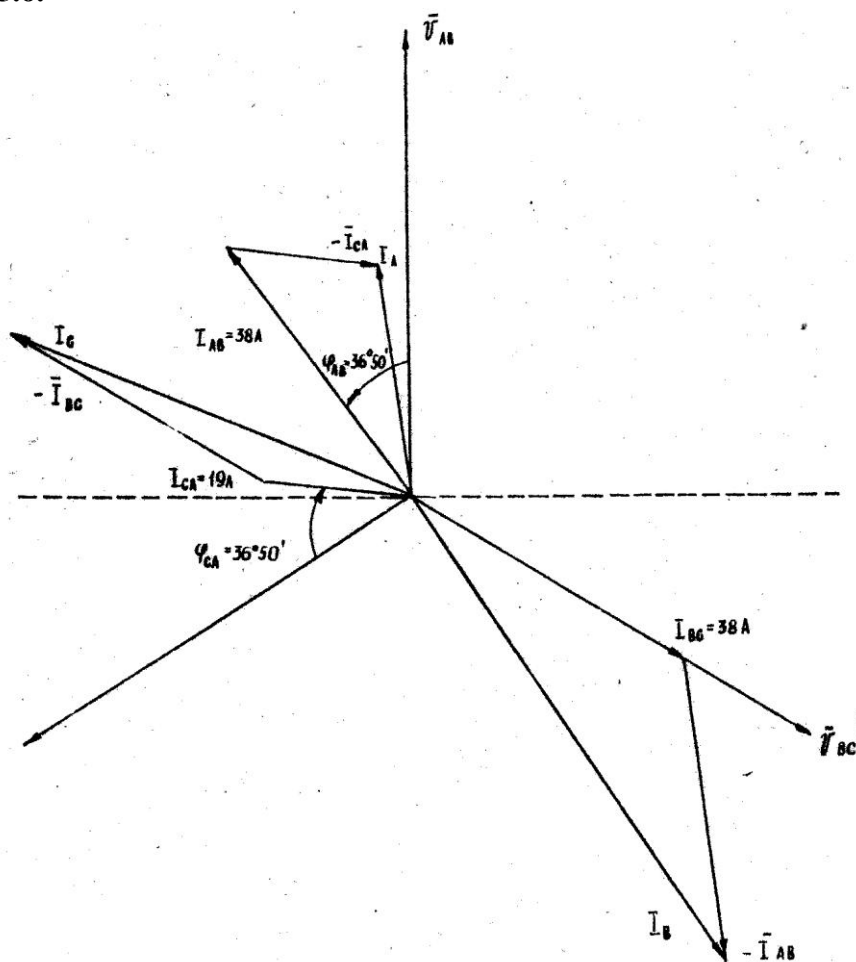
Находим линейные токи на основании уравнений:

$$I_A = I_{AB} - I_{CA}; \quad I_B = I_{BC} - I_{AB}; \quad I_C = I_{CA} - I_{BC}.$$

Учитывая масштаб для тока 1 см – 4А, определяем величины I_A , I_B и I_C .

3. При увеличении частоты тока в **2 раза** $X_{AB,C}$ уменьшится в **2 раза**, Z_{AB} - уменьшится, φ_{AB} - уменьшится, а I_{AB} - увеличится. Длина вектора I_{BC} не изменится. В фазе **СА** произойдут следующие изменения: Индуктивное сопротивление $X_{CA,L}$ увеличится в **2 раза**, а емкостное сопротивление $X_{CA,C}$ - уменьшится в **2 раза**, Z_{CA} - возрастет, φ_{CA} - увеличится и приблизится к 80° . I_A - по величине почти не изменится, так как I_{AB} - увеличится, а I_{CA} уменьшится; I_B - немного увеличится, I_C - несколько уменьшится.

Рис.3.5.6.



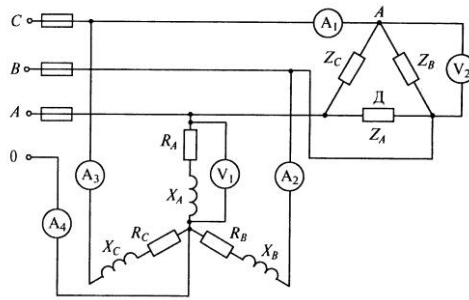
Пример 3.6. К трехфазной сети с линейным напряжением $U_{ном} = 380$ В подключены двигатель и однофазные силовые потребители (рис.3.6.а).

Обмотки трехфазного двигателя мощностью $P = 10$ кВт и $\cos \varphi = 0,76$ соединены «треугольником». Однофазные силовые потребители с параметрами: $R_A = R_B = 12$ Ом; $R_C = 8$ Ом; $X_A = X_B = 9$ Ом; $X_C = 6$ Ом – соединены «звездой».

Определить: показания амперметров A_1 , A_2 , A_3 и A_4 ; показания вольтметров.

В линейном проводе С сгорел предохранитель (обрыв линейного провода С). Как при этом изменится показание вольтметра V_1 , если оборвется и нулевой провод? Как изменится показание вольтметра V_2 ?

Рис.3.6.а:

**Решение.**

Амперметр A_1 включен в линейный провод C , подводящий питание к двигателю, обмотки которого соединены «треугольником» и представляют равномерную нагрузку фаз; следовательно $I_{A1} = I_L = P_{дв.} / \sqrt{3} \cdot U_L \cdot \cos \varphi_{дв.} = 1000 / \sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,76 = 20 \text{ A}$.

Линейное напряжение при соединении обмоток «треугольником» равно фазному напряжению $U_\phi = U_L$, значит вольтметр V_2 показывает значение напряжения – **380 В**.

Амперметр A_2 измеряет ток в фазе B силового потребителя, соединенного «звездой». При наличии нулевого провода напряжение на каждой фазе потребителя :

$$U_{V1} = U_A = U_B = U_C = U_\phi = U_{ном.} / \sqrt{3} = 380 / 1,73 = 220 \text{ В}$$

Ток в фазе B будет $I_{A2} = I_B = U_\phi / Z_B = 220 / 15 = 14,7 \text{ A}$,

так как $Z_B = \sqrt{R_B^2 + X_B^2} = \sqrt{12^2 + 9^2} = 15 \text{ Ом}$.

Показание амперметра A_3 , включенного в фазу C силового потребителя:

$$I_{A3} = I_C = U_\phi / Z_C = 220 / 10 = 22 \text{ A},$$

так как $Z_C = \sqrt{R_C^2 + X_C^2} = \sqrt{8^2 + 6^2} = 10 \text{ Ом}$.

Амперметр A_4 включен в нулевой провод, ток в котором I_0 определяется геометрической суммой токов в фазах силового потребителя, соединенного «звездой»: $I_0 = I_A + I_B + I_C$.

Для вычисления геометрической суммы токов фаз необходимо построить векторную диаграмму токов (рис.3.6.б).

Очевидно, что $I_A = I_B = 14,7 \text{ A}$.

При наличии нулевого провода напряжения в фазах сдвинуты на угол 120° . Угол сдвига фаз между напряжением и током, исходя из условий, для всех трех фаз одинаков:

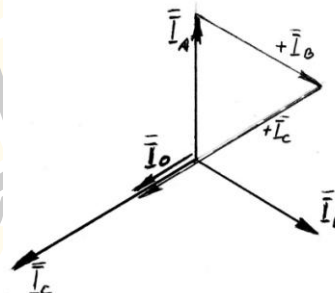
$$\cos \varphi_A = R_A / Z_A = 12 / 15 = 0,8;$$

$$\cos \varphi_B = R_B / Z_B = 12 / 15 = 0,8;$$

$$\cos \varphi_C = R_C / Z_C = 8 / 10 = 0,8.$$

Следовательно, фазные токи сдвинуты так же, как и напряжения, на угол 120° . На основании этих данных можно построить векторную диаграмму токов.

Рис.3.6.б.



Учитывая принятый масштаб по току: $I_0 = 7,3 \text{ A}$.

Следовательно, амперметр A_4 покажет ток **7,3 А**.

При обрыве линейного провода C и нулевого провода две фазы силового потребителя A и B окажутся соединенными последовательно и подключенными к линейному напряжению $U_{AB} = 380 \text{ В}$. Так как сопротивления этих фаз равны по величине, т.е. $Z_A = Z_B$, то это линейное напряжение распределится между ними поровну:

$$U_A = U_B = U_{AB} / 2 = 380 / 2 = 190 \text{ В}.$$

Таким образом, вольтметр V_1 покажет напряжение **190 В** вместо **220 В**, которое он показывал до обрыва.

При обрыве линейного провода C фаза B и C двигателя окажутся соединенными последовательно и подключенными к линейному напряжению $U_{AB} = 380 \text{ В}$. Так как сопротивления обмоток двигателя равны между собой, то линейное напряжение U_{AB} распределится поровну между обмотками B и C двигателя:

$$U_B = U_C = U_{AB} / 2 = 380 / 2 = 190 \text{ В}.$$

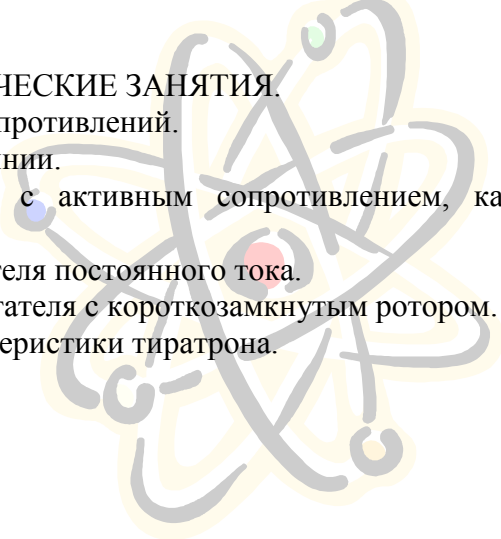
Таким образом, вольтметр V_2 покажет напряжение **190 В** вместо **380 В**, которое он показывал до обрыва.

Задание 4 контрольной работы – теоретический вопрос. Для ответа на этот вопрос требуется знание **тем: 1.6. – 1.9.** Ответ на вопрос требует знаний устройства, принципа действия, режимов работы, применения различных электротехнических устройств.

ПРИМЕРНЫЙ ПЕРЕЧЕНЬ ЛАБОРАТОРНО-ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ

Примерный перечень лабораторно-практических занятий имеет рекомендательный характер. Проведение лабораторно-практических занятий предусматривает целью закрепление теоретических знаний и приобретение необходимых практических умений по программе учебной дисциплины.

ЛАБОРАТОРНО-ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАНЯТИЯ.

1. Способы соединения сопротивлений.
 2. Потеря напряжения в линии.
 3. Неразветвленные цепи с активным сопротивлением, катушкой индуктивности и конденсатором.
 4. Изучение работы двигателя постоянного тока.
 5. Пуск асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором.
 6. Снятие пусковой характеристики тиристора.
- 

ВАРИАНТЫ КОНТРОЛЬНЫХ ЗАДАНИЙ**ЗАДАЧА 1.**

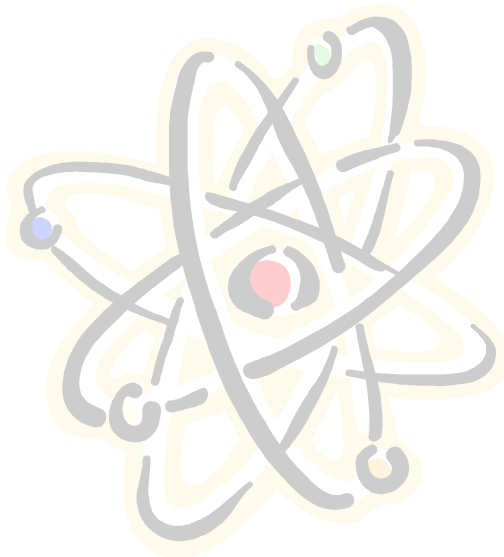
Цепь постоянного тока содержит несколько резисторов, соединенных смешанно. Определить ток в каждом резисторе и напряжение, приложенное к цепи, если они не заданы. Определить также мощность, потребляемую всей цепью, и расход энергии за 6 часов.

Индекс тока или напряжения совпадает с индексом резистора, по которому проходит этот ток или на котором действует это напряжение.

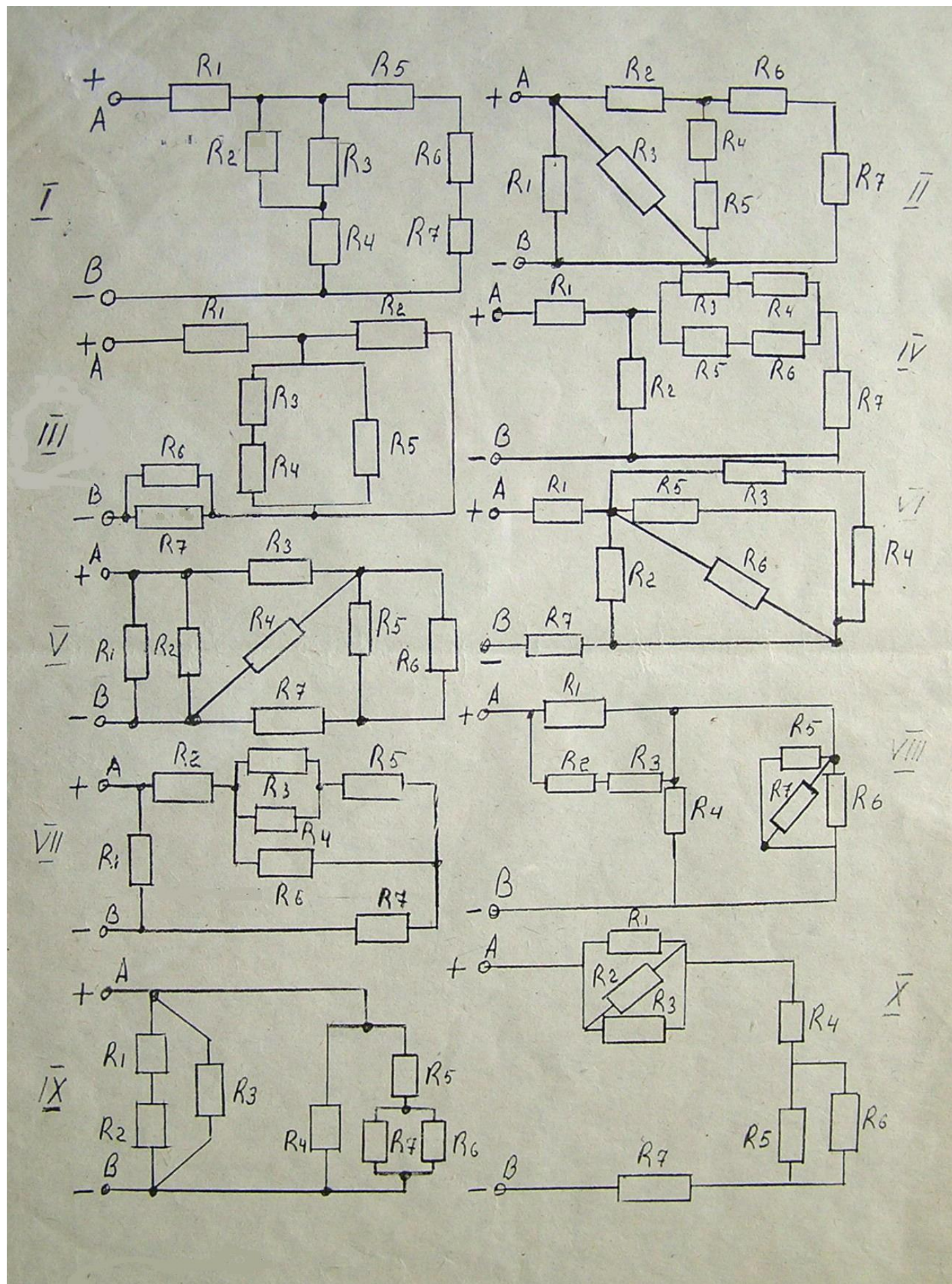
Номер варианта и данные к задаче в таблице 1.

ТАБЛИЦА 1

Номер варианта	Номер схемы	Заданная величина	R_1 , Ом	R_2 , Ом	R_3 , Ом	R_4 , Ом	R_5 , Ом	R_6 , Ом	R_7 , Ом
1	I	$I_3=3\text{ A}$	2	6	12	6	5	4	6
2	II	$I_7=3\text{ A}$	12	3	12	8	4	2	2
3	III	$I_4=5\text{ A}$	2	6	1	5	6	10	15
4	IV	$I_5=3\text{ A}$	4	10	12	18	12	8	3
5	V	$U_1=240\text{ B}$	12	6	6	18	24	12	1
6	VI	$I_5=2\text{ A}$	1	6	10	2	6	12	2
7	VII	$I_6=2\text{ A}$	4	2	10	15	4	15	4
8	VIII	$I_6=4\text{ A}$	6	4	2	12	12	9	18
9	IX	$U_{AB}=360\text{ B}$	10	20	20	9	12	10	15
10	X	$I_1=2\text{ A}$	6	4	12	2	8	8	1



СХЕМЫ К ЗАДАЧЕ 1.



ЗАДАЧА 2

Цепь переменного тока содержит различные элементы (резисторы, индуктивности, емкости), образующие две параллельные ветви. Начертить схему цепи и определить следующие величины, если они не заданы в таблице 2 :

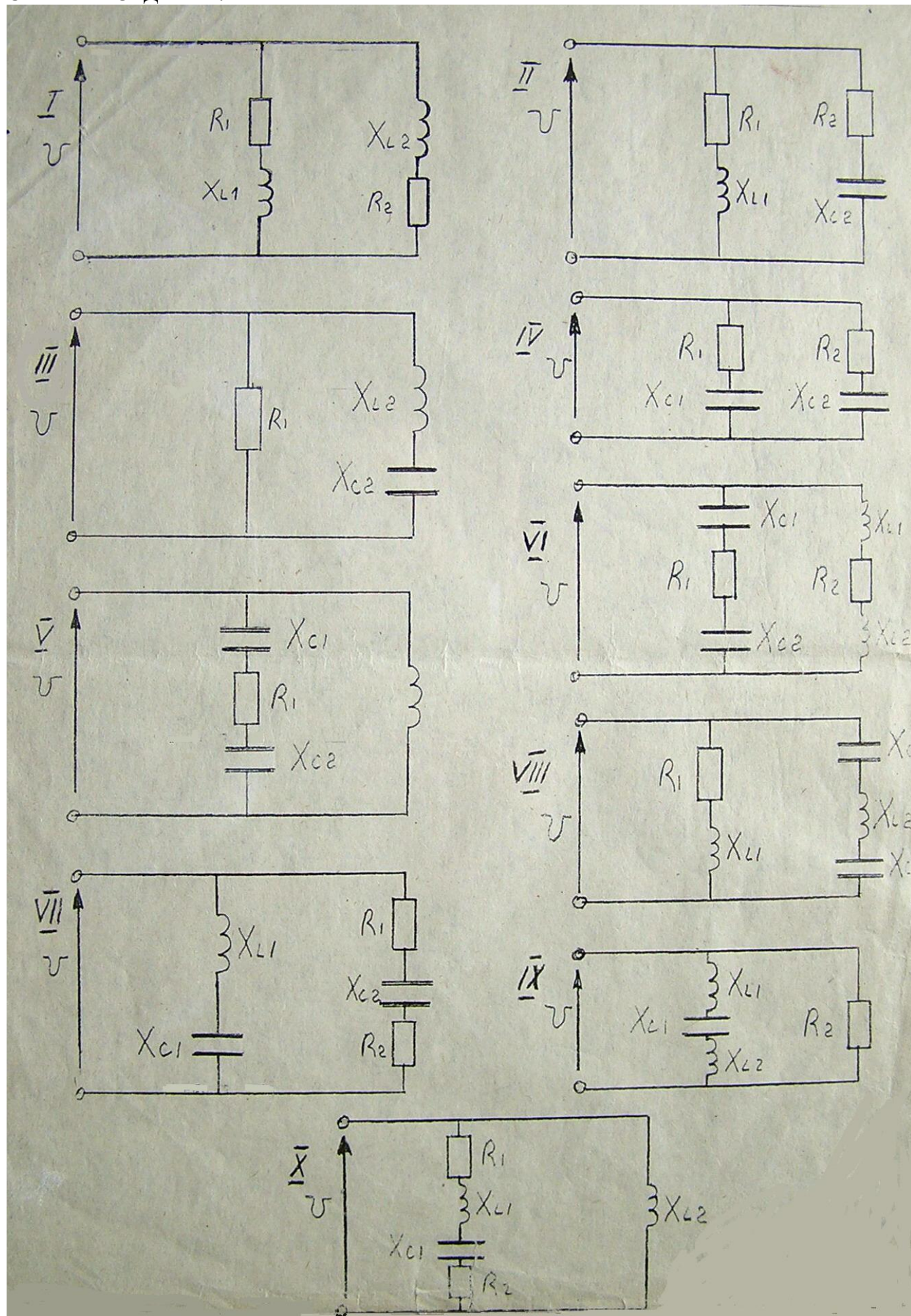
1. Напряжение U , приложенное к цепи;
2. Токи I_1 и I_2 в обеих ветвях;
3. Ток I в неразветвленной части цепи;
4. Коэффициент мощности всей цепи;
5. Активную P , реактивную Q и полную мощность S для всей цепи;
6. Начертить в масштабе векторную диаграмму цепи и пояснить ее построение.

Номер варианта и данные к задаче в таблице 2.

ТАБЛИЦА 2

Номер варианта	Номер схемы	Дополнительный параметр	R_1 , Ом	R_2 , Ом	X_{L1} , Ом	X_{L2} , Ом	X_{C1} , Ом	X_{C2} , Ом
1	I	$P_2=200$ Вт	6	8	8	6	-	-
2	II	$Q_2= - 96$ ВАр	12	8	16	-	-	6
3	III	$U= 40$ В	2	-	-	2	-	10
4	IV	$S_1=80$ ВА	3	6	-	-	4	8
5	V	$I_1=2$ А	16	-	-	10	6	6
6	VI	$U_{R2}=24$ В	6	24	10	22	3	5
7	VII	$I_2=8$ А	1	3	10	-	7	3
8	VIII	$U_{R1}=24$ В	8	-	6	2	3	4
9	IX	$Q_1= 250$ ВАр	-	3	10	4	6	-
10	X	$U_{R1}=24$ В	4	8	18	10	2	-

СХЕМЫ К ЗАДАЧЕ 2.



ЗАДАЧА 3

Варианты 1 -2:

В трехфазную четырехпроводную сеть включили в «звезду» три группы ламп одинаковой мощности (рис. 3.1.). Количество ламп в каждой фазе n_A , n_B , n_C , мощность каждой лампы P_L и номинальное напряжение сети $U_{ном.}$ заданы в таблице 3.1.

Определить показания амперметров A_1 , A_2 , A_3 , A_4 и активную мощность трехфазной цепи. Начертить в масштабе векторную диаграмму цепи, из которой графически найти числовое значение тока в нулевом проводе.

Рис 3.1.

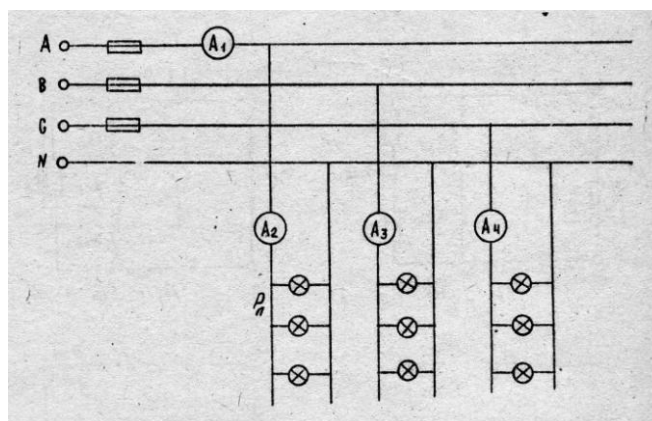


ТАБЛИЦА 3.1.

Номер варианта	n_A	n_B	n_C	P_L , Вт	$U_{ном.}$, В
1	25	20	30	500	380
2	30	50	25	150	220

Варианты 3 – 4:

Две группы сопротивлений включили в трехфазную сеть совместно с измерительными приборами. Схемы включения даны на рис. 3.2.а –б. В таблице 3.2. заданы номер рисунка, величины сопротивлений и показание одного из приборов. Определить показания всех остальных приборов и начертить в масштабе векторную диаграмму цепи для указанной в таблице группы сопротивлений.

Логически определить, как изменится ток и активная мощность при увеличении частоты тока в два раза..

Рис. 3.2.а.

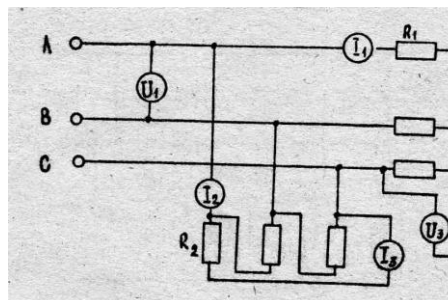


Рис.3.2.б.

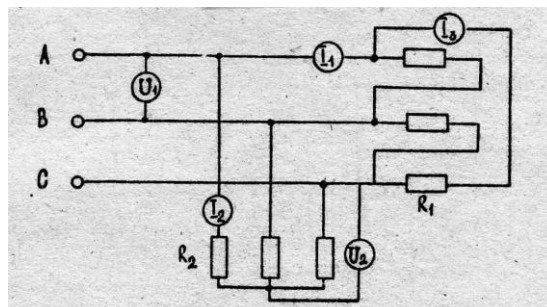


ТАБЛИЦА 3.2.

№ варианта	Номер рис.	R_1 Ом	R_2 Ом	U_1 В	U_2 В	I_1 А	I_2 А	I_3 А	Векторная диаграмма для соедин.
3	3.2.а	10	38	-	-	22	-	-	«звезда»
4	3.2.б.	76	44	380	-	-	-	-	«треугольник»

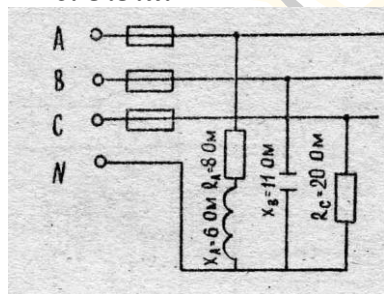
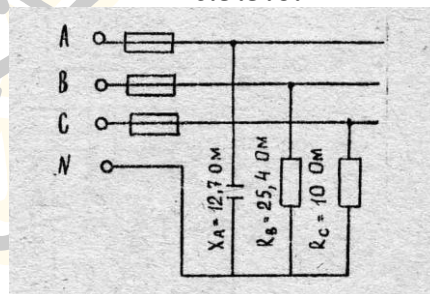
Варианты 5 -6:

В трехфазную четырехпроводную сеть с линейным напряжением включили «звездой» разные по характеру сопротивления. Определить линейные токи и начертить в масштабе векторную диаграмму цепи. По векторной диаграмме определить величину тока в нулевом проводе. Данные для своего варианта взять из таблицы 3.3.

Какие сопротивления надо включить в фазы **В** и **С** приведенной схемы, чтобы ток в нулевом проводе стал равен нулю при неизменных значениях сопротивлений в фазе **А**?

ТАБЛИЦА 3.3.

Номер варианта	Номер рисунка	$U_{ном.}, В$
5	3.3.а.	380
6	3.3.б	220

Рис. 3.3.а.**Рис.3.3.б.****Варианты 7 – 8:**

Каждая фаза трехфазного симметричного потребителя (электродвигатель переменного тока) рассчитана на фазное напряжение U_{ϕ} и имеет активное R_{ϕ} и индуктивное X_{ϕ} сопротивления. Номинальное напряжение сети $U_{ном.1}$. Выбрать схему соединения потребителя в зависимости от номинального напряжения («звездой» или «треугольником») и начертить ее.

Определить активную P , реактивную Q и полную S мощности, расходуемые потребителем. Вычислить потребляемый линейный ток.

Как нужно соединить фазы потребителя («звездой» или «треугольником») для включения его в сеть с номинальным напряжением $U_{ном.2}$?
Вычислить линейные токи в проводах при таком включении.

Данные для своего варианта взять в таблице 3.4.

ТАБЛИЦА 3.4.

Номер варианта	U_{ϕ} , В	R_{ϕ} , Ом	X_{ϕ} , Ом	$U_{ном.1}$, В	$U_{ном.2}$, В
7	220	8,5	5,25	380	220
8	380	17	10,5	380	660

Варианты 9 -10:

В трехфазную трехпроводную сеть с линейным напряжением $U_{ном.}$ включили «треугольником» разные по характеру сопротивления. Определить фазные токи и начертить в масштабе векторную диаграмму цепи, из которой найти числовые значения линейных токов.

Данные для своего варианта взять из таблицы 3.5.

Как изменятся значения фазных и линейных токов и взаимное расположение векторов токов и напряжений при уменьшении частоты тока в два раза?

ТАБЛИЦА 3.5.

Номер варианта	Номер рисунка	$U_{ном.}$, В
9	3.5.а.	220
10	3.5.б	380

Рис. 3.5.а.

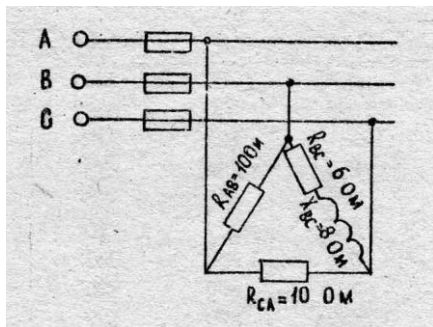
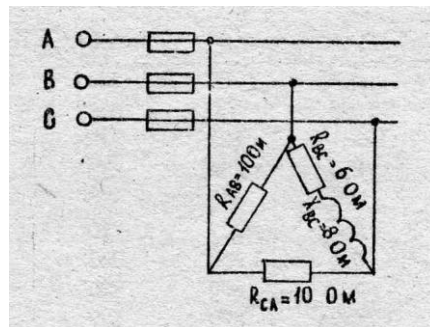
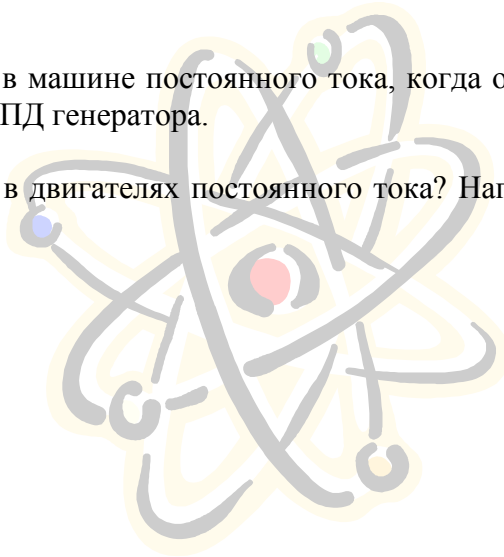


Рис.3.5.б.



ЗАДАНИЕ 4

1. Устройство и назначение трансформатора. Назначение стального сердечника. Почему он выполняется из листовой стали? Почему воздушный зазор в магнитопроводе должен быть минимальным?
2. Что такое коэффициент трансформации и как называется трансформатор в зависимости от его величины? Какие потери существуют в трансформаторе и как их уменьшить? Начертить схему включения трансформатора с нагрузкой.
3. Как определить потери в трансформаторе опытным путем? Велик ли КПД трансформатора? Начертить схему включения трансформатора с нагрузкой.
4. Какие режимы работы различают у трансформатора? Какие типы трансформаторов бывают в зависимости от их назначения? Почему в сварочном трансформаторе возможен режим короткого замыкания во вторичной цепи при номинальном напряжении в первичной цепи?
5. Устройство асинхронного трехфазного двигателя с короткозамкнутым ротором. Почему двигатель называется асинхронным? Какая величина количественно определяет отставание ротора от магнитного поля статора?
6. Устройство и назначение частей машины постоянного тока. Каким способом возможно включить обмотки якоря и обмотки возбуждения в различных схемах электродвигателей, Привести пример схемы.
7. Какой генератор постоянного тока имеет лучшую внешнюю характеристику и почему?
8. Что такое реакция якоря и какие вредные последствия этого явления для машины постоянного тока?
9. Какие потери существуют в машине постоянного тока, когда она работает как генератор? Написать выражение для КПД генератора.
10. Какие потери существуют в двигателях постоянного тока? Написать выражение для КПД двигателя.



ВОПРОСЫ К ЭКЗАМЕНУ

1. Электрическое поле. Основные понятия и определения.
2. Понятие об электропроводности.
3. Конденсаторы. Электрическая ёмкость
4. Понятие об электрическом токе
5. Понятие об электролизе. Закон Фарадея.
6. Электрическая цепь и её элементы.
7. Закон Ома для участка цепи.
8. Закон Ома для полной цепи.
9. Электрическое сопротивление и проводимость.
10. Преобразование электрической энергии в тепловую. Закон Джоуля-Ленца.
11. Потеря напряжения в проводах. КПД линии.
12. Первый закон Кирхгофа.
13. Последовательное соединение сопротивлений.
14. Параллельное соединение сопротивлений.
15. Смешанное соединение сопротивлений.
16. Второй закон Кирхгофа.
17. Химические источники питания. Их применение.
18. Магнитное поле тока. Магнитная индукция. Магнитный поток.
19. Электромагнитная сила. Прямолинейный провод в магнитном поле.
20. Электромагнитная сила. Контур в магнитном поле.
21. Электромагниты, устройство и назначение.
22. Электродвижущая сила, наведенная в проводе.
23. Взаимная индуктивность.
24. Назначение и устройство машин постоянного тока.
25. Принцип работы двигателя постоянного тока.
26. Принцип работы генератора постоянного тока.
27. Основные понятия о переменном токе.
28. Получение синусоидальной э.д.с. с помощью генератора переменного тока.
29. Цепь переменного тока с активным сопротивлением.
30. Цепь переменного тока с индуктивностью. Индуктивное сопротивление.
31. Цепь переменного тока с ёмкостью. Емкостное сопротивление.
32. Неразветвленная цепь с активным, индуктивным и емкостным сопротивлением.
33. Трёхфазная система электрических цепей. Простейший генератор трёхфазного тока.
34. Соединение обмоток генератора звездой.
35. Соединение обмоток генератора треугольником.
36. Соединение приемников энергии звездой.
37. Соединение приемников энергии треугольником.
38. Основные понятия об измерениях.
39. Классификация измерительных приборов.
40. Назначение и устройство однофазного трансформатора, принцип действия.
41. Два режима работы трансформатора. Мощность потерь в трансформаторе. КПД трансформатора.
42. Назначение машин переменного тока. Устройство асинхронного двигателя.
43. Защитное заземление.
44. Классификация и применение электронных приборов.
45. Понятие об электронной эмиссии. Виды электронной эмиссии.
46. Катоды электровакуумных приборов.
47. Двухэлектродная электронная лампа. Устройство и назначение.
48. Устройство и принцип работы триода, статические характеристики и параметры.
49. Четырёхэлектродная лампа – тетрод. Устройство и назначение.
50. Газотрон. Устройство и назначение.
51. Тиратрон. Устройство и назначение.
52. Собственная электропроводность полупроводников.
53. Примесная электропроводность полупроводников.
54. Полупроводниковый диод, его устройство.
55. Полупроводниковый транзистор, устройство и назначение.
56. Схема включения полупроводникового транзистора.
57. Классификация и применение фотоэлементов.
58. Устройство кислородно-цезиевого фотоэлемента.
59. Устройство сурьмяно-цезиевого фотоэлемента.
60. Электрическое напряжение. Потенциал.