

## ОБЩИЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

На лекциях, при проведении практических и лабораторных занятий излагаются, прорабатываются и экспериментально исследуются наиболее важные темы предмета, более сложные теоретические вопросы.

При изучении предмета следует: конспектировать основные положения теоретического характера; формулы обводить; электрические схемы вычерчивать в условных обозначениях, соответствующих действующим ГОСТам. После проработки какой-либо темы необходимо без помощи учебника вывести доказательства законов или формул. Нельзя ничего оставлять непонятным при изучении предмета.

Если в процессе проработки материала по рекомендованной литературе встречаются затруднения или неясные вопросы, необходимо обратиться за консультацией к преподавателю, заочникам — к преподавателю или в заочное отделение Института нефти и газа УдГУ для получения соответствующих разъяснений.

По курсу электротехники студент должен выполнить контрольную работу. Контрольная работа содержит пять заданий. В каждом задании одна задача для расчета электрической цепи или участка электрической цепи. Варианты для каждого учащегося индивидуальные. Номер варианта определяется двумя последними цифрами номера личного дела (шифра) студента. Например, если номера вариантов соответственно будут 00 и 57. В таблице I студент находит для своего варианта номера заданий, обозначенные римскими цифрами I, II, III, IV, V и т.д., для каждой контрольной работы. Номера задач соответственно 1,3,4,14,21 и 1,3,4,11,19 для контрольной работы № 1, а номера задач соответственно 31,41,51,61,71 и 28,38,47,57,67 для контрольной работы №2, которые он должен решить по варианту 00 и 57. Если номер личного дела, выражается однозначной цифрой (от 1 до 9) то перед ней нужно написать нуль, после чего выбор условия и варианта, производится обычным способом. Например, студент шифр которого 8, приписав слева нуль, выбирает вариант 08. Задачи, выполненные не по своему варианту, не засчитываются и возвращаются учащемуся.

Контрольная работа выполняется в отдельной тетради желательно в клетку либо в печатном виде. Условия задач следует переписывать полностью.

Необходимо оставлять поля шириной 25-30 мм для замечаний рецензента, а в конце тетради 2-3 страницы для рецензий.

Страницы тетради обязательно должны быть пронумерованы.

Формулы и расчеты пишут чернилами, а чертежи и схемы выполняют карандашом, на графиках и векторных диаграммах указывают масштаб. При построении векторной диаграммы пользуются векторами. Длину вектора в масштабе определяют так. Например, пусть дано значение напряжения.  $U = 200\text{В}$  и необходимо представить его в форме вектора. Для этого сначала выбирают масштаб по напряжению  $M_u = 50\text{ В/см}$ , а потом вычисляют длину вектора

$$\ell_u = -\frac{U}{M_u} = -\frac{200\text{ В}}{50\text{ В/см}} = 4\text{ см}$$

Решение задач обязательно ведут в международной системе (СИ). Вычисления следует выполнять с помощью электрического микрокалькулятора.

После получения работы с оценкой и замечаниями преподавателя надо исправить отмеченные ошибки, выполнить все его указания и повторить недостаточно усвоенный материал. Если контрольная работа получила неудовлетворительную оценку, то студент выполняет ее снова по старому или новому варианту в зависимости от указаний преподавателя и отправляет на повторную проверку. В случае возникновения затруднений при выполнении контрольной работы студент должен обратиться к лектору для получения письменной или устной консультации.

Сдача экзаменов разрешается студентам, которые получили положительные оценки по всем контрольным работам и имеют зачет по лабораторным работам.

## ЛИТЕРАТУРА

### Основная:

1. Электротехника: Учебник для вузов. / Под ред. В.Г. Герасимова. - 4-е изд., стереотипное. -М.: ООО ТИД «Арис», 2010, -480 с.
2. Электротехника и электроника: Учебник для вузов. В 3 кн. / Под общ. ред. В.Г. Герасимова. - М.: ООО ТИД «Арис», 2011.
3. Рекус Г.Г., Белоусов А.И. Сборник задач и упражнений по электротехнике и основам электроники: Учебное пособие для не электротехнических специальностей вузов. - М.: Высшая школа, 2002. - 416 с.

### Дополнительная:

1. Касаткин А.С., Немцов М.В. Электротехника: Учебник для вузов. - М.: Высшая школа, 2003. - 543 с.
2. Касаткин А.С. Основы электротехники. – М.: Высшая школа, 1996г.
3. Сборник задач по электротехнике и основам электроники. / под ред. Герасимова В.Г./– М.: Высшая школа, 1997г.
4. Основы промышленной электроники. / под ред. Герасимова В.Г./– М.: Высшая школа, 1996г.
5. Примеры и задачи по электротехнике. Мезулин Г.М.- М.: «Энергия», 1979г.
6. Меньшов Б.Г., Суд И.Н. Яризов А.Д., Электрооборудование нефтяной промышленности. – М.: Недра, 1990г.

### ПРИМЕРНАЯ ТЕМАТИКА ОБЗОРНЫХ ЛЕКЦИЙ

### ПРАКТИКА

(для студентов-заочников, сокращенной формы обучения)

- |   |       |     |
|---|-------|-----|
| 1. Расчет линейных электрических цепей постоянного тока | - 1ч. | 2ч. |
| 2. Измерение с электроизмерительными приборами          | - 1ч. |     |
| 3. Расчет цепей переменного тока                        | - 3ч. | 2ч. |
| 4. Расчет цепей трехфазных цепей                        | - 1ч  | 2ч. |
| 5. Трансформаторы                                       | - 1ч. |     |
| 6. Полупроводниковые приборы                            | - 2ч. |     |
| 7. Приборы фото и оптоэлектроники                       | - 1ч. |     |
| 8. Электронные выпрямители и стабилизаторы              | - 1ч. |     |
| 9. Электронные усилители                                | - 1ч. |     |

Итого 12ч. 6ч.

## ПРИМЕРНЫЙ ТЕМАТИЧЕСКИЙ ПЛАН

Код темы	Разделы и темы	Количество часов
1	2	3
1	Введение	2
	Раздел 1. Общая электротехника	
01	1.1 Постоянный электрический ток	17
02	1.2 Электрические измерения и приборы	4
03	1.3 Однофазные электрические цепи переменного тока	23
04	1.4 Трехфазные электрические цепи	10
05	1.5 Трансформаторы	16
06	1.6 Электрические машины переменного тока	13
07	1.7 Электрические машины постоянного тока	8
08	1.8 Электрические и магнитные элементы автоматики	9
09	1.9 Основы электропривода	10
10	1.10 Передача и распределение электрической энергии	8
	Итого по разделу...	120
	Раздел 2. Основы электроники	
11	2.1 Полупроводниковые приборы	27
12	2.2 Интегральные микросхемы	4
13	2.3 Импульсная и цифровая техника	9
	Итого по разделу	40
	Всего по предмету	160

## КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА №1

### Программа

Введение. Достоинства электрической энергии, ее универсальность. Ленинский план ГОЗРЛО, современное состояние и перспектива дальнейшего развития электроэнергетики, электротехники, электроники. Источники электрической энергии ГЭС, ТЭС, АЭС и др. Энергосистемы. Энергетика и окружающая среда.

Роль электрификации в автоматизации производства. Применении микропроцессоров и создании автоматизированных комплексов.

Общие сведения о содержании предмета. Значение электротехнической подготовки для специалистов среднего звена.

### Раздел I. ОБЩАЯ ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

#### Тема 1.1 Постоянный электрический ток

Студент должен знать: простейшие способы расчета электрических цепей, свойства проводниковых материалов и диэлектриков.

Уметь: находить ток, напряжение, сопротивление, мощность, потерю напряжения в проводах, выбирать провод нужного сечения и предохранитель.

Сведения об электрическом поле, напряженности, потенциале, напряжении, проводниках и диэлектриках, электрической емкости и конденсаторах; понятия сопротивления, зависимости его от размеров материала и температуры, сверхпроводимости, Закона Ома, Джоуля – Ленца получены в курсе физики, поэтому их следует повторить. Больше внимания необходимо уделить проводниковым изделиям: силовым кабелям и кабелям связи, линейным, установочным, обмоточным проводам и предохранителям.

Основы расчета электрических цепей постоянного тока: режим номинальный, рабочий, холостого хода, короткого замыкания, условные обозначения на схемах. Понятие о расчете цепей методом свертывания схем. Потеря напряжения и мощности в проводах. Выбор сечения проводов по условиям нагрева и потере напряжения. Выбор предохранителей. Понятие о нелинейных элементах в электрической цепи.

Задачи и вопросы для самопроверки

1. Изобразите картину электрического поля положительного точечного заряда. В каком направлении станет перемещаться пробный отрицательный заряд, помещенный в такое поле?
2. Какое поле называют электростатическим?
3. Что такое напряженность электрического поля? Имеет ли эта величина направление?
4. В каких единицах выражают напряженность электрического поля?
5. Что называют напряжением между двумя точками поля? Приведите связь между напряженностью поля и напряжением?
6. Напряженность электрического поля у поверхности Земли  $E = 130 \text{ В/м}$ . Чему равно напряжение между головой человека, имеющего рост 1,7 м, и его ногами? *Ответ: 221В.*
7. Дайте определение потенциала. Вычислите потенциалы анода и сетки электронной лампы относительно катода, если известно, что для переноса электрона с зарядом  $-1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$  с катода на анод требуется совершить работу  $4 \cdot 10^{-11} \text{ Дж}$ , а с катода на сетку,  $1,6 \cdot 10^{-18} \text{ Дж}$ . *Ответ: 250В, 10В.*
8. Можно ли считать водный раствор щелочи проводником второго рода? Для каких проводников характерна электронная электропроводность?
9. Каким зарядом обладает конденсатор емкостью 2 мкФ, если напряжение между его пластинами равно 100 В? *Ответ:  $2,10 \cdot 10^{-4} \text{ Кл}$ .*
10. Напишите формулу для емкости плоского конденсатора. Как изменится его емкость, если одновременно уменьшить площадь пластин в 2 раза, а расстояние между ними в 3 раза? *Ответ: увеличиться в 1,5 раза*
11. Определите емкость плоского конденсатора, если площадь его пластин равно  $0,001 \text{ м}^2$ , расстояние между пластинами 0,1 мм, а относительная диэлектрическая проницаемость равна 7,0. *Ответ:  $0,62 \cdot 10^{-9} \text{ Ф}$ .*
12. Сколько пластин площадью  $0,01 \text{ м}^2$  надо собрать, чтобы получить конденсатор емкостью 1 мкФ, если в качестве диэлектрика использована лакотань толщиной 0,05 мм с относительной диэлектрической проницаемостью равно 50? *Ответ: 11.*
13. Определите энергию, запасенную в конденсаторе емкостью 10 мкФ при напряжении на пластинках 100 В. *Ответ 0,05 Дж*
14. Три конденсатора емкостью 3,6 и 2 мкФ соединили сначала параллельно, а затем последовательно. Во сколько раз изменилась их общая емкость? *Ответ: в 11 раз.*
15. Поясните явление поляризации диэлектрика. Почему поляризованные атомы ослабляют внешнее поле?
16. Перечислите основные типы диэлектриков: газообразных, жидких и твердых. Какие из них используются в электрических аппаратах и электрических машинах?
17. При испытании в стандартном разрядке трансформаторного масла пробой наступил при напряжении 25 кВ. Принимая пробивную напряженность для масла  $1000 \text{ кВ/м}$ , определите расстояние между электродами разрядника. *Ответ: 2,5см.*
18. Что называют электрическим током? Укажите его направление во внешней и внутренней цепи источника электрической энергии.
19. Приведите примеры источников электрического тока, которых механическая и химическая энергия превращается в электрическую.
20. Начертите схему электрической цепи, состоящей из источника тока, выключателя предохранителей и двух ламп, включенных параллельно. Что произойдет в цепи и при перегорании одной лампы?
21. Дайте определение электродвижущей силы источника, напряжения на зажимах и внутреннего падения напряжения. Чему равны эти величины, если в цепи проходит

- ток 2А через внутреннее сопротивление 0,5 Ом и внешнее сопротивление 9,5 Ом?  
*Ответ: 20В, 19В, 1 В.*
22. Имеются два источника тока с сопротивлением 0,1 и 0,5 Ом. Какой из них нужно выбрать, чтобы изменение тока нагрузки в меньшей степени оказывалось на значении напряжения на его зажимах?
23. Напишите закон Ома для всей цепи и для одного ее участка: внешнего и внутреннего.
24. Можно ли считать, что напряжение на концах какого-либо резистора одновременно является падением напряжения в нем?
25. Напишите формулы для определения сопротивления проводника через удельное сопротивление и электрическую проводимость. Как изменится сопротивление проводника при одновременно увеличении его длины в четыре раза, а диаметра в два раза? *Ответ: останется прежним.*
26. Для определения длины медного провода катушки к ней приложили напряжение 4В и измерили ток в цепи, который оказался равным 0,5А, диаметр провода 0,8 мм. Найдите длину провода, если проводимость меди  $53 \text{ м}/(\text{Ом}\cdot\text{мм}^2)$ . *Ответ: 213 м.*
27. Напишите формулы для определения мощности, теряемой в резисторе сопротивлением R? Через квадрат тока и сопротивление; квадрат напряжения и сопротивления; ток и напряжение.
28. Электрическая печь рассчитана на напряжение 220 В и ток 5 А. Какую энергию израсходует печь за 4 ч. Работы? Принимая стоимость 1 кВт\*ч, равной 2 коп. определите стоимость израсходованной энергии. *Ответ: 4,4 кВт\*ч; 8,8 коп.*
29. Какое явление называют коротким замыканием цепи? Как защитить цепь от тока короткого замыкания?
30. Напишите формулу для определения потери напряжения в проводах. Чему равнее К.П.Д. линии электропередачи напряжением 220 В, если в ней теряется 10 Вт?  
*Ответ: 94,5%*
31. Выведите формулы для определения общего сопротивления цепи в двух случаях: а) последовательно включенные резисторы  $R_1, R_2, R_3, R_4$ ; б) параллельно включены резисторы  $R_1, R_2, R_3$ .
32. Последовательно включены три резистора:  $R_1=10 \text{ Ом}$ ;  $R_2=15 \text{ Ом}$ ;  $R_3=6 \text{ Ом}$ . Чему равно общее сопротивление цепи? Какое падение напряжения будет на третьем резисторе, если к цепи приложено напряжение, равное 52 В? *Ответ: 31 Ом, 12 В.*
33. Резисторы, указанные в предыдущем вопросе соединили параллельно и включили в цепь с напряжением 50 В. Чему равно общее сопротивление цепи и ток во втором резисторе. *Ответ: 3 Ом, 4 А.*
34. Две лампы мощностью 200 и 25 Вт, рассчитанные на напряжение 127 В, соединяли последовательно и включили в сеть с напряжением 220 В. Какой накал будет у каждой лампы? *Ответ: напряжение на лампах  $U_1=24 \text{ В}$ ,  $U_2=196 \text{ В}$ . Свечение лампы мощностью 200 Вт, практически отсутствует.*
35. Напишите формулы для Э.Д.С.источника, работающего в режиме потребителя и в режиме генератора. Какие направления в этих случаях имеют Э.Д.С.и ток в линии?
36. Сформулируйте второй закон Кирхгофа для замкнутого контура с несколькими Э.Д.С.Как в этом случае определяется знак каждой э.д.с.?
37. Какую цепь называют сложной? Какие законы используют для ее расчета?

38. Сложная цепь содержит четыре узла и пять ветвей. Сколько уровней для ее расчета нужно написать на основании первого и второго законов Кирхгофа? *Ответ: 3 по первому и 2 по второму законам Кирхгофа.*
39. Определите напряжение на нагрузке при питании ее четырьмя последовательно соединенными источниками с э.д.с., равной 6 В, и внутренним сопротивлением 20 Ом каждый, если ток в цепи равен 0,1 А. *Ответ: 16 В.*
40. Напишите формулы для определения Э.Д.С. батареи и ее внутреннего сопротивления при последовательном и параллельном соединениях источников.

## Тема 1.2. Электрические измерения и приборы

Студент должен знать: основные правила включения электроизмерительных приборов.

Уметь: выбирать нужный для измерения прибор, определять цену деления, оценивать точность измерений, правильно включать приборы в цепь.

Общие сведения об измерениях, физических величинах, единицах измерения, прямых и косвенных измерениях были даны в курсе физики. Поэтому здесь о них следует напомнить или дать возможность повторить самостоятельно.

Понятие о погрешности измерений, классах точности, классификации электроизмерительных приборов. Общее устройство механизмов и узлов электроизмерительных приборов. Условные обозначения на шкалах.

Измерение тока и напряжения. Расширение пределов измерений.

Измерение мощности и энергии. Схемы включения приборов.

Измерение сопротивлений: омметры, мосты, косвенные методы. Комбинированные приборы.

Задачи и вопросы для самопроверки

1. Какую погрешность называют абсолютной? Относительной?
2. Истинное значение тока в цепи 4,23 А. Амперметр с верхним пределом измерения 10 А показал 5,3 А. Определите абсолютную и относительную погрешность измерения. *Ответ: 0,07 А; 1,34%.*
3. В резисторе, истинное значение сопротивления которого 8 Ом, проходит ток 2,4А. При измерении напряжения на этом резисторе вольтметр показал напряжение 19,3 В. Определите абсолютную и относительную погрешности измерения. *Ответ: 1В; 0,52%.*
4. Какими значками на шкале обозначают приборы магнитно электрической: электромагнитной, электродинамической и индукционной систем?
5. Приборы каких систем – магнитоэлектрической, электромагнитной или электродинамической – можно использовать для измерений в целях постоянного и переменного тока?

6. Составьте таблицу, поясняющую принцип действия, характер шкалы, род, измеряемого тока, преимущества и недостатки основных систем электроизмерительных приборов.
7. Поясните работу воздушного и магнитного успокоителей подвижной системы.
8. Амперметр, имеющий внутреннее сопротивление 0,02 Ом и верхний предел измерения 10 А, необходимо использовать для измерения токов до 100 А. Определите сопротивление шунта прибора и падение напряжения на амперметр, шунте. *Ответ:  $2,3 \cdot 10^{-3}$  Ом; 0,2 В.*
9. Начертите схему амперметра с многопредельным шунтом и вольтметра с многопредельным добавочным сопротивлением.
10. Номинальное напряжение вольтметра 10 В, внутреннее сопротивление его 5 кОм. Какое допустимое напряжение может быть в измеряемой цепи, если к вольтметру подключен добавочный резистор с сопротивлением 15 кОм? *Ответ: 40 В.*
11. Почему показания омметра- логометра не зависят от напряжения источника?
12. Поясните порядок измерения сопротивления изоляции линии мегомметром.
13. Надо измерить сопротивление изоляции проводов, проложенных в трубе. Начертите схему включения мегомметра.
14. При измерении сопротивления резистора методом амперметра и вольтметра показания приборов были 11мА, и 10 В. Определите сопротивление резистора, если внутреннее сопротивление вольтметра равно 10 кОм, а внутренним сопротивлением амперметра можно пренебречь. Потери в приборах принять равными нулю. Вольтметр включен параллельно измеряемому сопротивлению. *Ответ: 1000 Ом.*
15. Начертите схемы включения электродинамического ваттметра для измерения мощности: а) в цепи однофазного тока; б) в трехпроводной трехфазной цепи при равномерной нагрузке фаз;
16. В цепи постоянного тока мощности измерялась по показаниям 10 А  $\pm$  1% и вольтметра 100 В  $\pm$  2%. Определите мощность и относительную погрешность ее измерения. *Ответ: 1000 Вт  $\pm$  3%.*
17. Ваттметр со шкалой на 50 делений имеет переключатель токовой обмотки на 2,5 и 5А. Определите цену деления и чувствительность при обоих показаниях переключателя и напряжениях последовательной цепи ваттметра 500, 100 и 200 В. *Ответ: 25Вт/дел; 5Вт/дел; 10Вт/дел; 50 Вт/дел; 10 Вт/дел; 20 Вт/дел.*
18. Ваттметр включен через измерительные трансформаторы тока 150/5 и напряжения 800/100. Определите мощность, потребляемую нагрузкой, если ваттметр показывает 300 Вт. *Ответ: 72 кВт.*
19. Расход энергии, показанный счетчиком, составил 800 кВт.ч Счетчик имеет относительную погрешность 1,8% в сторону увеличения фактического расхода энергии. Найти действительный расход энергии. *Ответ: 785,9 кВт.ч.*
20. Какая энергия будет регистрироваться счетчиком за 20 оборотов, если номинальная постоянная счетчика 1200 Вт\*с/об? *Ответ: 24 кДж.*
21. Начертите схему включения однофазного счетчика.
22. Укажите назначение датчика при измерении неэлектрических величин.
23. Поясните принцип работы уровнемера с использованием реостатного датчика.
24. Как измерить деформацию детали проволочным датчиком?
25. Поясните принцип действия электрического тахометра.

### Тема 1.3 Однофазные электрические цепи переменного тока.

Студент должен знать: основные правила и векторные диаграммы для различных элементов цепи переменного тока.

Уметь: решать несложные задачи на расчет цепей переменного тока, находить коэффициент мощности.

Изучение темы базируется на основных понятиях о переменном токе, его характеристиках и изображении, полученных в курсе физики. Поэтому указанные вопросы, исключая векторные диаграммы, рекомендуется повторить обзорно, включая самостоятельную работу на уроке и внеаудиторно.

Векторные диаграммы, их обоснование. Активное сопротивление, индуктивность и емкость в цепи переменного тока, сдвиг фаз между током и напряжением (без вывода формул).

Последовательное соединение (неразветвленная цепь) с активными и реактивными элементами. Треугольник сопротивлений, напряжений, мощностей. Разветвленная цепь. Резонанс токов и напряжений в цепях переменного тока.

Коэффициент мощности, его значение и способы повышения.

#### Задачи и вопросы для самопроверки

1. Каким образом можно получить Э.Д.С. синусоидальной формы и от каких факторов зависит ее значение?
2. Что называют мгновенным, амплитудным и действующим значениями переменного тока и напряжения? К каким на этих значений относятся стандартные напряжения 127, 220, 380, 660 В?
3. Выведите зависимость частоты переменного тока от частоты вращения рамки и числа пар полюсов машины.
4. Определите период и частоту переменного тока, если угловая частота равно 314 рад/с. *Ответ: 0,02 с, 50 Гц.*
5. Выражения для мгновенных значений тока и напряжения имеют вид  $i=14\sqrt{2} \sin(\omega t+\pi/2)$ ;  $u=169 \sin(\omega t+\pi/2)$ . Определите показания амперметра и вольтметра, включенных в эту цепь. *Ответ: 10А, 120В.*
6. Что называют начальным фазовым углом и углом сдвига фаз? Как определить угол сдвига фаз между двумя э.д.с., пользуясь их волновыми диаграммами?
7. Как определить, какая из синусоидальных величин опережает по фазе другую?
8. Начертите графики тока, напряжения, мощности и векторную диаграмму для цепи с активным сопротивлением. Какой вид имеет закон Ома для такой цепи?
9. То же, для цепи с индуктивностью; то же, для цепи с емкостью.
10. То же, для неразветвленной цепи с активным сопротивлением, индуктивностью и емкостью. Начертите для такой цепи треугольники напряжений, сопротивлений и мощностей.
11. В чем заключается явление резонанса напряжения? Каковы его последствия? Почему при резонансе напряжения на катушке и конденсаторе могут превышать напряжение сети?
12. В цепь переменного тока включен резистор с сопротивлением  $R=10 \text{ Ом}$ . Ток и напряжение в цепи не меняются по законам  $i=28,2 \sin 314\omega t$ . Определите показания амперметра, вольтметра и ваттметра, включенных в эту цепь. *Ответ: 20А, 22В, 4400Вт.*

13. В цепь предыдущего примера включили катушку с индуктивностью  $L=0,01$  Гн. Определите ее индуктивное сопротивление. *Ответ: 3,14 Ом.*
14. Определите сопротивление конденсатора емкостью 4 мкФ при частоте переменного тока 50 Гц. При какой частоте его сопротивление уменьшится в 10 раз? *Ответ: 637 Ом, 500 Гц.*
15. Конденсатор и электрическую лампу соединили последовательно и включили в сеть переменного тока с напряжением 220В и частотой 50 Гц. Какую емкость должен иметь конденсатор, чтобы лампа мощностью 60 Вт и напряжением 127 В имела нормальный накал? *Ответ: 8,3 мкФ.*
16. Начертите векторную диаграмму цепи при параллельном соединении реальной катушки и конденсатора без потерь.
17. Как определить ток в неразветвленной части цепи при параллельном соединении сопротивлений?
18. Напишите условие наступления в цепи резонанса токов и начертите для такого случая векторную диаграмму. В цепи реальная катушка и конденсатор без потерь.
19. Почему повышение реактивной мощности потребителя приводит к необходимости увеличивать установленную мощность генераторов и трансформаторов?
20. Что называют коэффициентом реактивной мощности?
21. Какую реактивную мощность называют оптимальной?
22. Предприятие потребляет активную мощность  $P=1000$  кВт и реактивную  $Q=800$ квАр. Энергосистема задает предприятию оптимальную реактивную мощность  $Q_2=300$ квАр. Определите необходимую мощность конденсаторной батареи для выполнения предписания энергосистемы. Чему равен коэффициент реактивной мощности до установки батареи конденсаторов и после ее установки? *Ответ  $Q_0=500$  квАр;  $\operatorname{tg}\varphi=0,8$ ;  $\operatorname{tg}\varphi_2=0,3$ .*
23. Для неразветвленной цепи переменного тока, содержащей активное, индуктивное и емкостное сопротивления, определите величины указанные в таблице вариантов.

Вариант	R, Ом	$X_L$ , Ом	$X_C$ , Ом	Задание	Определить	Ответы
1	3	6	2	$I=10A$	$z$ ; $U$ ; $\cos\varphi$ ; $S$ ; $P$ ; $Q$	$z=5$ Ом; $U=50$ В; $\cos\varphi=0,6$ ; $S=500$ В*А; $P=300$ Вт; $Q=400$ Вар
2	8	4	10	$S=640$ В*А	$z$ ; $I$ ; $U$ ; $\operatorname{tg}\varphi$ ; $P$ ; $Q$	$z=10$ Ом; $I=8A$ ; $U=80$ В; $\operatorname{tg}\varphi=-0,6$ ; $P=512$ Вт; $Q=-384$ Вар
3	12	20	4	$P=192$ Вт	$z$ ; $I$ ; $U$ ;	$z=20$ Ом; $I=4A$ ;

					$\sin\varphi$ ; Q; S	U= 80В; $\sin\varphi=0,8$ ; Q=256 Вар; S=320 В*А
4	6	4	12	U= 50 В	z; I; $\cos\varphi$ ; S; Q; P	z=10 Ом; I= 5А; $\cos\varphi=0,6$ ; S=250 В*А P=150 Вт; Q=-200вар

24. Для разветвленной цепи переменного тока, содержащей две параллельные ветви, определить величины, указанные в таблице вариантов.

Вариант	Первая ветвь			Вторая ветвь			Задано	Определить	Ответы
	R <sub>1</sub> , Ом	X <sub>L1</sub> , Ом	X <sub>C1</sub> , Ом	R <sub>2</sub> , Ом	X <sub>L2</sub> , Ом	X <sub>C2</sub> , Ом			
1	6	8	-	-	-	10	U=100В	I <sub>1</sub> ; I <sub>2</sub> ; P; Q; S; I	I <sub>1</sub> = I <sub>2</sub> =10А; P=600 Вт; Q= -200 Вар; S=633 В*А; I=6,33 А
2	6	-	-	-	-	8	I <sub>1</sub> =8А	U; I <sub>2</sub> ; I; P; Q; S	U=48 В; I <sub>2</sub> =6 А; I=10 А; P=384 Вт; Q=-288 вар; S= 480 В*А
3	-	5	-	3	-	4	P=192Вт	I <sub>1</sub> ; U; I <sub>2</sub> ; Q; S; I	I <sub>1</sub> =8А; U=40В; I <sub>2</sub> =8А; Q=64 вар; S=202 В*А; I=5,05 А

#### Тема 1.4 Трехфазные электрические цепи

Учащийся должен знать: основные соотношения для токов и напряжений в трехфазных цепях.

Уметь: производить расчет несложных трехфазных электрических цепей, подключать однофазные приемники в трехфазную сеть.

Понятие о трехфазных цепях у учащихся не сформировано. Поэтому содержание темы должно быть раскрыто более глубоко, так как знание этого материала необходимо для курса, «Электрооборудование».

Цель создания и сущность трехфазной системы. Понятие об устройстве и принципе работы трехфазного генератора, способах соединения его обмоток, линейном и фазном напряжении.

Расчет трехфазных симметричных цепей при соединении звездой и треугольником. Фазные и линейные токи.

Несимметричные трехфазные цепи. Четырехпроводная система, роль нулевого провода, понятие об аварийных режимах.

#### Задачи и вопросы для самопроверки

1. Какими преимуществами обладает трехфазная система перед однофазной?
2. Как получить трехфазную систему э.д.с.? Какие стандарты напряжения используются для трехфазных цепей?
3. Начертите схемы несвязанной и связанной системы; для связанной системы при соединении обмоток генератора и потребителя звездой и треугольником. Покажите на схеме фазные и линейные напряжения.
4. Приведите соотношения между фазными и линейными напряжениями и токами при соединении звездой и треугольником.
5. Каждая фаза обмотки трехфазного электродвигателя рассчитана на напряжение 380 В. Как следует соединить обмотки при линейном напряжении сети 380 и 660 В?
6. Три одинаковых резистора соединили звездой и включили в сеть с линейным напряжением  $U_{ном}$ . Затем резисторы соединили треугольником и включили в ту же сеть. Во сколько раз изменились линейные токи при таком переключении резисторов? *Ответ: в 3 раза.*
7. В каких случаях применяют четырехпроводную систему? Какова в ней роль нулевого провода?
8. К трехфазной сети с нулевым проводом присоединена несимметричная нагрузка: в фазу А включены активное сопротивление  $R_A = 6$  Ом и индуктивное  $X_{LA} = 8$  Ом, в фазу В – емкостное сопротивление  $X_{CB} = 5$  Ом, в фазу С – активное сопротивление  $R_C = 10$  Ом. Нагрузка соединена звездой. Линейное напряжение сети  $U_{ном} = 380$  В. Определите линейные токи? Начертите векторную Диаграмму? Из которой графически найдите ток в нулевом проводе. *Ответ:  $I_A = 38$  А;  $I_B = 44$  А;  $I_C = 38$  А;  $I_O = 47$  А.*
9. Начертите в масштабе векторную диаграмму напряжений и токов потребителя при симметричной нагрузке и соединении треугольником. Из диаграммы графически определите линейные токи. Потребитель в каждой фазе содержит активное сопротивление  $R = 4$  Ом и индуктивное  $X_L = 3$  Ом. Линейное напряжение сети  $U_{ном} = 220$  В. *Ответ:  $I_A = 76$  А.*

10. Почему в нулевой провод не разрешается устанавливать предохранитель? Является ли аварийным режимом обрыв нулевого провода при соединении трехфазного генератора и потребителя: а) при симметричной нагрузке; б) при несимметричной нагрузке?
11. Как определить активную, реактивную и полную мощности в трехфазной цепи при симметричной и несимметричной нагрузках?
12. Определите активную мощность трехфазного потребителя, соединенного звездой, имеющего в каждой фазе активное и индуктивное сопротивление. Полное сопротивление фазы равно 9 Ом, коэффициент мощности фазы  $\cos\varphi=0,7$ . Линейное напряжение сети  $U=380$  В. *Ответ: 11, 25 кВт.*

### Тема 1.5. Трансформаторы

Студент должен знать: основные соотношения между токами и напряжениями, числами витков и обмотке, режимы работы трансформатора.

Уметь: рассчитывать число витков в обмотках, определять К.П.Д., выбирать трансформатор по мощности.

Перед изучением этой темы следует вернуться к вопросу о потере направления в проводах, кратко напомнить суть электромагнитной индукции и самоиндукции, правило Ленца (изучены в курсе физики).

Назначение трансформаторов. Работы русских электротехников П.Н. Яблочкова, М.О. Долково-Добровольского по созданию трансформаторов.

Устройство и принцип работы однофазного трансформатора.

Холостой ход, коэффициент трансформации, рабочий режим, саморегулируемость, режим короткого замыкания, потери и К.П.Д., нагрев, охлаждение, защита силовых трансформаторов.

Различные типы трансформаторов (понятие); трехфазные, измерительные, сварочные, многообмоточные автотрансформаторы.

### Задачи и вопросы для самопроверки

1. Поясните роль трансформатора в энергетической системе при передаче и распределении электрической энергии.
2. Укажите назначение и устройство основных элементов трансформатора.
3. Поясните принцип действия трансформатора. Почему магнитопровод должен быть изготовлен из ферромагнитного материала и по возможности иметь максимальный зазор?
4. По первичной обмотке проходят постоянные по направлению кратковременные импульсы тока. Будет ли при этом наводиться Э.Д.С. во вторичной обмотке?
5. Какие магнитные потоки имеют место в трансформаторе при нагрузке? Какие Э.Д.С. в обмотках они находят. Приведите соответствующий рисунок.
6. Почему практически коэффициент трансформации можно определить отношением напряжений обмоток именно при холостом ходе трансформатора?
7. Выведите формулу для определения э.д.с., наводимых в обмотках трансформатора. Почему в формулу должна входить частота тока?

8. Определите число витков вторичной обмотки трансформатора, если при магнитном потоке в магнитопроводе  $\Phi_m=0,001$  Вб и частоте тока в сети  $f=50$  Гц в обмотке находится Э.Д.С.  $E_2=220$  В. Как изменится масса трансформатора, если частоту тока увеличить вдвое, а Э.Д.С. обмоток оставить прежним?  
*Ответ: 990.*
9. Определите коэффициент трансформации однофазного трансформатора, если амплитуда магнитной индукции в нем  $B_m=0,8$  Тл; сечение магнитопровода  $Q = 11,5$  см<sup>2</sup>, число витков вторичной обмотки  $W_2=18$ . Трансформатор включен в сеть с напряжением  $U_1=220$  В и частотой тока  $f= 50$  Гц. *Ответ 60.*
10. Как объяснить постоянство основного магнитного потока при изменении нагрузки трансформатора?
11. Поясните принцип саморегулируемости трансформатора. Почему при изменении нагрузки вторичной обмотки автоматически изменяется первичный ток? Какова здесь роль Э.Д.С.  $E$ ?
12. Приведите определение номинальных параметров трансформатора: мощности; напряжений обмоток; токов.
13. Номинальное напряжение вторичной обмотки (т.е напряжение при холостом ходе) равно 400 В. Потери напряжения в трансформаторе при нагрузке составили 20 В. Чему равно напряжение на вторичной обмотке нагруженного трансформатора?
14. Трансформатор с номинальной мощностью  $S_{ном}=10$  кВ\*А имеет номинальное вторичное напряжение  $U_{ном2}= 400$ В. Найдите полезную мощность и коэффициент нагрузки. Если при коэффициенте мощности  $\cos\varphi_2=0,86$  вторичный ток  $I_2=24$  А. Потерями в трансформаторе пренебречь. *Ответ: 7,84 кВт; 0,91.*
15. Число витков первичной обмотки  $W_1=100$ , вторичной  $W_2=500$ . Определите напряжение холостого хода вторичной обмотки, если трансформатор включен в сеть с напряжением 220 В. Найти вторичный ток, если при подключении ко вторичной обмотке активной нагрузки первичный ток  $I_1=10$ А. Потерями в трансформаторе пренебречь. *Ответ: 1100 В; 2А.*
16. Начертите, поясните векторные диаграммы трансформатора в режиме холостого хода и при нагрузке.
17. Какие неисправности могут вызвать понижение вторичного напряжения трансформатора?
18. Какие потери мощности имеют место в трансформаторе при нагрузке?
19. Напишите формулу для определения К.П.Д. трансформатора при любой нагрузке. Как изменится К.П.Д. при повреждении изоляции пластин, магнитопровода?
20. Определите К.П.Д. трехфазного трансформатора номинальной мощностью  $S_{ном}=630$ кВ\*А, работающего с номинальной нагрузкой при коэффициенте мощности потребителя  $\cos\varphi_2=0,85$ . Потери в стали  $P_{ст}=1,56$  кВт, потери в обмотках  $P_{о.ном}=12,2$ кВт. *Ответ: 97.5%*
21. Поясните принцип действия и область применения автотрансформатора.
22. Почему недопустимо размыкание вторичной обмотки трансформатора тока при нагрузке? Почему у трансформатора напряжения или у обычного силового трансформатора такое размыкание безопасно?
23. Каковы особенности устройства сварочных трансформаторов?

## Задание 1

Задача 1 (варианты 01-00). Цепь постоянного тока содержит несколько резисторов, соединенных смешанно. Схема цепи с указанием сопротивлений резисторов приведена на соответствующем рисунке. Номер рисунка, заданные значения одного из напряжений или токов и величина, подлежащая определению, приведены в табл. 3. Всюду индекс тока или напряжения совпадает с индексом резистора, по которому проходит этот ток или на котором действует это напряжение. Например, через резистор  $R_3$  проходит ток  $I_3$  и на нем действует напряжение  $U_3$ . Определить также мощность, потребляемую всей цепью, и расход электрической энергии цепью за 8 ч работы.

Пояснить с помощью логических рассуждений характер изменения электрической величины, заданной в таблице вариантов (увеличится, уменьшится, останется без изменения), если один из резисторов замкнуть накоротко или выключить из схемы. Характер действия с резистором и его номер указаны в табл. 3. При этом считать напряжение  $U_{AB}$  неизменным. При трудностях логических пояснений ответа можно выполнить расчет требуемой величины в измененной схеме и на основании сравнения ее в двух схемах дать ответ на вопрос.

Указание. См. решение типового примера 1.

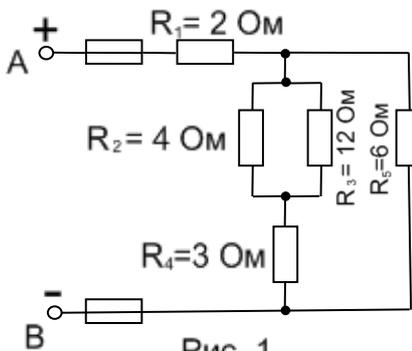


Рис. 1

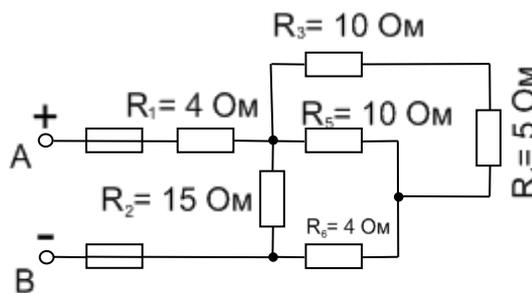


Рис. 2

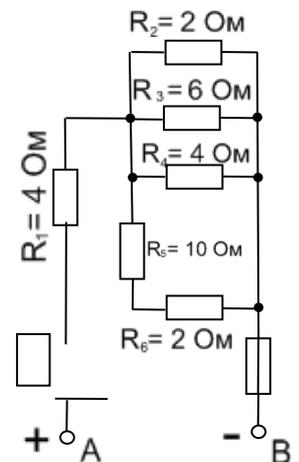


Рис. 3

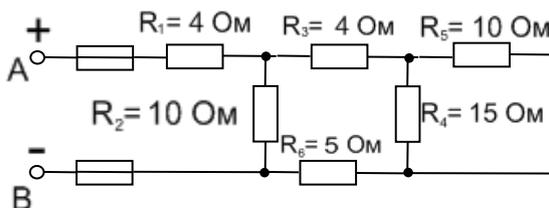


Рис. 4

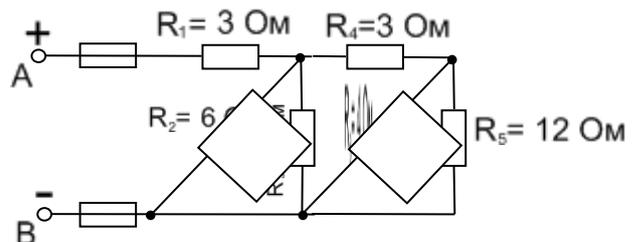


Рис. 5

Номер Варианта	Номер рисунка	Задаваемая величина	Определить	Действие с резистором		Изменение какой величины рассмотреть
				Замыкается накоротко	Выключается из схемы	
01	1	$U_{AB}=100\text{ В}$	$I_3$	$R_1$	-	$I_5$
02	1	$I_1=20\text{ А}$	$I_4$	-	$R_4$	$U_5$
03	1	$U_2=30\text{ В}$	$I_6$	$R_5$	-	$I_1$
04	1	$I_6=10\text{ А}$	$U_{AB}$	-	$R_3$	$I_5$
05	1	$U_{AB}=50\text{ В}$	$I_1$	$R_3$	-	$U_1$
06	1	$I_2=3,75\text{ А}$	$I_5$	-	$R_5$	$U_1$
07	1	$I_4=5\text{ А}$	$U_{AB}$	$R_4$	-	$I_3$
08	1	$U_5=30\text{ В}$	$I_1$	-	$R_3$	$U_4$
09	1	$I_a=1,25\text{ А}$	$U_1$	$R_3$	-	$I_3$
10	1	$U_{AB}=80\text{ В}$	$U_4$	-	$R_4$	$I_5$
11	1	$I_a=1\text{ А}$	$U_5$	$R_2$	-	$U_1$
12	1	$U_1=20\text{ В}$	$I_4$	-	$R_5$	$I_4$
13	1	$I_5=5\text{ А}$	$U_{AB}$	$R_5$	-	$U_1$
14	1	$I_1=12\text{ А}$	$I_3$	-	$R_3$	$U_4$
15	1	$U_5=6\text{ В}$	$I_1$	$R_3$	-	$U_5$
16	1	$U_{AB}=5\text{ В}$	$U_4$	-	$R_5$	$I_3$
17	1	$I_2=3\text{ А}$	$I_5$	$R_4$	-	$U_1$
18	1	$U_2=12\text{ В}$	$U_1$	-	$R_4$	$I_5$
19	1	$U_4=36\text{ В}$	$I_1$	$R_4$	-	$U_5$
20	1	$I_4=12\text{ А}$	$U_{AB}$	-	$R_4$	$U_5$
21	2	$U_{AB}=50\text{ В}$	$I_3$	$R_1$	-	$I_6$
22	2	$I_2=2\text{ А}$	$U_{AB}$	-	$R_3$	$U_1$
23	2	$I_1=5\text{ А}$	$U_4$	$R_3$	-	$I_1$
24	2	$U_5=18\text{ В}$	$I_1$	-	$R_6$	$I_2$
25	2	$I_a=1,2\text{ А}$	$U_{AB}$	$R_5$	-	$U_1$
26	2	$I_5=6\text{ А}$	$I_1$	-	$R_3$	$U_2$
27	2	$U_{AB}=80\text{ В}$	$I_6$	$R_1$	-	$U_5$
28	2	$I_6=3\text{ А}$	$U_1$	-	$R_5$	$U_1$
29	2	$U_4=10\text{ В}$	$U_{AB}$	$R_3$	-	$I_6$
30	2	$U_1=20\text{ В}$	$I_4$	-	$R_3$	$I_5$
31	2	$I_4=2\text{ А}$	$U_{AB}$	$R_6$	-	$I_1$
32	2	$U_2=30\text{ В}$	$I_1$	-	$R_4$	$I_6$
33	2	$I_2=4\text{ А}$	$U_1$	$R_5$	-	$U_3$
34	2	$U_3=20\text{ В}$	$U_{AB}$	-	$R_6$	$U_1$
35	2	$U_{AB}=60\text{ В}$	$I_5$	$R_4$	-	$I_4$

Таблица 3

Номер Варианта	Номер рисунка	Задаваемая величина	Определить	Действие с резистором		Изменение какой величины рассмотреть
				Замыкается накоротко	Выключается из схемы	
36	2	$I_1=20\text{ A}$	$I_4$	-	$R_3$	$U_5$
37	2	$U_6=24\text{ B}$	$U_1$	$R_6$	-	$I_3$
38	2	$U_1=40\text{ B}$	$I_6$	-	$R_5$	$I_4$
39	2	$I_4=6\text{ A}$	$U_{AB}$	$R_4$	-	$U_1$
40	2	$U_{AB}=120\text{ B}$	$I_5$	-	$R_1$	$U_6$
41	3	$I_1=12\text{ A}$	$U_6$	$R_1$	-	$U_3$
42	3	$I_4=3\text{ A}$	$U_{AB}$	-	$R_3$	$U_1$
43	3	$U_{AB}=120\text{ B}$	$I_6$	$R_3$	-	$I_1$
44	3	$U_3=24\text{ B}$	$U_{AB}$	-	$R_2$	$I_6$
45	3	$I_6=4\text{ A}$	$U_1$	$R_6$	-	$U_2$
46	3	$I_1=24\text{ A}$	$I_4$	-	$R_6$	$I_1$
47	3	$U_{AB}=30\text{ B}$	$U_5$	$R_1$	-	$I_1$
48	3	$U_1=96\text{ B}$	$I_2$	-	$R_3$	$I_1$
49	3	$I_5=2\text{ A}$	$I_1$	$R_3$	-	$U_1$
50	3	$U_{AB}=60\text{ B}$	$I_3$	-	$R_4$	$I_3$
51	3	$U_2=12\text{ B}$	$U_{AB}$	$R_5$	-	$I_6$
52	3	$I_1=3\text{ A}$	$U_6$	-	$R_5$	$U_1$
53	3	$I_2=6\text{ A}$	$I_1$	$R_1$	-	$I_6$
54	3	$I_4=3\text{ A}$	$I_1$	-	$R_5$	$U_5$
55	3	$U_{AB}=60\text{ B}$	$I_2$	$R_3$	-	$I_3$
56	3	$I_5=4\text{ A}$	$U_{AB}$	-	$R_3$	$I_3$
57	3	$U_4=36\text{ B}$	$I_1$	$R_4$	-	$U_1$
58	3	$I_a=2\text{ A}$	$U_{AB}$	-	$R_4$	$I_1$
59	3	$U_5=120\text{ B}$	$U_1$	$R_6$	-	$U_5$
60	3	$I_1=24\text{ A}$	$U_{AB}$	-	$R_5$	$U_6$
61	4	$I_1=50\text{ A}$	$I_3$	$R_3$	-	$U_4$
62	4	$I_3=15\text{ A}$	$U_{AB}$	-	$R_2$	$I_2$
63	4	$U_2=120\text{ B}$	$I_4$	$R_1$	-	$U_3$
64	4	$U_{AB}=250\text{ B}$	$I_1$	-	$R_6$	$I_2$
65	4	$I_6=8\text{ A}$	$U_1$	$R_4$	-	$U_1$
66	4	$I_4=4\text{ A}$	$I_2$	-	$R_4$	$I_1$
67	4	$I_5=4,8\text{ A}$	$U_{AB}$	$R_6$	-	$I_2$
68	4	$U_1=200\text{ B}$	$I_6$	-	$R_2$	$U_1$
69	4	$U_4=48\text{ B}$	$U_{AB}$	$R_3$	-	$I_6$
70	4	$I_5=6\text{ A}$	$U_2$	-	$R_5$	$I_2$

Продолжение табл. 3

Номер Варианта	Номер рисунка	Задаваемая величина	Определить	Действие с резистором		Изменение какой величины рассмотреть
				Замыкается накоротко	Выключается из схемы	
71	4	$I_3=2,4 \text{ A}$	$U_{AB}$	$R_5$	-	$U_1$
72	4	$U_{AB}=200 \text{ B}$	$I_5$	-	$R_3$	$I_1$
73	4	$I_1=20 \text{ A}$	$I_4$	$R_1$	-	$U_6$
74	4	$I_3=20 \text{ A}$	$U_{AB}$	-	$R_2$	$I_4$
75	4	$U_4=120 \text{ B}$	$I_2$	$R_3$	-	$U_5$
76	4	$I_1=25 \text{ A}$	$U_{AB}$	-	$R_4$	$I_5$
77	4	$U_{AB}=60 \text{ B}$	$I_4$	$R_5$	-	$I_2$
78	4	$U_5=120 \text{ B}$	$U_1$	-	$R_5$	$U_4$
79	4	$I_5=10 \text{ A}$	$I_1$	$R_1$	-	$I_4$
80	4	$U_{AB}=500 \text{ B}$	$U_4$	-	$R_6$	$U_1$
81	5	$I_5=1 \text{ A}$	$U_{AB}$	$R_3$	-	$I_1$
82	5	$U_4=12 \text{ B}$	$U_1$	-	$R_2$	$U_5$
83	5	$I_3=6 \text{ A}$	$U_{AB}$	$R_5$	-	$U_1$
84	5	$U_{AB}=60 \text{ B}$	$I_1$	-	$R_4$	$I_3$
85	5	$I_1=24 \text{ A}$	$U_{AB}$	$R_1$	-	$U_6$
86	5	$U_1=54 \text{ B}$	$I_6$	-	$R_5$	$U_1$
87	5	$I_6=3 \text{ A}$	$U_1$	$R_3$	-	$I_3$
88	5	$U_5=12 \text{ B}$	$I_2$	-	$R_3$	$I_1$
89	5	$I_1=12 \text{ A}$	$U_{AB}$	$R_6$	-	$U_1$
90	5	$U_2=26 \text{ B}$	$U_1$	-	$R_5$	$I_2$
91	5	$I_5=4,5 \text{ A}$	$I_1$	$R_5$	-	$I_3$
92	5	$U_5=24 \text{ B}$	$U_1$	-	$R_2$	$U_1$
93	5	$U_3=24 \text{ B}$	$U_{AB}$	$R_3$	-	$I_4$
94	5	$I_2=8 \text{ A}$	$I_5$	-	$R_5$	$I_5$
95	5	$U_6=12 \text{ B}$	$I_1$	$R_3$	-	$I_6$
96	5	$I_4=6 \text{ A}$	$U_3$	-	$R_6$	$I_3$
97	5	$I_3=4 \text{ A}$	$U_{AB}$	$R_4$	-	$U_5$
98	5	$I_1=18 \text{ A}$	$U_5$	-	$R_1$	$I_1$
99	5	$U_{AB}=90 \text{ B}$	$I_6$	$R_1$	-	$I_4$
00	5	$I_2=4 \text{ A}$	$U_5$	-	$R_3$	$U_6$

Продолжение к табл. 3

## Задание 2

Задача 2 (варианты 01-50).

Цепь переменного тока содержит различные элементы (резисторы, индуктивности, емкости), включенные последовательно. Схема цепи приведена на соответствующем рисунке. Номер рисунка и значения сопротивлений всех элементов, а также один дополнительный параметр заданы в табл. 4.

Начертить схему цепи и определить следующие величины, относящиеся к данной цепи, если они не заданы в табл. 4: 1) полное сопротивление  $z$ ; 2) напряжение  $U$ , приложенное к цепи; 3) ток  $I$ ; 4) угол сдвига фаз  $\varphi$  (по величине и знаку); 5) активную  $P$ , реактивную  $Q$  и полную  $S$  мощности цепи. Начертить в масштабе векторную диаграмму цепи и пояснить ее построение. С помощью логических рассуждений пояснить характер изменения (увеличится, уменьшится, останется без изменения) тока, активной, реактивной мощности в цепи при увеличении, частоты тока в два раза. Напряжение, приложенное к цепи, считать неизменным.

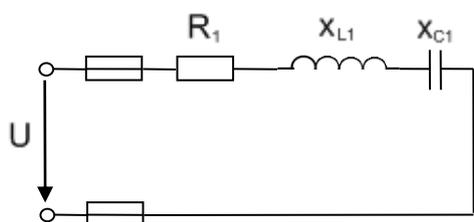


Рис. 6

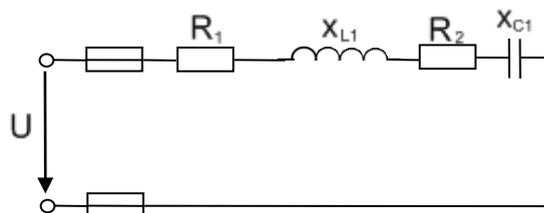


Рис. 7

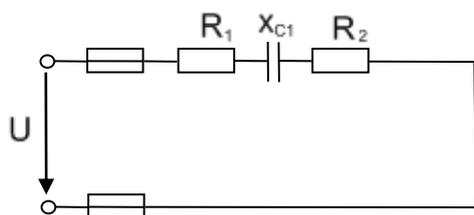


Рис. 8

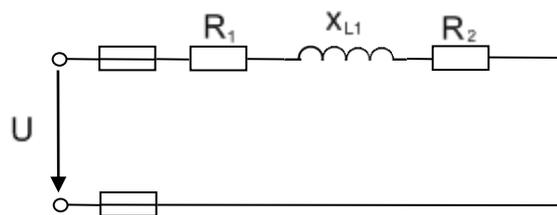


Рис. 9

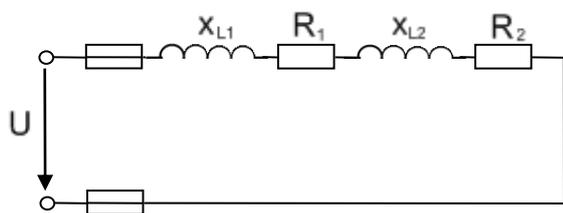


Рис. 10

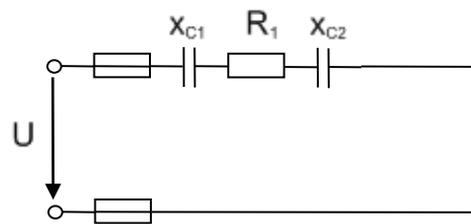


Рис. 11

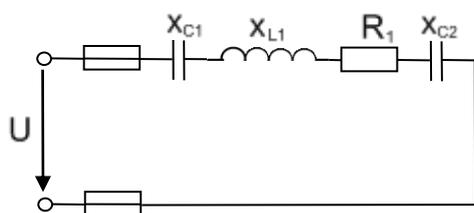


Рис. 12

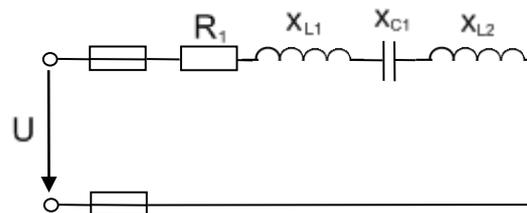


Рис. 13

Таблица 4

Номер варианта	Номер рисунка	$R_1$ , Ом	$R_2$ , Ом	$X_{L1}$ , Ом	$X_{L2}$ , Ом	$X_{C1}$ , Ом	$X_{C2}$ , Ом	Дополнительные параметры
01	6	4	-	6	-	3	-	$Q_{L1}=150$ Вар
02	7	6	2	3	-	9	-	$U=40$ В
03	8	10	6	-	-	12	-	$I_{R1}=5$ А
04	9	6	2	6	-	-	-	$P=150$ Вт
05	10	4	4	3	3	-	-	$S=360$ В*А
06	11	3	-	-	-	2	2	$I=4$ А
07	12	8	-	12	-	4	2	$P=200$ Вт
08	13	16	-	10	8	6	-	$U=80$ В
09	14	10	6	-	-	8	4	$I=2$ А
10	15	2	2	5	-	6	2	$Q=-192$ Вар
11	6	3	-	2	-	6	-	$U=50$ В
12	7	4	4	4	-	10	-	$I=4$ А
13	8	4	2	-	-	8	-	$U_{R1}=20$ В
14	9	8	4	16	-	-	-	$S=320$ В*А
15	10	6	10	8	4	-	-	$P=400$ Вт
16	11	6	-	-	-	5	3	$S=160$ В*А
17	12	12	-	4	-	12	8	$I=4$ А
18	13	6	-	8	4	4	-	$P=54$ Вт
19	14	8	4	-	-	6	10	$S=180$ В*А
20	15	8	8	12	-	4	2	$P=256$ Вт
21	6	6	-	10	-	2	-	$I=5$ А
22	7	4	2	12	-	4	-	$P=24$ Вт
23	8	5	3	-	-	6	-	$S=250$ В*А
24	9	3	1	3	-	-	-	$Q_{L1}=80$ Вар
25	10	4	8	10	6	-	-	$Q=64$ Вар
26	11	8	-	-	-	4	2	$U=40$ В
27	12	6	-	12	-	2	2	$U_{L1}=60$ В
28	16	4	-	8	4	9	-	$Q=75$ Вар
29	14	2	6	-	-	4	2	$U_{R2}=24$ В
30	15	4	2	4	-	8	4	$Q_{L1}=16$ Вар
31	6	8	-	4	-	10	-	$P=800$ Вт
32	7	3	3	2	-	10	-	$Q_{C1}=-160$ Вар
33	8	2	2	-	-	3	-	$P=100$ Вт

34	9	4	4	6	-	-	-	$I=2\text{ A}$
35	10	2	4	2	6	-	-	$U=60\text{ B}$
36	11	16	-	-	-	4	8	$Q=-300\text{ Вар}$
37	12	4	-	10	-	4	3	$U_{C2}=15\text{ B}$

Продолжение табл. 4

Номер варианта	Номер рисунка	$R_1$ , Ом	$R_2$ , Ом	$X_{L1}$ , Ом	$X_{L2}$ , Ом	$X_{C1}$ , Ом	$X_{C2}$ , Ом	Дополнительные параметры
38	13	12	-	14	10	8	-	$U_{R1}=60\text{ B}$
39	14	4	2	-	-	4	4	$Q_{C2}=-256\text{ Вар}$
40	15	1	2	6	-	8	2	$U_{C1}=40\text{ B}$
41	6	12	-	18	-	2	-	$S=500\text{ B}\cdot\text{A}$
42	7	8	4	20	-	4	-	$Q_{L1}=500\text{ Вар}$
43	8	2	1	-	-	4	-	$Q_{C1}=-100\text{ Вар}$
44	9	10	6	12	-	-	-	$U=100\text{ B}$
45	10	6	2	4	-	-	-	$I=4\text{ A}$
46	11	12	-	-	10	10	6	$P=-48\text{ Вт}$
47	12	3	-	8	2	2	10	$Q=-400\text{ Вар}$
48	13	6	-	5	8	8	-	$U_{C1}=16\text{ B}$
49	14	1	3	-	2	2	1	$Q=-48\text{ Вар}$
50	15	10	6	18	4	4	2	$S=80\text{ B}\cdot\text{A}$

Указание. См. решение типового примера 2.

Примечание. В табл. 4. 6 индексы буквенных обозначений следует понимать так:

$Q_L$  – реактивная мощность в первом индуктивном сопротивлении;  $Q_{C1}$  – то же, но в емкостном сопротивлении;  $P_{R1}$  – активная мощность в первом активном сопротивлении;  $U_R$ ,  $U_{L1}$ ,  $U_{C1}$  – падения напряжения соответственно в первом активном, индуктивном, первом емкостном сопротивлениях.

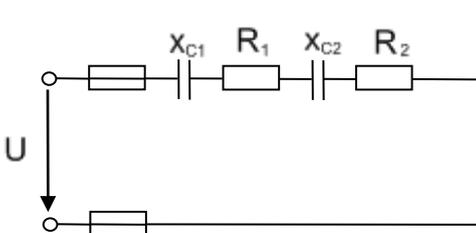


Рис. 14

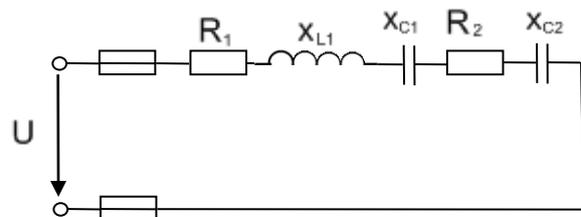


Рис. 15

Задача 3 (варианты 51 – 00). По заданной векторной диаграмме для цепи переменного тока с последовательным соединением элементов ( резисторов, индуктивностей и емкостей) начертить эквивалентную схему цепи и определить следующие величины: 1) сопротивление каждого элемента и полное сопротивление цепи  $z$ ; 2) напряжение  $U$ , приложенное к цепи; 3) угол сдвига фаз  $\varphi$  (по величине и знаку); 4) активную, реактивную и полную мощности ( $P$ ,  $Q$ ,  $S$ ) цепи.

С помощью логических рассуждений пояснить характер изменения (увеличится, уменьшится, Останется без изменения), ток и угол сдвига

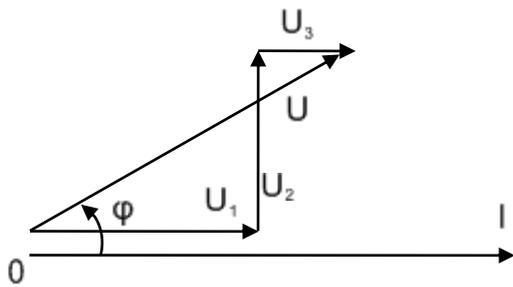


Рис.16

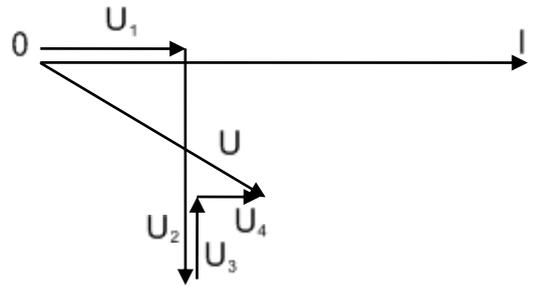


Рис.17

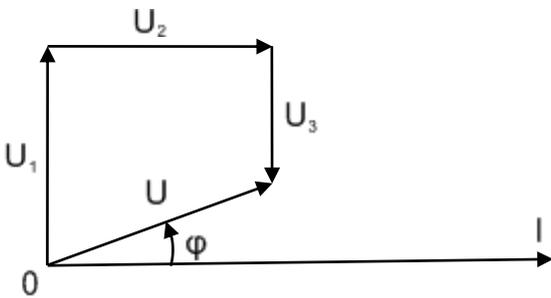


Рис.18

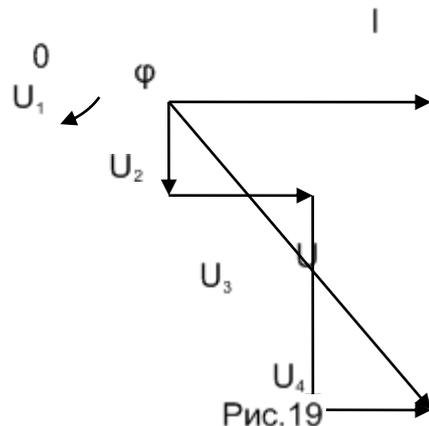


Рис.19

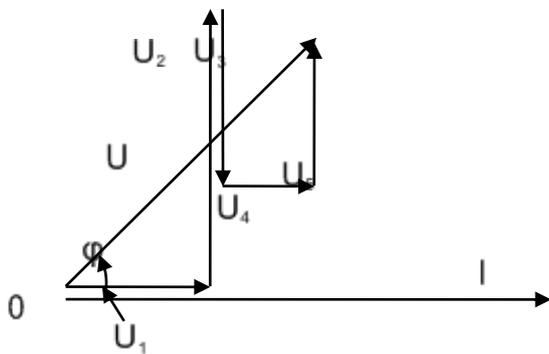


Рис.20

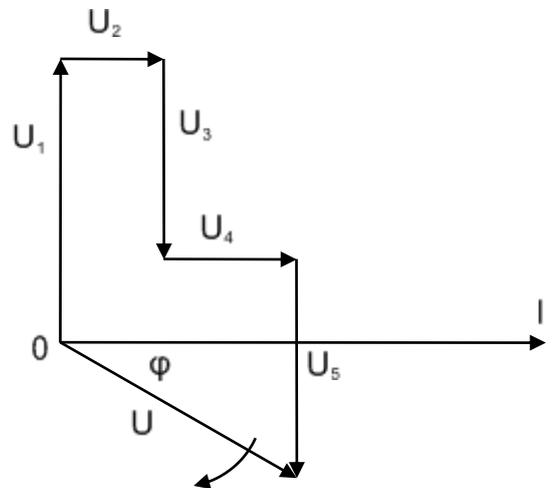


Рис.21

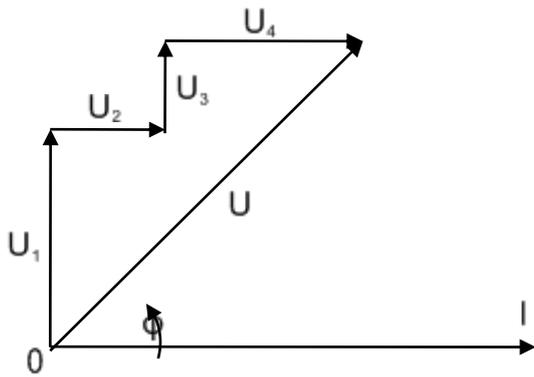


Рис.22

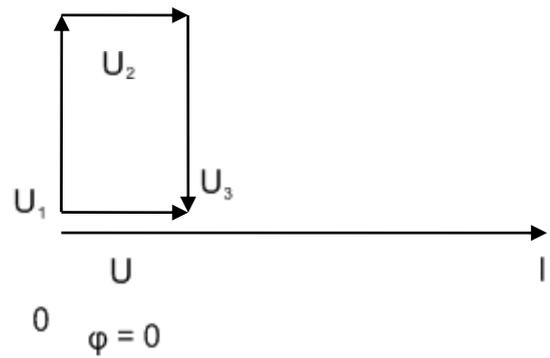


Рис.23

Таблица 5

Номер варианта	Номер рисунка	I, А	U <sub>1</sub> , В	U <sub>2</sub> , В	U <sub>3</sub> , В	U <sub>4</sub> , В	U <sub>5</sub> , В
51	16	5	15	15	5	-	-
52	17	4	32	80	16	16	-
53	18	3	60	48	24	-	-
54	19	2	4	8	12	4	-
55	20	4	12	20	16	4	8
56	21	2	16	2	12	6	10
57	22	3	9	3	3	6	-
58	23	5	50	25	50	-	-
59	24	4	32	56	12	8	-
60	25	10	20	40	30	20	40
61	16	2	10	12	6	-	-
62	17	10	30	50	20	10	-
63	18	4	40	12	24	-	-
64	19	5	50	40	30	20	-
65	20	2	12	20	12	4	4
66	21	3	18	6	12	12	30
67	22	4	20	16	12	8	-
68	23	6	18	12	18	-	-
69	24	5	20	80	30	20	-
70	25	3	48	64	32	16	80
71	16	10	10	40	20	-	-
72	17	5	20	30	20	10	-
73	18	2	20	16	8	-	-
74	19	4	4	8	12	4	-
75	20	3	36	36	24	18	24
76	21	4	16	24	20	40	44
77	22	5	50	40	30	20	-
78	23	7	56	70	56	-	-
79	24	2	4	40	32	12	-
80	25	6	12	30	24	6	30

81	16	3	36	36	12	-	-
82	17	2	16	40	8	8	-
83	18	5	50	30	10	-	-
84	19	10	60	20	20	40	-
85	20	5	10	50	40	20	30
86	21	6	30	6	18	12	36
87	22	2	8	20	16	12	-
88	23	4	60	40	60	-	-

Продолжение табл. 5

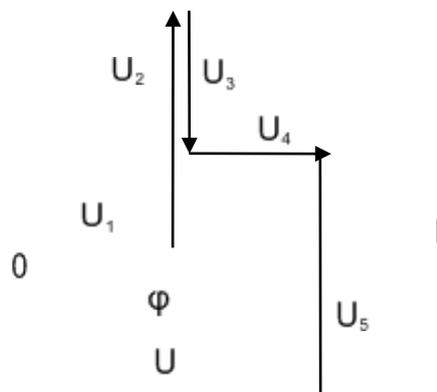
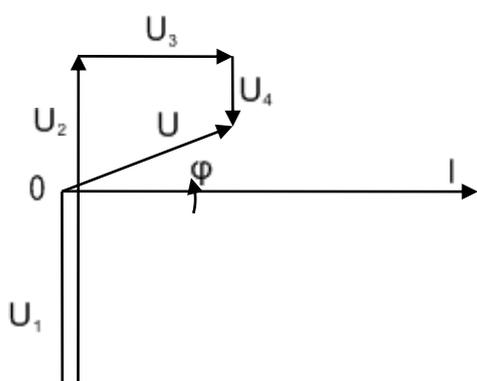
Номер варианта	Номер рисунка	$I, A$	$U_1, B$	$U_2, B$	$U_3, B$	$U_4, B$	$U_5, B$
89	24	3	6	36	24	12	-
90	25	5	30	40	30	50	70
91	16	4	24	24	8	-	-
92	17	1	10	20	8	6	-
93	18	3	60	48	24	-	-
94	19	8	24	8	8	16	-
95	20	6	48	84	24	24	36
96	21	5	20	20	10	20	40
97	22	6	12	36	24	12	-
98	23	2	36	30	36	-	-
99	24	5	20	50	20	15	-
00	25	10	50	100	60	30	100

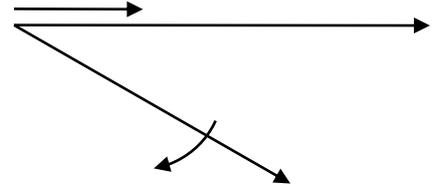
фаз (по величине и знаку) при уменьшении частоты тока в два раза. Напряжение, приложенное к цепи, считать неизменным. Данные для своего варианта принять из табл.5.

Указание См. решение типового примера 3, а также примечания к задаче 2.

### Задание 3

Задача 4 (варианты 01-00). Цепь переменного тока содержит различные элементы (резисторы, индуктивности, емкости), образующие две параллельные ветви. Схема цепи приведена на соответствующем рисунке.





Номер рисунка, значения всех сопротивлений, а также один дополнительный параметр заданы в табл. 6. Индекс «1» у дополнительного параметра означает, что он относится к первой ветви; индекс «2» - ко второй.

Начертить схему цепи и определить следующие величины, если они не заданы в табл. 6: 1) токи  $I_1$  и  $I_2$  в обеих ветвях; 2) ток  $I$  в неразветвленной части цепи;

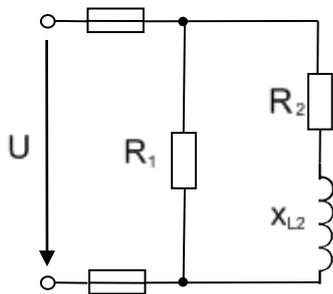


Рис. 26

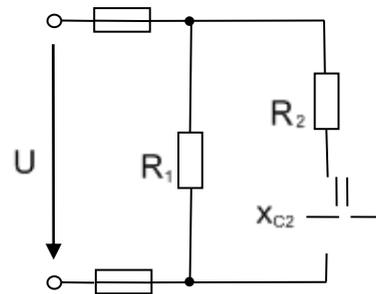


Рис. 27

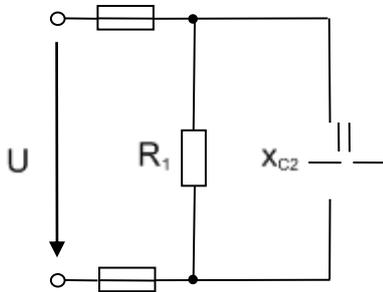


Рис. 28

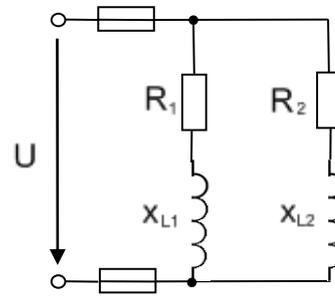


Рис. 29

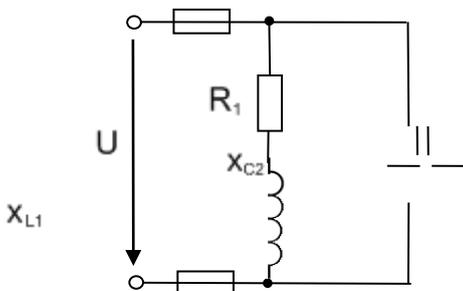


Рис. 30

U

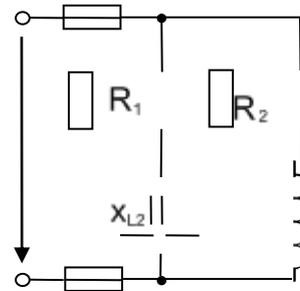


Рис. 31

XC1

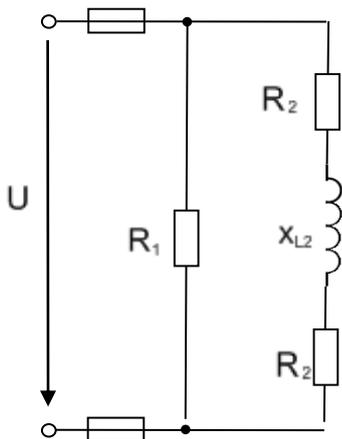


Рис. 32

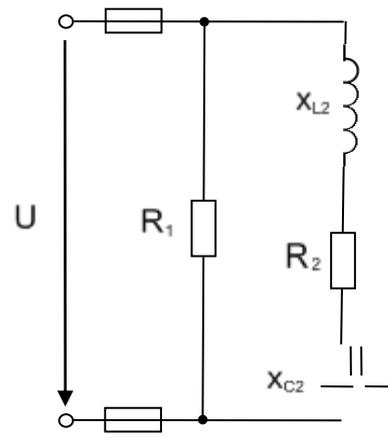


Рис. 33

3) напряжение  $U_1$  приложенное к цепи; 4) активную  $P$ , реактивную  $Q$  и полную  $S$  мощности для всей цепи. Начертить в масштабе векторную диаграмму цепи.

Каким образом в заданной цепи можно получить резонанс токов? Если цепь не позволяет достигнуть резонанса токов, то пояснить, какой элемент надо дополнительно включить в цепь для этого. Начертить схему такой цепи.

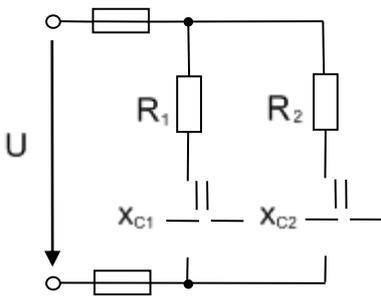


Рис. 34

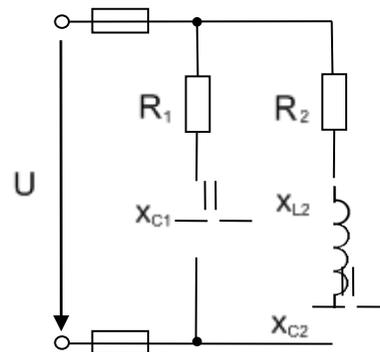


Рис. 35

Указания 1. См. решение типового примера 4. 2. См. примечание к задаче 2.

#### Задание 4

Задача 5. Для освещения трех одинаковых участков производственного помещения установили люминесцентные лампы мощностью  $P_{л}=40$  Вт каждая. Общее число ламп в помещении  $n$  распределено поровну между участками. Лампы рассчитаны на напряжение  $U_{л}$ ; линейное напряжение трехфазной сети равно  $U_{ном}$ . Каждый участок получает питание от одной фазы сети при соединении ламп звездой либо от двух соответствующих фаз при соединении ламп треугольником. Для работы ламп использованы специальные пускорегулирующие аппараты, содержащие катушки со стальными магнитопроводами, поэтому коэффициент мощности ламп меньше единицы:  $\cos\varphi=0,95$ .

Выбрать необходимую схему присоединения ламп к трехфазной сети (звездой или треугольником) и начертить ее. Определить линейные токи  $I_L$  в проводниках сети, питающей лампы при равномерной нагрузке фаз. Начертить в масштабе векторную диаграмму цепи и пояснить ее построение. Какая активная энергия будет израсходована всеми лампами за 8 ч. Работы?

Указания: 1. Ток (в А), потребляемый лампами участка:

$$I = \frac{P_{\Sigma} n}{3U_{\Sigma}}$$

2. При равенстве напряжений ламп и сети лампы следует включить треугольником. Если напряжение сети превышает напряжение ламп в  $\sqrt{3}$  раза, лампы включают звездой.

3. При включении ламп звездой линейный ток  $I_L$  равен току  $I$ . При включении ламп треугольником линейный ток  $I_L = \sqrt{3}I$ .

Таблица 6

Номер варианта	Номер рисунка	$R_1$ , Ом	$R_2$ , Ом	$X_{L1}$ , Ом	$X_{L2}$ , Ом	$X_{C1}$ , Ом	$X_{C2}$ , Ом	Дополнительные параметры
01	26	5	3	-	4	-	-	$Q=64$ Вар
02	27	10	8	-	-	-	6	$U=20$ В
03	28	4	-	-	-	-	5	$I_1=5$ А
04	29	4	6	3	8	-	-	$I_2=4$ А
05	30	16	-	12	-	-	10	$P=256$ Вт
06	31	24	16	-	12	32	-	$U=80$ В
07	32	5	4	-	6	-	-	$I_2=6$ А
08	33	15	12	-	20	-	4	$P_1=240$ Вт
09	34	8	16	-	-	6	12	$U=100$ В
10	35	4	8	-	12	3	6	$P_2=288$ Вт
11	26	10	6	-	8	-	-	$U=50$ В
12	27	2	3	-	-	-	4	$I_1=5$ А
13	28	12	-	-	-	-	8	$I_2=6$ А
14	29	6	3	8	4	-	-	$P_2=300$ Вт
15	30	32	-	24	-	-	40	$U=120$ В
16	31	12	8	-	10	16	-	$Q_{L2}=250$ Вар
17	32	2	2	-	3	-	-	$P_2=16$ Вт
18	33	5	8	-	4	-	10	$U=30$ В
19	34	3	6	-	-	4	8	$I_2=1$ А
20	35	8	4	-	5	6	8	$U=20$ В
21	26	4	4	-	3	-	-	$I_2=8$ А
22	27	5	4	-	-	-	3	$I_2=2$ А
23	28	2	-	-	-	-	4	$U=8$ В
24	29	8	12	6	16	-	-	$Q_2=144$ Вар
25	30	48	-	64	-	-	60	$U_{R1}=144$ В
26	31	3	8	-	6	4	-	$I_1=5$ А

27	32	6	3	-	8	-	-	Q=72 Вар
28	33	10	6	-	12	-	4	Q=32 Вар
29	34	24	12	-	-	32	16	U=120 В
30	35	64	24	-	40	48	8	P <sub>1</sub> =64 Вт
31	26	8	4	-	3	-	-	I <sub>1</sub> =5 А
32	27	12	6	-	-	-	8	Q=-288 Вар
33	28	3	-	-	-	-	4	P=43 Вт
34	29	16	3	12	4	-	-	U=40 В
35	30	8	-	6	-	-	8	U <sub>L1</sub> =32 В
36	31	32	16	-	12	24	-	I <sub>2</sub> =6 А
37	32	5	2	-	3	-	-	U=20 В
38	33	20	32	-	30	-	6	P <sub>2</sub> =128 Вт

Продолжение табл. 6

Номер варианта	Номер рисунка	R <sub>1</sub> , Ом	R <sub>2</sub> , Ом	X <sub>L1</sub> , Ом	X <sub>L2</sub> , Ом	X <sub>C1</sub> , Ом	X <sub>C2</sub> , Ом	Дополнительные параметры
39	26	16	6	-	-	12	8	P <sub>1</sub> =64 Вт
40	27	6	8	-	4	8	10	I <sub>1</sub> =5 А
41	28	8	4	-	3	-	-	P <sub>2</sub> =256 Вт
42	29	3	3	-	-	-	4	U <sub>C3</sub> =12 В
43	30	5	-	-	-	-	10	Q=-40 Вар
44	31	24	12	32	16	-	-	U <sub>R1</sub> =48 В
45	32	6	-	8	-	-	12	Q <sub>L1</sub> =288 Вар
46	33	4	6	-	8	3	-	P <sub>1</sub> =256 Вт
47	34	9	4	-	6	-	-	I <sub>1</sub> =10 А
48	35	5	8	-	4	-	10	Q <sub>C2</sub> =-640 Вар
49	26	64	24	-	-	48	32	P <sub>2</sub> =384 Вт
50	27	3	6	-	10	4	2	I <sub>2</sub> =3 А
51	28	10	12	-	16	-	-	U <sub>L2</sub> =24 В
52	29	4	8	-	-	-	6	P <sub>1</sub> =100 Вт
53	30	6	-	-	-	-	3	I <sub>1</sub> =2 А
54	31	16	32	12	24	-	-	U <sub>L1</sub> =48 В
55	32	32	-	24	-	-	25	P=800 Вт
56	33	8	6	-	8	6	-	Q <sub>C1</sub> =-150 Вар
57	34	15	8	-	12	-	-	S <sub>2</sub> =180 В*А
58	35	20	24	-	40	-	8	U <sub>2</sub> =24 В
59	26	12	8	-	-	16	6	S <sub>1</sub> =180 В*А
60	27	4	6	-	2	3	10	Q <sub>C1</sub> =-432 Вар
61	28	5	16	-	12	-	-	P <sub>1</sub> =320 Вт
62	29	3	6	-	-	-	8	P <sub>2</sub> =54 Вт

63	30	4	-	-	-	-	6	U=12 В
64	31	32	12	24	16	-	-	Q <sub>L2</sub> =64 Вар
65	32	12	-	16	-	-	15	I <sub>2</sub> =4 А
66	33	64	24	-	32	48	-	S <sub>2</sub> =640 В*А
67	34	6	4	-	4	-	-	U <sub>R2</sub> =12 В
68	35	16	16	-	8	-	20	Q <sub>L2</sub> =128 Вар
69	26	4	8	-	-	3	6	S <sub>2</sub> =40 В*А
70	27	12	32	-	30	16	6	Q <sub>L2</sub> =120 Вар
71	28	2	3	-	4	-	-	U <sub>R2</sub> =12 В
72	29	8	16	-	-	-	12	I <sub>1</sub> =5 А
73	30	5	-	-	-	-	8	P=125 Вт
74	31	64	24	48	32	-	-	P <sub>1</sub> =576 Вт
75	32	8	-	6	-	-	5	Q <sub>C2</sub> =-80 Вар
76	33	3	4	-	3	4	-	U <sub>R2</sub> =16 В

Продолжение табл. 6

Номер варианта	Номер рисунка	R <sub>1</sub> , Ом	R <sub>2</sub> , Ом	X <sub>L1</sub> , Ом	X <sub>L2</sub> , Ом	X <sub>C1</sub> , Ом	X <sub>C2</sub> , Ом	Дополнительные параметры
77	32	20	16	-	24	-	-	P <sub>1</sub> =320 Вт
78	33	10	3	-	8	-	4	S <sub>2</sub> =500 В*А
79	34	3	6	-	-	4	8	Q <sub>C1</sub> =-256 Вар
80	35	32	16	-	6	24	18	U <sub>C2</sub> =108 В
81	26	20	6	-	8	-	-	U=60 В
82	27	10	12	-	-	-	16	U <sub>R2</sub> =24 В
83	28	8	-	-	-	-	6	I <sub>1</sub> =8 А
84	29	24	16	32	12	-	-	P <sub>2</sub> =256 Вт
85	30	6	-	8	-	-	10	I <sub>3</sub> =2 А
86	31	16	32	-	24	12	-	S <sub>1</sub> =720 В*А
87	32	5	3	-	8	-	-	U <sub>L2</sub> =32 В
88	33	60	24	-	12	-	60	U <sub>L3</sub> =36 В
89	34	8	12	-	-	6	16	Q <sub>C2</sub> =-144 Вар
90	35	4	8	-	12	3	6	U <sub>R1</sub> =8 В
91	26	10	12	-	16	-	-	Q=400 Вар
92	27	4	8	-	-	-	6	S <sub>2</sub> =40 В*А
93	28	6	-	-	-	-	8	I <sub>1</sub> =8 А
94	29	48	32	64	24	-	-	Q <sub>2</sub> =96 Вар
95	30	3	-	4	-	-	5	U=40 В
96	31	8	3	-	4	6	-	U <sub>C1</sub> =30 В
97	32	12	6	-	16	-	-	U=60 В
98	33	2	4	-	7	-	4	U <sub>C2</sub> =16 В

99	34	4	6	-	-	3	8	$U_{R1}=40 \text{ В}$
00	35	24	16	-	8	32	20	$Q_{C2}=-1280 \text{ Вар}$

4. Потребляемую лампами энергию (в кВт\*ч) за время  $t$  определяем по формуле

$$W = P_{\text{л}} \cdot t. \text{ Здесь } P_{\text{л}} = 40 \text{ Вт} = 0,04 \text{ кВт.}$$

Данные для своего варианта взять из табл. 7.

Задача 6. Каждая фаза трехфазного симметричного потребителя (электродвигатель переменного тока) рассчитана на фазное напряжение  $U_{\text{ф}}$  и имеет активное  $R_{\text{ф}}$  и индуктивное  $x_{\text{ф}}$  сопротивления. Номинальное напряжение сети  $U_{\text{ном 1}}$ . Выбрать схему соединения потребителя в зависимости от номинального напряжения сети  $U_{\text{ном 1}}$  (звездой или треугольником) и начертить ее. Определить активную  $P$ , реактивную  $Q$  и полную  $S$  мощности, расходуемые потребителем. Вычислить потребляемый линейный ток.

Таблица 7

Номер варианта	$n$ , шт	$U_{\text{л}}$ , В	$U_{\text{ном}}$ , В	Номер варианта	$n$ , шт	$U_{\text{л}}$ , В	$U_{\text{ном}}$ , В
01	120	220	380	51	180	127	220
11	90	127	220	61	240	220	220
21	150	220	220	71	360	220	380
31	60	127	220	81	420	220	220
41	300	220	220	91	270	127	220

Как нужно соединить фазы потребителя (звездой или треугольником) для включения его в сеть с номинальным напряжением  $U_{\text{ном 2}}$ ? Вычислить линейные токи в проводах при таком включении. Данные для своего варианта взять из табл. 8.

Таблица 8

Номер варианта	$U_{\text{ф}}$ , В	$R_{\text{ф}}$ , Ом	$x_{\text{ф}}$ , Ом	$U_{\text{ном 1}}$ , В	$U_{\text{ном 2}}$ , В
02	220	8,5	5,25	380	220
12	380	17	10,5	380	660
22	127	34	21	220	127
32	220	4,25	2,6	220	380
42	380	5,4	2,6	660	380
52	127	13,5	6,55	127	220
62	380	7,2	3,5	660	380

72	220	18	8,7	380	220
82	127	22,5	10,9	220	127
92	220	10,2	6,3	220	380

На основании вычисленных линейных токов при напряжениях  $U_{ном}$  и  $U_{ном 2}$ , сделать заключение о необходимых сечениях проводников для присоединения потребителя к сети.

Указания. 1. Фазный ток потребителя определяем по формуле

$$I_{\phi} = U_{\phi} / z_{\phi}. \text{ Где } z_{\phi} = \sqrt{R_{\phi}^2 + x_{\phi}^2}$$

2. Активная, реактивная и полная мощности потребителя вычисляем соответственно по формулам

$$3. \quad P = \sqrt{3} U_{ном} I_{л} \cos\varphi; \quad Q = \sqrt{3} U_{ном} I_{л} \sin\varphi; \quad S = \sqrt{3} U_{ном} I_{л}$$

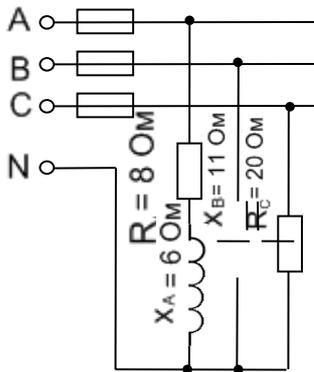


Рис.36

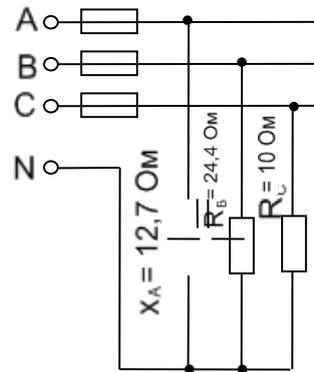


Рис.37

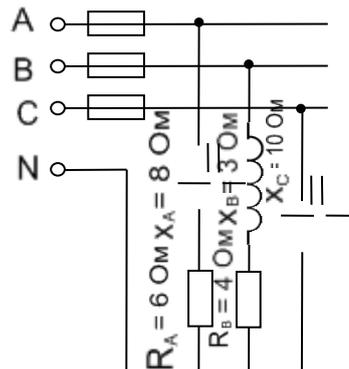
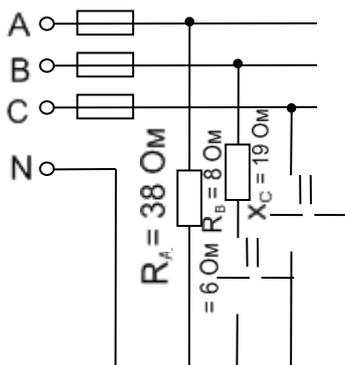




Рис.38



Рис.39

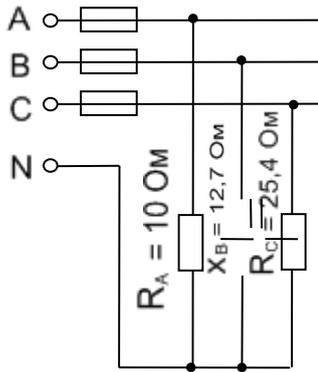


Рис.40

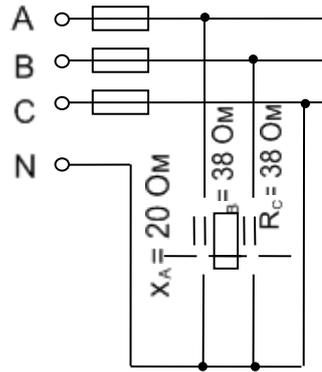


Рис.41

Здесь  $I_{л}$  – линейны ток, при соединении звездой  $I_{л} = I_{ф}$ , при соединении треугольником  $I_{л} = \sqrt{3}I_{ф}$ ; коэффициент мощности находимо по формуле  $\cos\varphi = R_{\phi}/z_{\phi}$ . Значение  $\sin\varphi$  определяем по таблицам Брадиса, зная  $\cos\varphi$ .

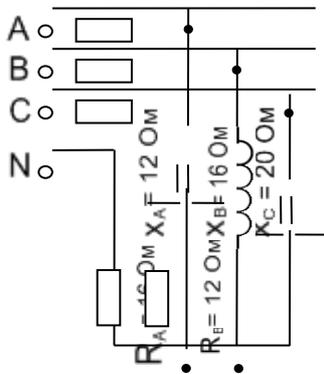


Рис.42

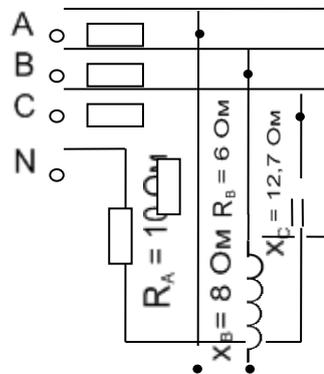
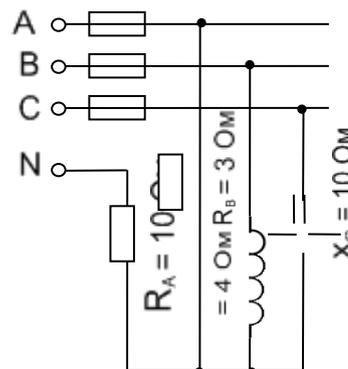
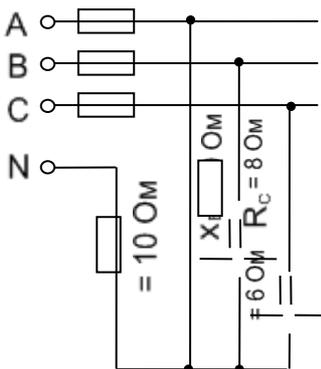


Рис.43



$R_A$   $X_C$

Рис.44

$X_B$

Рис.45

Задача 7. В трехфазную четырехпроводную сеть, с линейным напряжением  $U_{ном}$  включили звездой разные по характеру сопротивления (см. рис.36-45). Определить линейные токи и начертить в масштабе векторную диаграмму цепи. По векторной диаграмме определить числовое значение тока в нулевом проводе. Данные для своего варианта взять из табл. 9

Таблица 9

Номер варианта	Номер рисунка	$U_{ном}, В$	Номер варианта	Номер рисунка	$U_{ном}, В$	Номер варианта	Номер рисунка	$U_{ном}, В$
03	46	380	43	50	220	83	54	660
13	47	220	53	51	660	93	55	380
23	48	660	63	52	380	-	-	-
33	49	380	73	53	220	-	-	-

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

Указание. См. решение типового примера 6.

Задача 8. В трехфазную четырехпроводную сеть включили трехфазную сушильную печь, представляющую собой симметричную активно-индуктивную нагрузку с сопротивлениями  $R_n$  и  $x_n$ , и лампы накаливания мощностью  $P_x$  каждая.

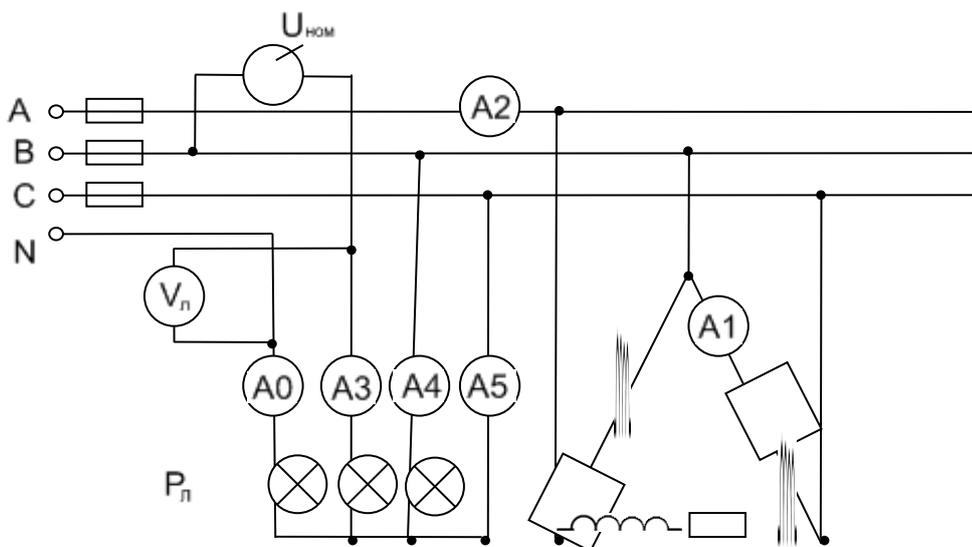


Рис.46

Обмотки печи соединены треугольником, лампы накаливания – звездой. Количество ламп в каждой фазе  $n_A$ ,  $n_B$  и  $n_C$  задано. Номинальное напряжение сети  $U_{ном}$ . Схема сети приведена на рис.56. Определить показания амперметров  $A_1, A_2, A_3, A_4, A_5$  и вольтметра  $V_L$ . Начертить в масштабе векторную диаграмму цепи для соединения ламп накаливания, из которой найти числовое значение тока в нулевом проводе  $I_0$  (показание амперметра  $A_0$ ). Данные для своего варианта взять из табл. 10.

Указание. См. решение типового примера 10.

Задача 9. Три одинаковых резистора с сопротивлениями  $R$  каждый соединили звездой, включили в трехфазную сеть с линейным напряжением  $U_{ном1}$  и измерили потребляемые токи  $I_{ном1}$ . Затем резисторы соединили треугольником, включили в ту же сеть и измерили фазные  $I_{ф2}$  и линейные  $I_{ном2}$  токи. Определить, во сколько раз при таком переключении изменились фазные и линейные токи и потребляемые цепью активные мощности, т.е найти отношения  $I_{ф2}/I_{ном1}$ ,  $I_{ном2}/I_{ном1}$  и  $P_2/P_1$ . Начертить в масштабе векторную диаграмму цепи при соединении резисторов треугольником. Данные для своего варианта взять из табл. 11.

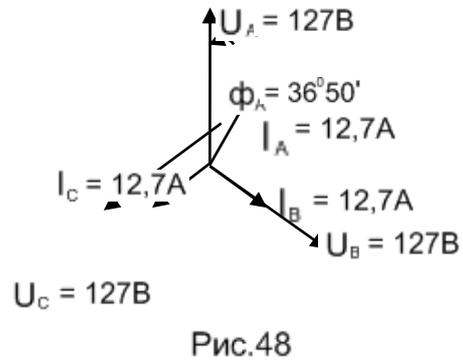
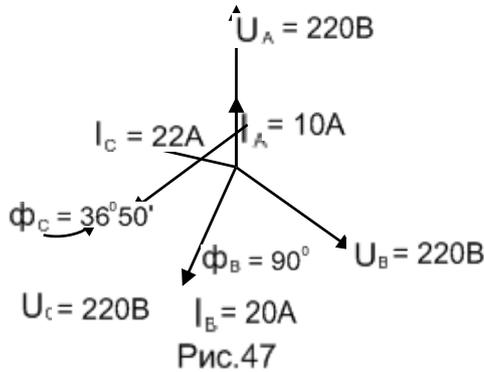
Таблица 10

Номер варианта	$R_n$	$x_n$	$P_n$	$n_A$	$n_B$	$n_C$	$U_{ном}$
04	4	3	200	50	80	30	380
14	6	8	300	40	30	60	220
25	12	16	500	20	40	30	380
35	3	4	200	80	50	40	220
44	8	6	150	100	60	50	220
54	16	12	300	50	70	10	380
64	32	24	500	30	40	60	380
74	8	6	150	80	100	50	220
84	4	3	300	60	40	30	380
94	24	32	200	40	80	80	220

Указание. Активная мощность цепи  $P=3 P_{\phi}=3U_{\phi} I_{\phi}$ .

Задача 10. По заданной векторной диаграмме для трехфазной цепи определить характер сопротивлений в каждой фазе (активное, индуктивное, емкостное, смешанное),

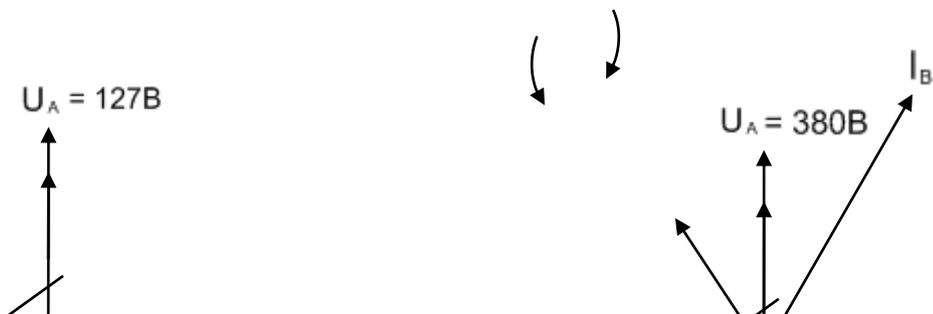
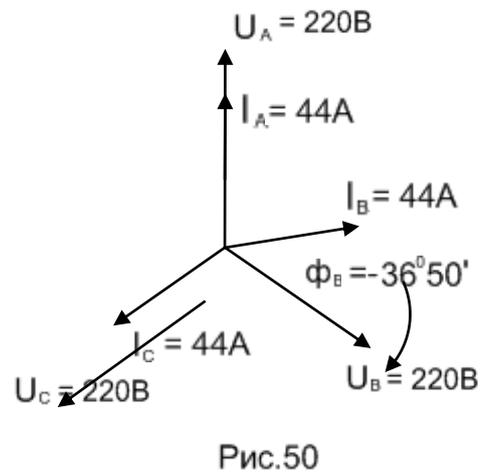
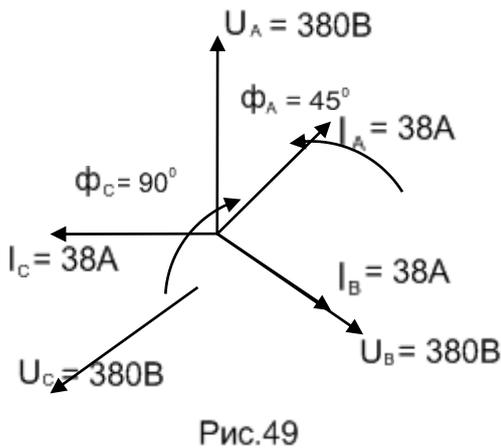
вычислить значение каждого сопротивления и начертить схему присоединения сопротивлений к сети.



Сопротивления соединены звездой с нулевым проводом. Пользуясь векторной диаграммой, построенной в масштабе, определить графически ток в нулевом проводе. Данные для своего варианта взять из табл. 12. Пояснить с помощью логических рассуждений, как изменится ток в нулевом проводе при уменьшении частоты тока в два раза.

Указание. См. решение типового примера 7.

Задача 11. Трехфазная нагревательная печь состоит из трех одинаковых резисторов сопротивлением  $R_{\Delta}$  каждый, соединенных звездой. Печь включена в сеть с линейным напряжением  $U_{ном}$ . Как следует изменить сопротивления резисторов, чтобы при их соединении треугольником и включении в ту же сеть линейные токи и потребляемые активные мощности остались прежними? Для случая соединения резисторов треугольником начертить в масштабе векторную диаграмму цепи. Данные для своего варианта взять из табл. 13.



$I_A = 10A$   
 $I_C = 10A$        $I_B = 20A$   
 $U_C = 127V$        $U_B = 127V$

Рис.51

$I_A = 19A$   
 $I_C = 19A$        $\phi_C = 90^\circ$        $\phi_B = -90^\circ$   
 $U_C = 380V$        $U_B = 380V$

Рис.52

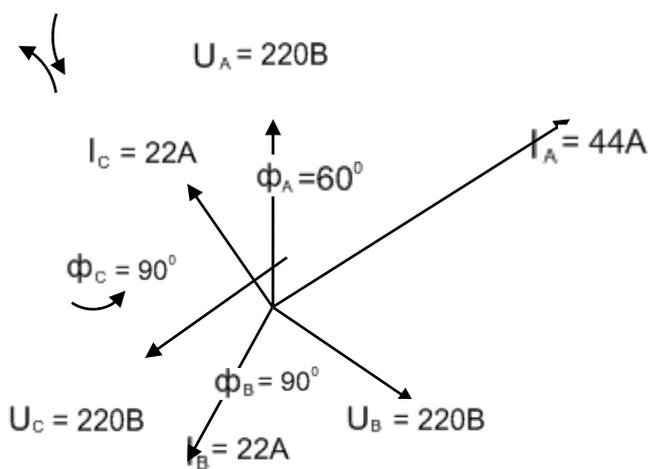


Рис.53

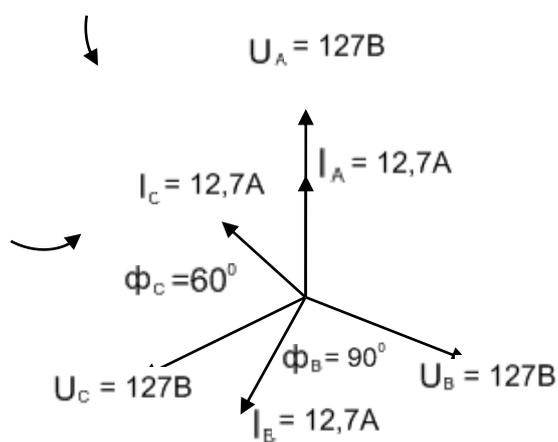


Рис.54

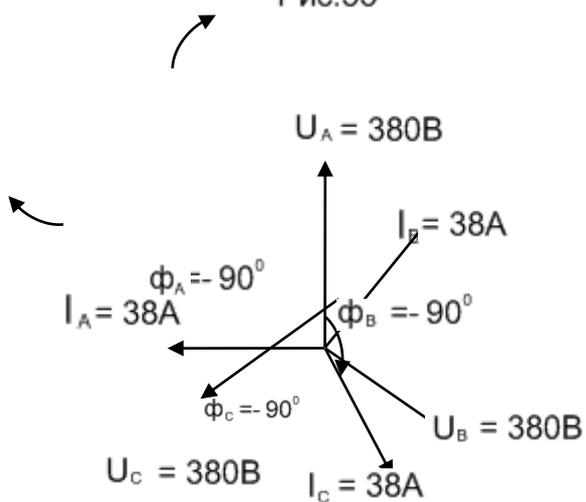


Рис.55

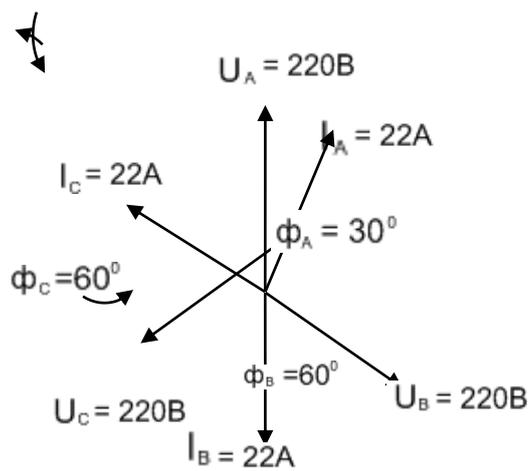


Рис.56

Таблица 11

Номер варианта	R, Ом	U <sub>ном1</sub> , В	Номер варианта	Номер рисунка	U <sub>ном1</sub> , В	Номер варианта	R, Ом	U <sub>ном</sub> , В
05	10	380	45	40	220	85	10	660

15	20	220	55	60	660	95	10	220
25	30	660	65	7,6	380	-	-	-
35	20	380	75	5	220	-	-	-

Таблица 12

Номер варианта	Номер рисунка	Номер варианта	Номер рисунка	Номер варианта	Номер рисунка
06	47	46	51	86	55
16	48	56	52	96	56
26	49	66	53	-	-
36	50	76	54	-	-

Указание. При соединении треугольником линейный ток  $I_{\text{ном}} = \sqrt{3}I_{\Phi}$ , где фазный ток  $I_{\Phi} = U_{\text{ном}}/R_{\Delta}$ . При соединении звездой для сохранения постоянства линейного тока должно соблюдаться равенство

$$I_{\text{ном}} = \frac{U_{\text{ном}}}{\sqrt{3}R_{\Delta}} = \frac{\sqrt{3}U_{\text{ном}}}{R_{\Delta}}$$

Отсюда определяется величина  $R_{\Delta}$ .

Таблица 13

Номер варианта	$R_{\Delta}$ , Ом	$U_{\text{ном}}$ , В	Номер варианта	$R_{\Delta}$ , Ом	$U_{\text{ном}}$ , В	Номер варианта	$R_{\Delta}$ , Ом	$U_{\text{ном}}$ , В
07	10	380	47	44	220	87	30	660
17	11	220	57	12	660	97	19	380
27	20	660	67	38	380	-	-	-
37	76	380	77	22	220	-	-	-

Задача 12. По заданной векторной диаграмме для трехфазной цепи определить характер сопротивлений во всех фазах (активное, индуктивное, емкостное, смешанное), вычислить значения каждого сопротивления и начертить схему присоединения сопротивлений к сети. Сопротивления соединены треугольником. Закончить построение векторной диаграммы, показав на ней векторы линейных токов  $I_A, I_B$  и  $I_C$ . Данные для своего варианта взять из табл. 14.

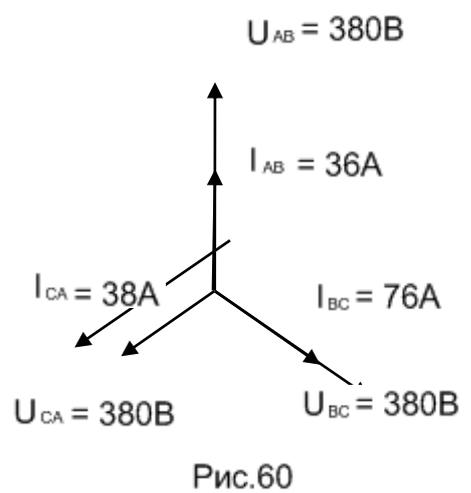
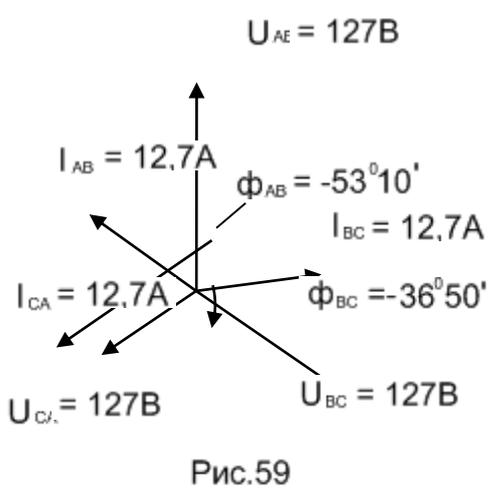
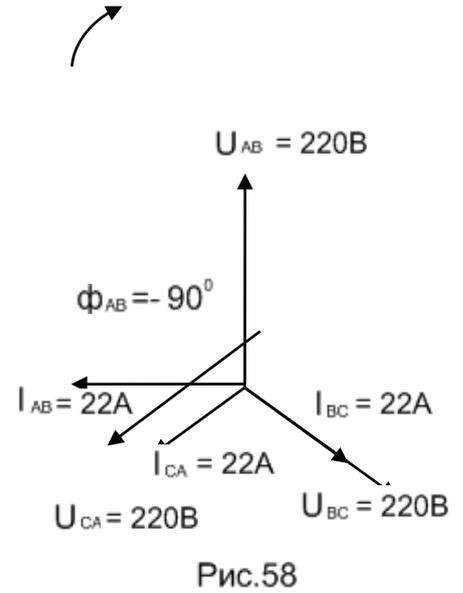
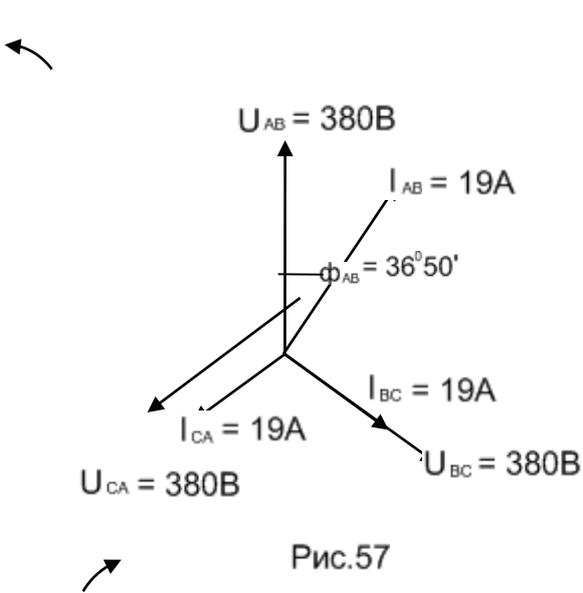
Таблица 14

Номер варианта	Номер рисунка	Номер варианта	Номер рисунка	Номер варианта	Номер рисунка
08	57	48	61	88	65
18	58	58	62	98	66

28	59	68	63	-	-
38	60	78	64	-	-

Указание. См. решение типового примера 9.

Задача 13. С помощью элементов, приведенных на рис.67, составить принципиальную схему включения двух трехфазных электродвигателей Д1 и Д2 и двух групп ламп накаливания Л1 и Л2 в трехфазную четырехпроводную сеть. Электродвигатели и лампы включаются в сеть через автоматические выключатели  $A_{д1}$  и  $A_{д2}$  и  $A_{л1}$  и  $A_{л2}$ . Выключатели служат для включения и отключения потребителей и защиты электрической сети от токов короткого замыкания и токов перегрузки. Номинальное напряжение сети  $U_{ном}$ . Обмотка каждой фазы электродвигателя рассчитана на напряжение  $U_A$ ; номинальное напряжение ламп  $U_L$ . Эти величины заданы в таблице вариантов. В задаче необходимо выполнить следующее: 1) в зависимости от напряжения сети соответствующим образом соединить между собой обмотки каждого электродвигателя (в звезду или треугольник), показанные на рисунке в его корпусе, и присоединить их к сети;



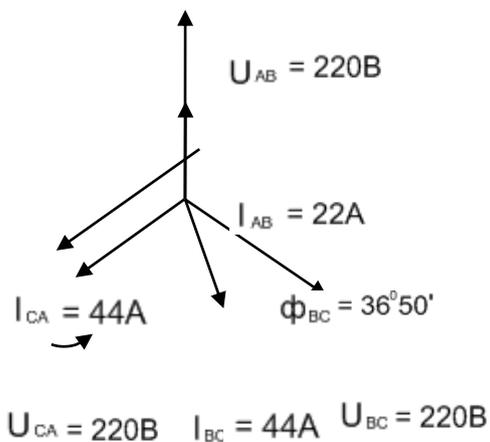


Рис.61

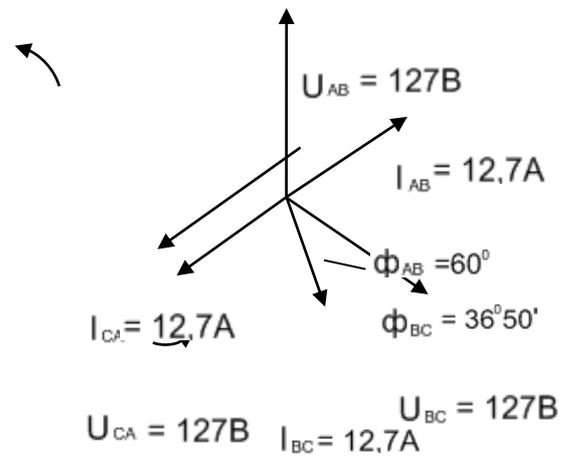


Рис.62

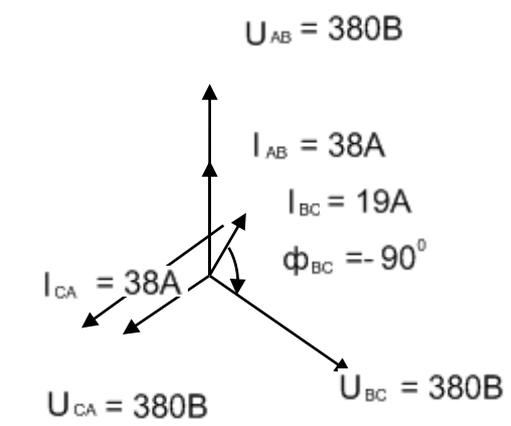


Рис.63

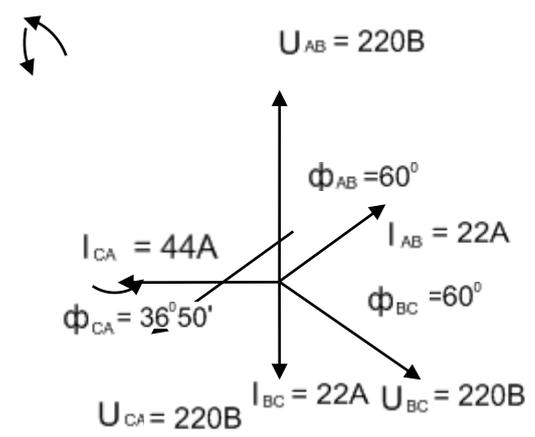


Рис.64

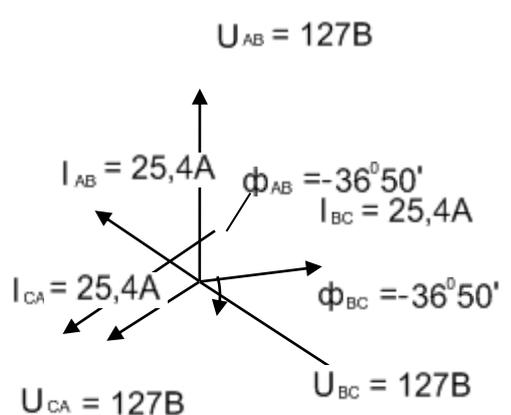


Рис.65

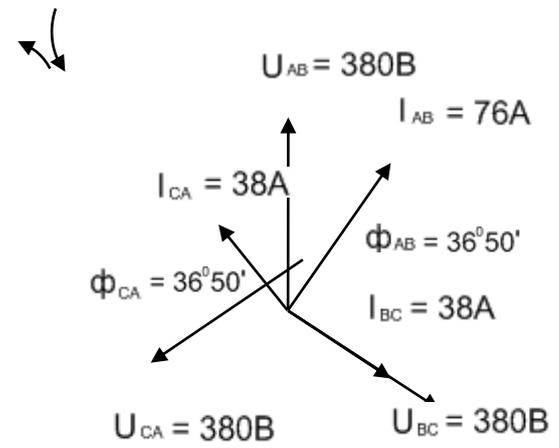


Рис.66

2) соединить лампы в каждой группе с учетом их напряжений (в звезду или треугольник) и присоединить их к сети; 3) принимая мощность лампы равной  $P_l$ , определить



07	10	380	47	44	220	87	30	660
17	11	220	57	12	660	97	19	380
27	20	660	67	38	380	-	-	-
37	76	380	77	22	220	-	-	-

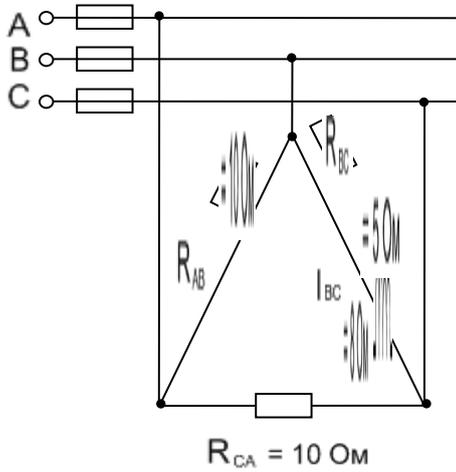


Рис.68

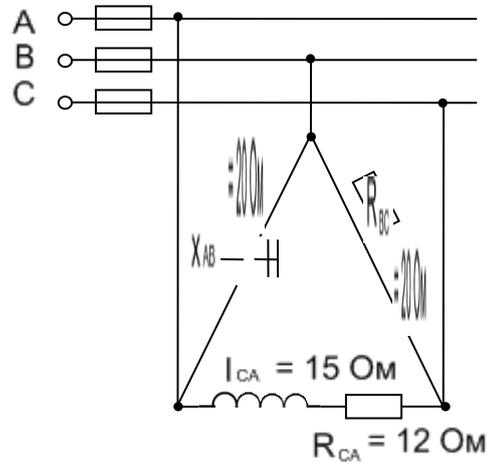


Рис.69

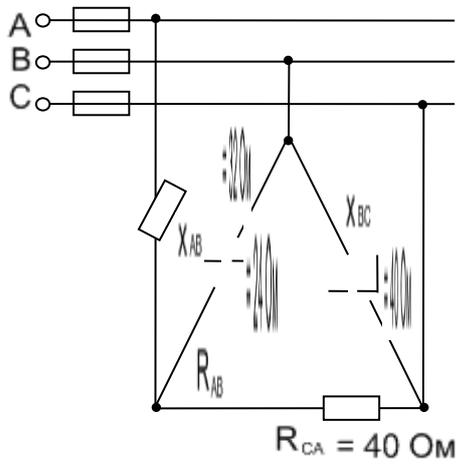


Рис.70

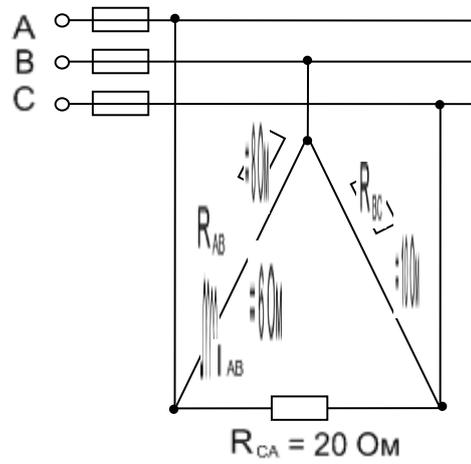
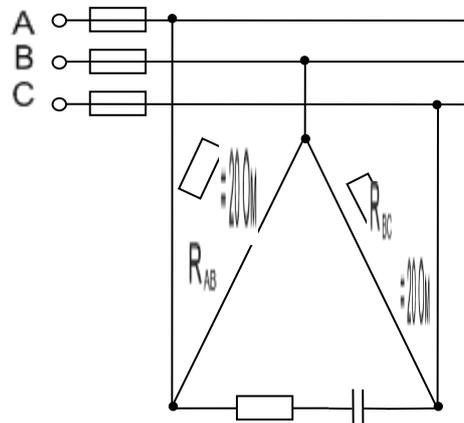
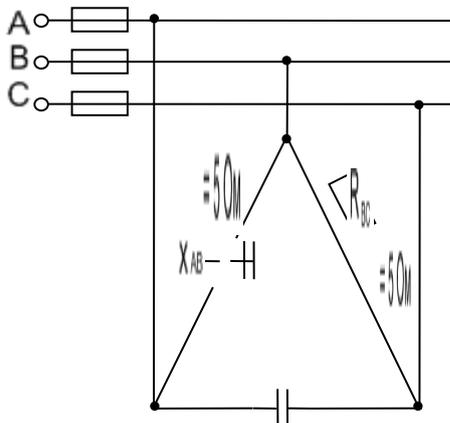


Рис.71



$X_{CA} = 5 \text{ Ом}$

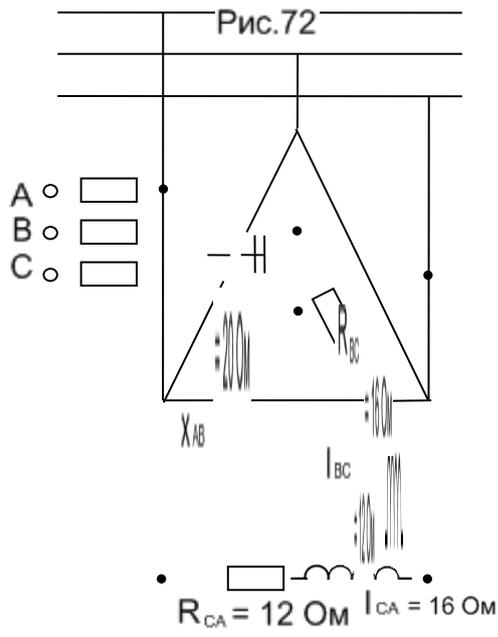


Рис.74

$R_{CA} = 16 \text{ Ом}$   $X_{CA} = 12 \text{ Ом}$

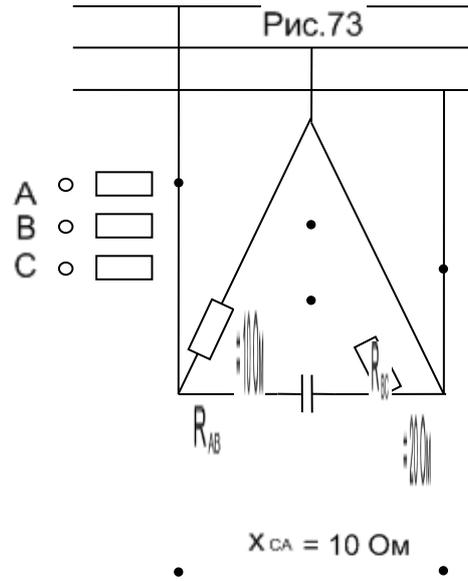


Рис.75

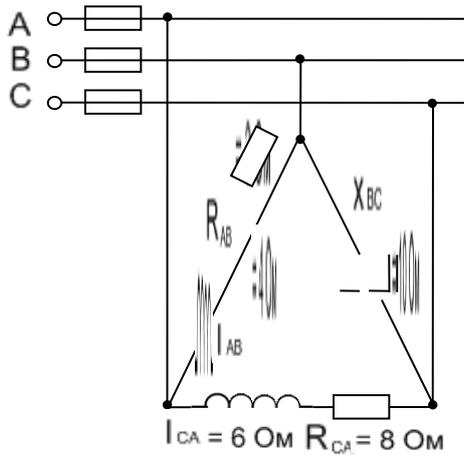


Рис.76

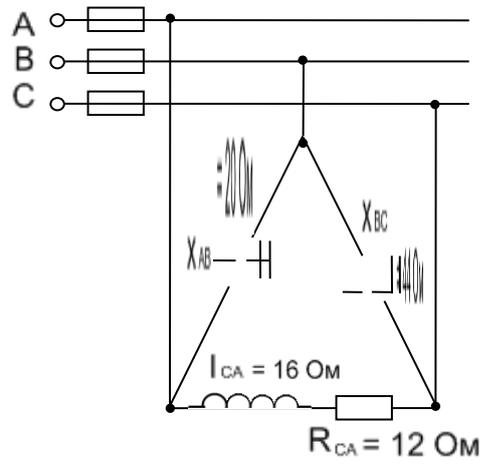


Рис.77

### Задание 5

Задача 15. К трехфазному трансформатору с номинальной мощностью  $S_{ном}$  и номинальным напряжением первичной  $U_{ном1}$  и вторичной  $U_{ном2}$  обмоток присоединена активная нагрузка  $P_2$  при коэффициенте мощности  $\cos\varphi_2$ . Определить: 1) номинальные токи в обмотках  $I_{ном1}$  и  $I_{ном2}$ ; 2) коэффициент нагрузки трансформатора; 3) токи в обмотках  $I_1$  и  $I_2$  при фактической нагрузке; 4) суммарные потери мощности  $\Sigma P$  при номинальной нагрузке; 5) коэффициент полезного действия трансформатора при фактической нагрузке. Данные для своего варианта взять из табл. 18. Недостающие величины взять из табл. 17.

Каково назначение замкнутого стального магнитопровода в трансформаторе? Почему магнитопровод должен иметь минимальный воздушный зазор и выполняться не сплошным, а из отдельных стальных листов, изолированных друг от друга лаком?

Указание. См. решение типового примера 11.

Таблица 17. Технические данные трансформаторов

Тип трансформатора	$S_{ном},$ КВ*А	Напряжение обмоток, КВ		Потери мощности, кВт		$U_k,$ %	$I_{1x},$ %
		$U_{ном1}$	$U_{ном2}$	$P_{ст}$	$P_{о.ном}$		
ТМ-25/6; 10	25		0,23; 0,4	0,13	0,69	4,7	3,2
ТМ-40/6; 10	40		0,23; 0,4	0,175	1,0	4,7	3,0
ТМ-63/6; 10	63		0,23; 0,4	0,24	1,47	4,7	2,8
ТМ-100/6; 10	100		0,23; 0,4	0,33	2,27	6,8	2,6
ТМ-160/6; 10	160	6, 10	0,23; 0,4; 0,69	0,51	3,1	4,7	2,4
ТМ-250/6; 10	250		0,23; 0,4; 0,69	0,74	4,2	4,7	2,3
ТМ-400/6; 10	400		0,23; 0,4; 0,69	0,95	5,5	4,5	2,1
ТМ-630/6; 10	630		0,23; 0,4; 0,69	1,31	7,6	5,5	2,0
ТМ-1000/6; 10	1000		0,23; 0,4; 0,69	2,45	12,2	5,5	2,8
ТМ-1600/6; 10	1600		0,23; 0,4; 0,69	3,3	18,0	5,5	2,6
ТМ-2500/10;	2500	10	0,4; 0,69; 10,5	4,3	24,0	5,5	1,0

*Примечания: Трансформатор ТМ- 630/10 – с масляным охлаждением, трехфазный, номинальная мощность 630 кВ\*А, номинальное первичное напряжение 10 кВ, вторичные напряжения 0,23; 0,4 и 0,69 кВ; 2.  $P_{ст}$  – потери в стали;  $P_{о.ном}$  – потери в обмотках,  $U_k$  % - напряжение короткого замыкания;  $I_{1x}$  % - ток холостого хода.*

Таблица 18

Номер варианта	$S_{ном},$ КВ*А	$U_{ном1},$ КВ	$U_{ном2},$ КВ	$P_1,$ кВт	$\cos\varphi$	Номер варианта	$S_{ном},$ КВ*А	$U_{ном1},$ КВ	$U_{ном2},$ КВ	$P_1,$ кВт	$\cos\varphi$
01	1000	10	0,69	850	0,95	51	630	10	0,69	554	0,88
11	160	6	0,4	150	1,0	61	40	6	0,23	35	1,0
21	100	6	0,23	80	0,9	71	1600	10	0,4	1400	0,93
31	250	10	0,4	200	0,85	81	63	10	0,23	56	1,0
41	400	10	0,4	350	0,92	91	630	10	0,4	520	0,9

Задача 16. Для питания пониженным напряжением цепей управления электродвигателями на пульте установлен однофазный двухобмоточный трансформатор номинальной мощностью  $S_{ном}$ . Номинальные напряжения обмоток  $U_{ном1}$  и  $U_{ном2}$ ; номинальные токи в обмотках  $I_{ном1}$  и  $I_{ном2}$ . Коэффициент трансформации равен  $K$ . Числа витков обмоток  $\omega_1$  и  $\omega_2$ . Магнитный поток в магнитопроводе  $\Phi_m$ . частота тока в сети  $f=50$  Гц. Трансформатор работает с номинальной нагрузкой. Потерями в трансформаторе можно пренебречь. Используя данные трансформатора, указанные в табл.19 определить все неизвестные величины, отмеченные прочерками в таблице вариантов. Начертить схему включения такого трансформатора в сеть. Ко вторичной обмотке присоединить нагрузку в виде обычного резистора  $R_n$ . Для включения и отключения нагрузки предусмотреть рубильник, а для защиты сетей от токов короткого замыкания включить в цепь обеих обмоток предохранители. Данные для своего варианта взять из табл. 19

Указание. См. решение типового примера 12.

Таблица 19

Номер варианта	$S_{ном},$ В*А	$U_{ном1},$ В	$U_{ном2}$ В	$I_{ном1},$ А	$I_{ном2},$ А	$\omega_1$	$\omega_2$	$K$	$\Phi_m,$ Вб
02	-	380	-	1,43	-	-	-	15,8	0,005
12	-	220	24	-	33,4	198	-	-	-
22	1600	-	12	-	-	440	-	31,6	-
32	-	127	-	1,72	25	-	108	-	-
42	3200	380	36	-	-	-	-	-	0,025
52	-	220	24	3,64	-	-	-	-	0,005
62	500	-	-	1,0	-	450	54	-	-
72	-	220	-	-	20,8	400	22	-	-
82	250	500	-	-	-	-	-	20,8	0,0015
92	-	-	12	3,2	-	3000	-	41,6	-
03	400	-	12	-	-	-	-	18,3	0,02
13	-	-	36	1,0	-	-	-	13,9	0,009
23	-	380	-	4,2	-	-	24,4	-	0,002
33	600	220	-	-	-	4970	-	6,12	-
43	-	-	24	-	25	573	-	-	0,001
53	-	500	-	-	13,9	-	-	13,9	0,003
63	100	-	24	-	-	-	30	15,8	-
73	-	-	24	0,5	10,4	-	-	-	0,0018
83	-	380	12	-	133	-	-	31,6	-
93	800	-	-	3,64	-	-	22	9,18	-

Задача 17. Инструментальный цех завода получает питание от подстанции при напряжении  $U_{ном2}$ . Активная мощность, расходуемая цехом, равно  $P_2$  при коэффициенте мощности  $\cos\varphi_2$ . Определить необходимую мощность трансформаторов на подстанции и выбрать их тип, пользуясь табл. 17. На подстанции можно установить не более двух трансформаторов одинаковой мощности с коэффициентом нагрузки 0,9-1,0; поэтому в задаче нужно вычислить коэффициент нагрузки трансформаторов.

Определить необходимое сечение кабеля от подстанции до цехового распределительного пункта, пользуясь табл. 21<sup>а</sup> допускаемых токовых нагрузок. Кабель четырехжильный, проложен в земле. В случае необходимости (при больших токах) можно проложить несколько кабелей. Данные для своего варианта принять из табл. 20.

Какие величины можно определить из опыта холостого хода трансформатора? Начертите схему включения трансформатора и приборов для проведения опыта холостого хода.

Указание. Полная мощность для питания цеха  $S = P_2 / \cos\varphi_2$ ;

Таблица 20

Номер варианта	$P_2$ , кВт	$\cos\varphi_2$	$U_{ном2}$ , В	Номер варианта	$P_2$ , кВт	$\cos\varphi_2$	$U_{ном2}$ , В
04	600	0,8	380	54	140	0,95	220
14	1350	0,75	660	64	500	0,88	380
24	200	0,85	220	74	1200	0,76	660
34	420	0,9	380	84	350	0,92	220
44	800	0,82	660	94	210	0,87	

Таблица 21<sup>а</sup>. Допускаемые токовые нагрузки (А) на алюминиевые провода и кабели

Сечение, мм <sup>2</sup>	Провода		Кабели четырехжильные до 1000 В	
	Открыто	В трубе	Открыто	В земле
2,5	24	19	-	-
4	32	28	27	38
6	39	32	35	46
10	55	47	45	65
16	80	60	60	90
25	105	80	75	115
35	130	95	95	135
50	165	130	110	165
70	210	165	140	200
95	255	200	165	240
120	295	220	200	270
150	340	255	230	305
185	390	-	260	345

Задача 18. В сборочном цехе машиностроительного завода установлены трехфазные электродвигатели трех типов. Для каждого типа заданы: номинальная (полезная) мощность  $P_{ном}$  коэффициент мощности  $\cos\varphi_{ном}$  и коэффициент полезного действия  $\eta_{ном}$  и количество двигателей  $n$ . Номинальное напряжение сети 380 В. Все двигатели работают в номинальном режиме. Определить необходимую мощность трансформатора для питания электродвигателей и выбрать его тип по тал. 17 могут быть установлены два трансформатора одинаковой мощности работающие параллельно.

Определить с каким коэффициентом нагрузки будут работать трансформаторы, и вычислить первичный и вторичный токи и коэффициент полезного действия

Таблица 21. Технические данные некоторых типов машин постоянного тока

Тип машины	$U_{ном},$ В	$P_{ном},$ кВт	$n_{ном},$ об/мин	$I_{ном},$ А		$R_a+R_{доб},$ Ом	$R_{пс},$ Ом	$R_{ш},$ Ом
<i>Генераторы</i>								
П-41	115	2,7	1450	23,4	4	0,558	0,136	68,8
	230	2,7	1450	11,7	4	2,23	0,488	214
П-51	115	5	1450	43,4	4	0,191	0,03	32
	230	5	1450	21,7	4	0,78	0,112	120
П-61	230	9	1450	39,1	4	0,35	0,04	120
П-62	230	11,5	1450	50,0	4	0,222	0,028	80
П-71	230	16	1450	69,5	4	0,3	0,0115	43
П-72	230	21	1450	91	4	0,1745	0,00725	50
П-81	230	27	1450	117	4	0,1445	0,00475	69,5
П-82	230	35	1450	152	4	0,0863	0,00308	27,2
П-91	230	50	1450	217	4	0,0504	0,00304	35,8
<i>Электродвигатели</i>								
П-41	110	1,5	1000	18,2	4	0,657	0,024	62
	110	1,0	740	13	4	1,21	0,033	92
	220	6,0	3000	33	4	0,36	0,007	280
	220	3,2	1500	18,4	4	1,032	0,0328	198
П-42	110	4,5	1500	51	4	0,239	0,0064	73,2
	220	7,4	3000	43,5	4	0,197	0,0085	136
	220	3,8	1500	25,4	4	0,78	0,0392	228
	220	2,2	1000	13,3	4	1,75	0,039	243
П-51	110	3,2	1000	37,4	4	0,252	0,0073	45,2
	110	2,2	750	27	4	0,472	0,0073	45,2
	220	11,0	3000	59	4	0,135	0,0044	168
	220	6,0	1500	33,2	4	0,472	0,0073	132
	220	3,2	1000	18,3	4	1,051	0,0044	168
П-71	220	32,0	3000	168	4	0,045	0,00125	60,5
	220	19,0	1500	103	4	0,124	0,0046	76,8
	220	10,0	1000	63	4	0,3	0,0105	85
П-81	220	32,0	1500	166	4	0,074	0,0026	95,5
	220	14,0	750	79	4	0,244	0,01	92

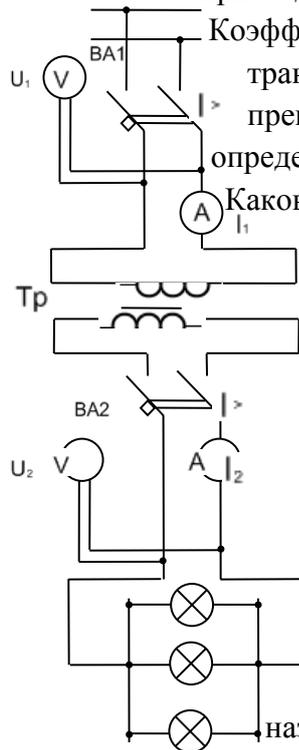
трансформатора при этом коэффициенте нагрузки. Дополнительные сведения о трансформаторе взять из табл. 17. Данные для своего варианта взять из табл. 22

Какие величины можно определить из опыта короткого замыкания трансформатора? Начертите схему включения трансформатора и приборов для проведения такого опыта.

Указания: 1. См. Решение типового примера 11. 2. Полную мощность, потребляемую электродвигателями определяют по формуле  $S = P_{\text{ном}} n / (\cos\varphi_{\text{ном}} \eta_{\text{ном}})$ . 3. При установке двух трансформаторов все расчеты ведут для одного по половинной нагрузке.

Задача 19. Для освещения рабочих мест в целях безопасности применили лампы накаливания пониженного напряжения (12, 24, 36 В). Для их питания установили однофазный понижающий трансформатор номинальной мощностью  $S_{\text{ном}}$ , работающий с коэффициентом нагрузки  $k_{\text{н}}$ . Номинальные напряжения обмоток  $U_{\text{ном1}}$  и  $U_{\text{ном2}}$ ; рабочие токи в обмотках  $I_1$  и  $I_2$ . Коэффициент трансформации равен  $K$ . К трансформатору присоединили лампы накаливания мощностью  $P_{\text{л}}$  каждая в количестве  $n_{\text{л}}$ .

Коэффициент мощности ламп  $\cos\varphi_2=1,0$ . Схема присоединения ламп к трансформатору приведена на рис. 78. Потерями в трансформаторе можно пренебречь. Используя данные для своего варианта, указаны в табл. 23 определить все неизвестные величины, отмеченные прочерками в таблице. Каковы особенности внешней характеристики сварочного трансформатора? Каким образом получают такую характеристику?



Указания: 1. См. решение типового примера 12. 2. Для ламп накаливания  $\cos\varphi_2=1,0$ , поэтому коэффициент нагрузки

$$k_{\text{н}} = P_{\text{л}} n_{\text{л}} / S_{\text{ном}}$$

Задача 20. Аппаратный цех электротехнического завода потребляет активную мощность  $P_2$  при коэффициенте мощности  $\cos\varphi_2$ . Для питания потребителей цеха на подстанции установили трехфазные трансформаторы с первичным напряжением  $U_{\text{ном1}}$ . Однако энергосистема, ограничив потребление реактивной мощности до  $Q_3$ , называемой оптимальной, потребовала установить на низшем напряжении подстанции 380 В конденсаторы. Определить: 1) необходимую мощность

Рис.78 конденсаторной батареи  $Q_6$  и выбрать тип, пользуясь табл. 26; 2)

номинальную мощность трансформатора на подстанции в двух случаях: а) до установки батареи, б) после установки батареи. На основании табл. 17 выбрать тип трансформатора; 3) в обоих случаях определить коэффициент полезного действия трансформатора с учетом фактической нагрузки. Сделать заключение о целесообразности компенсации реактивной мощности потребителей цеха. Данные для своего варианта взять из табл. 24.

Указания: 1. См. решение типового примера 13. 2. На подстанции возможна установка одного трансформатора или двух одинаковой мощности. 3. При выборе трансформаторов необходимо обеспечить их коэффициент нагрузки  $k_{\text{н}}$ , равным 0,9-1,0. 4. Первичное напряжение  $U_{\text{ном1}}$  задано для выбора типа трансформатора.

Величина	Вариант									
	05	15	25	35	45	55	65	75	85	95
$P_{\text{НОМ1}}$ , кВт	11	7,5	22	5,5	15	18,5	37	4	30	45
$\cos\varphi_{\text{НОМ1}}$	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86
$\eta_{\text{НОМ1}}$	0,87	0,86	0,89	0,87	0,76	0,88	0,9	0,84	0,9	0,91
$n_1$ , шт.	15	10	14	8	10	16	2	10	5	1
$P_{\text{НОМ2}}$ , кВт	7,5	30	4	15	45	11	18,5	22	37	5,5
$\cos\varphi_{\text{НОМ2}}$	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86
$\eta_{\text{НОМ2}}$	0,86	0,9	0,84	0,76	0,91	0,87	0,88	0,89	0,9	0,84
$n_2$ , шт.	10	5	10	16	6	10	4	12	2	10
$P_{\text{НОМ3}}$ , кВт	22	11	7,5	37	5,5	15	4	30	45	18,5
$\cos\varphi_{\text{НОМ3}}$	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86
$\eta_{\text{НОМ3}}$	0,89	0,87	0,86	0,9	0,87	0,76	0,84	0,9	0,91	0,83
$n_3$ , шт.	8	10	15	6	20	10	5	5	2	4

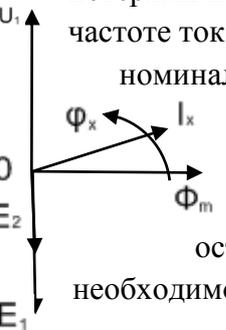
Таблица 23

Номер варианта	$S_{\text{НОМ}}$ , кВт*А	$\eta_{\text{н}}$	$U_{\text{НОМ1}}$ , В	$U_{\text{НОМ2}}$ , В	$I_1$ , А	$I_2$ , А	К	$P_{\text{л}}$ , Вт	$n_{\text{л}}$ , шт.
06	250	-	-	12	-	-	31,7	25	8
16	-	0,75	500	-	0,75	15,6	-	-	15
26	-	0,9	-	24	1,63	15	-	60	-
36	400	0,8	220	24	-	-	-	40	-
46	250	-	-	-	0,91	16,7	-	100	2
56	-	0,8	127	-	3,15	-	10,6	-	10
66	-	0,9	-	12	-	7,5	10,6	15	-
76	400	-	500	36	0,6	-	-	-	5
86	500	-	127	12	-	33,3	-	40	-
96	-	0,8	380	-	-	18,7	-	40	5
07	500	-	-	36	1,12	-	10,6	25	-
17	-	0,8	220	-	-	-	18,35	100	2
27	-	1,0	-	36	0,8	11,1	-	-	4
37	100	-	127	-	0,71	-	10,6	-	6
47	400	-	500	36	-	-	-	100	4
57	-	0,75	-	36	-	8,34	13,9	60	-
67	500	0,85	380	-	-	11,8	-	-	17
77	-	0,9	220	-	-	-	9,18	60	6
87	500	-	-	24	0,75	-	20,8	25	-
97	-	-	-	24	1,45	13,35	-	40	8

Таблица 24

Номер варианта	$P_2$ , кВт	$\cos\varphi_2$	$Q_3$ , квар	$U_{ном1}$ , кВ	Номер варианта	$P_2$ , кВт	$\cos\varphi_2$	$Q_3$ , квар	$U_{ном1}$ , кВ
08	1400	0,75	350	10	09	1500	0,77	330	10
18	370	0,8	110	6	19	700	0,75	200	6
28	600	0,85	150	10	29	2000	0,65	1100	10
38	1000	0,8	220	10	39	900	0,75	200	10
48	220	0,75	80	6	49	290	0,8	110	6
58	2300	0,8	700	10	59	550	0,88	150	6
68	1700	0,7	350	10	69	180	0,75	50	6
78	750	0,8	225	6	79	860	0,7	280	10
88	160	0,65	50	6	89	1500	0,8	400	10
98	1150	0,75	350	10	99	300	0,75	110	10

Задача 21. На рис. 79 показана векторная диаграмма однофазного трансформатора при холостом ходе. На основании данных диаграммы, приведенных в табл. 25 вариантов, определить: 1) коэффициент трансформации  $K$ ; 2) потери в стали  $P_{ст}$ , пренебрегая потерями на нагревание первичной обмотки; 3) числа витков обеих обмоток при частоте тока питающей сети  $f=50$ Гц. Приняв ток холостого хода составляющим 5% от номинального первичного тока. Найти номинальные токи в обмотках  $I_{ном1}$  и  $I_{ном2}$  и номинальную мощность трансформатора  $S_{ном}$ .



Почему основной магнитный поток в магнитопроводе трансформатора остается неизменным при любой нагрузке? Выполнение какого условия необходимо для соблюдения такого постоянства потока?

Рис.79 Указания: 1. Потери в стали практически равны потерям холостого хода:

$P_{ст} = U_1 I_x \cos\varphi_x$ . 2. Числа витков обмоток определяют из формул для  $E_1$  и  $E_2$ , причем при холостом ходе  $E_1 \approx U_1$ ,  $E_1 = U_{ном2}$ . 3. Номинальная мощность трансформатора

$$S_{ном} = U_{ном2} I_{ном2}, \text{ где } I_{ном2} = K I_{ном1}$$

Таблица 25

Номер варианта	$U_1$ , В	$I_x$ , А	$E_1$ , В	$e_m$ , Вб	$\varphi_x^0$	Номер варианта	$U_1$ , В	$I_x$ , А	$E_1$ , В	$e_m$ , Вб	$\varphi_x^0$
10	500	0,15	36	0,002	85	60	500	0,12	24	0,0016	83
20	380	0,2	220	0,0015	80	70	380	0,25	127	0,0025	84
30	220	0,5	500	0,008	86	80	220	0,3	380	0,002	77
40	127	0,1	12	0,0012	78	90	127	0,16	24	0,001	75
50	660	0,18	24	0,0018	75	00	660	0,22	36	0,002	82

## МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ 1

В контрольную работу 1 входят «Введение» и пять тем. На темы 1.1, 1.3, 1.4, 1.5 предусмотрены пять заданий. В таблице 2 указаны номера заданий и номера таблиц с данными к ним. Схемы и векторные диаграммы должны выполняться с помощью чертежных инструментов.

Номера тем	Наименование темы	Номера заданий	Номера таблиц
	Введение	-	-
1.1	Постоянный электрический ток	1	3
1.2	Электрические измерения и приборы	-	-
1.3	Однофазные электрические цепи	2-3	4-6
1.4	Трёхфазные электрические цепи	4	7-16
1.5	Трансформаторы	5	17-26

*Методические указания к решению задачи 1*

Решение этой задачи требует знания закона Ома для всей цепи и ее участков, первого закона Кирхгофа и методики определения эквивалентного сопротивления цепи при смешанном соединении резисторов. Содержание задачи и схемы цепей с соответствующими данными приведены в условии и тал. 3. Перед решением задачи изучите материал темы 1.1 и рассмотрите типовой пример 1.

**Пример 1.** Для схемы, приведенной на рис. 80, определить эквивалентное сопротивление цепи  $R_{AB}$ , токи в каждом резисторе и напряжение  $U_{AB}$ , приложенное к цепи. Заданы сопротивления резисторов и ток  $I_4$  в резисторе  $R_1$ . Как изменятся токи в резисторах при: а) замыкании рубильника  $P_1$ , б) расплавлении вставки предохранителя  $Pr_4$ ? В обоих случаях напряжение  $U_{AB}$  остается неизменным.

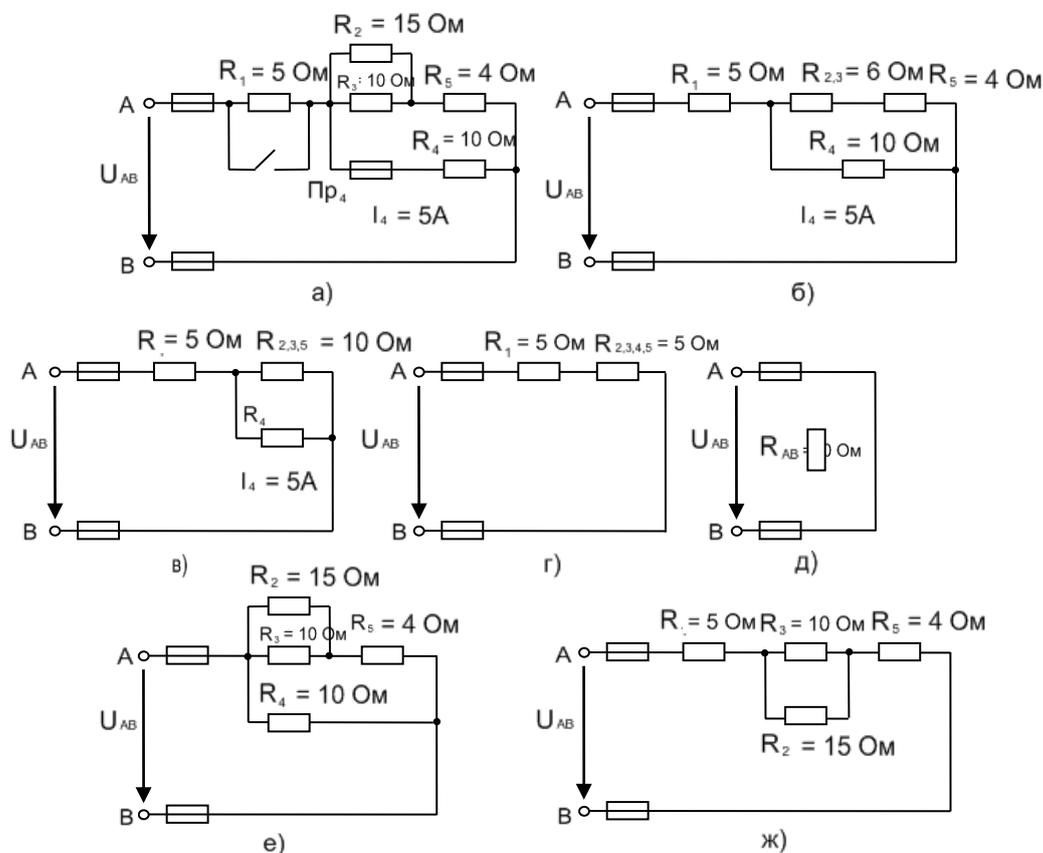


Рис.80

Решение. Задача относится к теме «Электрические цепи постоянного тока. После усвоения условия задачи проводим поэтапное решение, предварительно обозначив

стрелкой направление тока в каждом резисторе. Индекс тока должен соответствовать номеру резистора, по которому он проходит.

1. Определяем общее сопротивление разветвления  $R_2$ ,  $R_3$ . Резисторы соединены параллельно, поэтому

$$R_{2,3} = \frac{R_2 R_3}{R_2 + R_3} = \frac{15 \cdot 10}{15 + 10} = 6 \text{ Ом}$$

Теперь схема цепи принимает вид, показанные на рис. 80 б.

2. Резисторы  $R_{2,3}$  и  $R_5$  соединены последовательно, их общее сопротивление

$$R_{2,3,5} = R_{2,3} + R_5 = 6 + 4 = 10 \text{ Ом}$$

Соответствующая схема приведена на рис. 80 в.

3. Резисторы  $R_{2,3,5}$  и  $R_4$  соединены параллельно их общее сопротивление

$$R_{2,3,4,5} = \frac{10 \cdot 10}{10 + 10} = 5 \text{ Ом}$$

Теперь схема цепи имеет вид, приведенный на рис. 80 г.

4. Находим эквивалентное сопротивление всей цепи:

$$R_{AB} = R_1 + R_{2,3,4,5} = 5 + 5 = 10 \text{ Ом (рис. 80, д).}$$

5. Зная силу тока  $I_4$  находим напряжение на резисторе  $R_4$ :

$$I_5 = \frac{U_4}{R_{2,3} + R_5} = \frac{50}{6 + 4} = 5 \text{ A}$$

6. Находим падение напряжения на резисторе  $R_5$ :

$$U_5 = I_5 R_5 = 5 \cdot 4 = 20 \text{ В}$$

Поэтому напряжение на резисторах  $R_{2,3}$ ,

$$U_{2,3} = U_4 - U_5 = 50 - 20 = 30 \text{ В}$$

7. Определяем токи в резисторах  $R_2$  и  $R_3$ :

$$I_2 = \frac{U_{3,2}}{R_2} = \frac{30}{15} = 2 \text{ A}; I_3 = \frac{U_{2,3}}{R_3} = \frac{30}{10} = 3 \text{ A}$$

Применяя первый закон Кирхгофа, находим ток в резисторе  $R_1$ :

$$I_1 = I_2 + I_3 + I_4 = 2 + 3 + 5 = 10 \text{ A}$$

8. Вычисляем падение напряжения на резисторе  $R_1$ :

$$U_1 = I_1 R_1 = 10 \cdot 5 = 50 \text{ В}$$

9. Находим напряжение  $U_{AB}$ , приложенное ко всей цепи:

$$U_{AB} = I_1 R_{AB} = 10 \cdot 10 = 100 \text{ В или } U_{AB} = U_1 + U_4 = 50 + 50 = 100 \text{ В.}$$

10. При включении рубильника P1 сопротивление  $R_1$  замыкается накоротко и схема цепи имеет вид, показанный на рис.80 е. Эквивалентное сопротивление цепи в этом случае

$$R_{AB} = R_{2,3,4,5} = 5 \text{ Ом.}$$

Поскольку напряжение  $U_{AB}$  остается равным 100 В, можно найти токи в резисторах  $R_4$  и  $R_5$ :

$$I_4 = \frac{U_{AB}}{R_4} = \frac{100}{10} = 10 \text{ А; } I_5 = \frac{U_{AB}}{(R_{2,3} + R_5)} = \frac{100}{6 + 4} = 10 \text{ А.}$$

Определим падение напряжения на резисторе  $R_5$ :

$$U_5 = I_5 R_5 = 10 \cdot 4 = 40 \text{ В}$$

Поэтому напряжение на резисторах  $R_2$  и  $R_3$ :

$$I_2 = \frac{U_{2,3}}{R_2} = \frac{60}{15} = 4 \text{ А; } I_3 = \frac{U_{2,3}}{R_3} = \frac{60}{10} = 6 \text{ А.}$$

Проверим правильность вычисления токов, используя первый закон Кирхгофа:

$$I_1 = I_2 + I_3 + I_4 = 4 + 6 + 10 = 20 \text{ А}$$

Однако

$$I = \frac{U_{AB}}{R_{2,3,4,5}} = \frac{100}{5} = 20 \text{ А}$$

Таким образом, задача решена верно.

11. При расплавлении предохранителя Пр4 резистор  $R_4$  выключается и схема принимает вид, показанный на рис. 80, ж.

$$R_{AB} = R_1 + \frac{R_2 R_3}{R_2 + R_3} + R_6 = 5 + \frac{15 \cdot 10}{15 + 10} + 4 = 15 \text{ Ом}$$

Поскольку напряжение  $U_{AB}$  остается неизменным, находим токи  $I_1$  и  $I_5$ :

$$I_1 = I_5 = \frac{U_{AB}}{R_{AB}} = \frac{100}{15} = 6,67 \text{ A.}$$

Напряжение на резисторах  $R_2$  и  $R_3$ :

$$U_{2,3} = I_1 R_{2,3} = 6,67 \cdot 6 = 40 \text{ В.}$$

Находим токи  $I_2$  и  $I_3$ :

$$I_2 = \frac{U_{2,3}}{R_2} = \frac{40}{15} = 2,67 \text{ A}; I_3 = \frac{U_{2,3}}{R_3} = \frac{40}{10} = 4 \text{ A.}$$

Сумма этих токов равна току  $I_1$ :

$$I_1 = I_2 + I_3 = 2,67 + 4 = 6,67 \text{ A.}$$

*Методические указания к решению задач 2,3 и 4.*

Эти задачи относятся к неразветвленным и разветвленным цепям переменного тока. Перед их решением изучите материал темы 1.3 ознакомьтесь с методикой построения векторных диаграмм и рассмотрите типовые примеры 2, 3, 4.

**Пример 2.** Активное сопротивление катушки  $R_k=6$  Ом, индуктивное  $x_L=10$  Ом. Последовательно с катушкой включено активное сопротивление  $R=2$  Ом и конденсатор сопротивление  $x_c=4$  Ом ( рис. 81,а). К цепи приложено напряжение  $U=50$  В (действующее значение). Определить: 1) полное сопротивление цепи; 2) ток; 3) коэффициент мощности; 5) активную, реактивную и полную мощности; 5) напряжения на каждом сопротивлении. Начертите в масштабе, векторную диаграмму цепи.

Решение. 1. Определяем полное сопротивление цепи:

$$z = \sqrt{(R_k + R)^2 + (x_L + x_c)^2} = \sqrt{(6 + 2)^2 + (10 - 4)^2} = 10 \text{ Ом.}$$

2. Определяем ток:

$$I = \frac{U}{z} = \frac{50}{10} = 5 \text{ A.}$$

3. Определяем коэффициент мощности цепи:

$$\sin\varphi = \frac{x_L - x_c}{z} = \frac{10 - 4}{10} = 0,6;$$

По таблицам Брадиса находим  $\varphi = 36^{\circ}50'$ . Угол сдвига фаз  $\varphi$  находим по синусу во избежание потери знака угла (косинус является четной функцией).

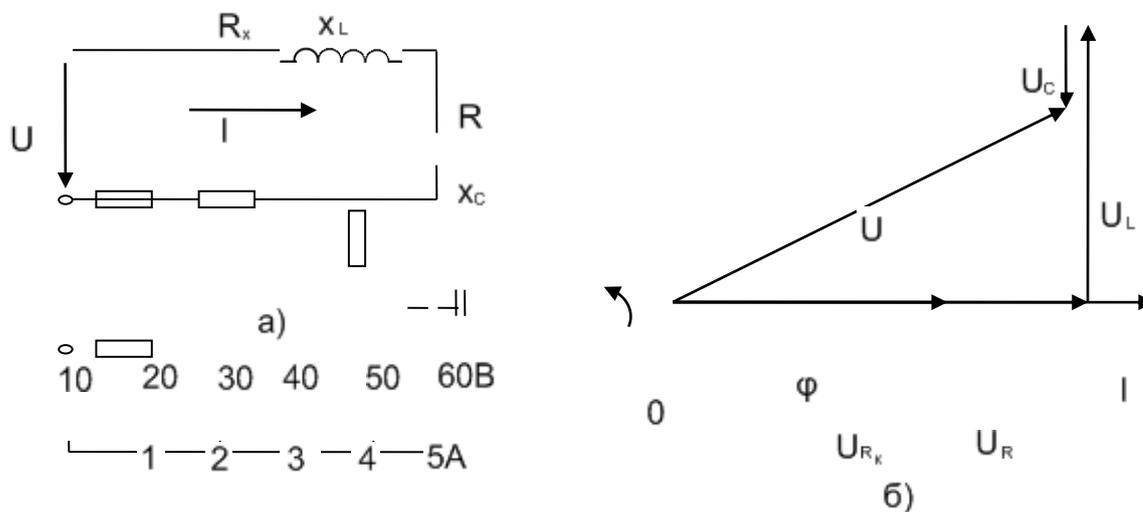


Рис.81

4. Определяем активную мощность цепи:

$$P = I^2(R_k + R) = 5^2(6 + 2) = 200 \text{ Вт}$$

Или

$$P = UI \cos \varphi = 50 \cdot 5 \cdot 0,8 = 200 \text{ Вт.}$$

Здесь  $\cos \varphi = \frac{R_k + R}{z} = \frac{6 + 2}{10} = 0,8$ .

5. Определим реактивную мощность цепи:

$$Q = I^2(x_L + x_C) = 5^2(10 - 4) = 150 \text{ Вар}$$

или

$$Q = UI \sin \varphi = 50 \cdot 5 \cdot 0,6 = 150 \text{ Вар.}$$

6. Определяем полную мощность цепи:

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} = \sqrt{200^2 + 150^2} = 250 \text{ В} \cdot \text{А}$$

Или

$$S = UI = 50 \cdot 5 = 250 \text{ В} \cdot \text{А.}$$

7. Определяем падения напряжения на сопротивлениях цепи:

$$U_{R_k} = IR_k = 5 \cdot 6 = 30 \text{ В}; U_L = Ix_L = 50 \cdot 10 = 50 \text{ В}; U_R = IR = 5 \cdot 2 = 10 \text{ В};$$

$$U_c = Ix_c = 5 \cdot 4 = 20 \text{ В}.$$

Построение векторной диаграммы начинаем с выбора масштаба для тока и напряжения. Задаем масштаб по току: в 1 см – 1,0 А и масштаб по напряжению: в 1 см – 10 В. Построение векторной диаграммы (рис. 81, б) начинаем с вектора тока, который откладываем по горизонтали в масштабе  $\frac{5\text{А}}{1\text{а/см}} = 5 \text{ см}$

Вдоль вектора тока откладываем векторы падений напряжения на активных сопротивлениях  $U_{R_k}$  и  $U_R$ :

$$\frac{30\text{В}}{10\text{В/см}} = 3\text{см}; \frac{10\text{В}}{10\text{В/см}} = 1 \text{ см}.$$

Из конца вектора  $U_R$  откладываем в сторону опережения вектора тока на  $90^\circ$  вектора падения напряжения  $U_L$  на индуктивном сопротивлении длиной  $\frac{50\text{В}}{10\text{В/см}} = 5 \text{ см}$ . Из конца вектора  $U_L$  откладываем в сторону отставания от вектора тока на  $90^\circ$  вектора падения напряжения на конденсаторе  $U_c$  длиной  $\frac{20\text{В}}{10\text{В/см}} = 2 \text{ см}$ . Геометрическая сумма векторов  $U_{R_k}$ ,  $U_R$ ,  $U_L$  и  $U_c$  равна полному напряжению  $U$ , приложенному к цепи.

**Пример 3.** На рис. 82, а задана векторная диаграмма для неразветвленной цепи, ток  $I$  и падения напряжений на каждом сопротивлении ( $U_1$ ,  $U_2$  и т.д.). Определить характер и величину каждого сопротивления, начертить эквивалентную схему цепи, вычислить приложенное напряжение и угол сдвига фаз  $\varphi$ .

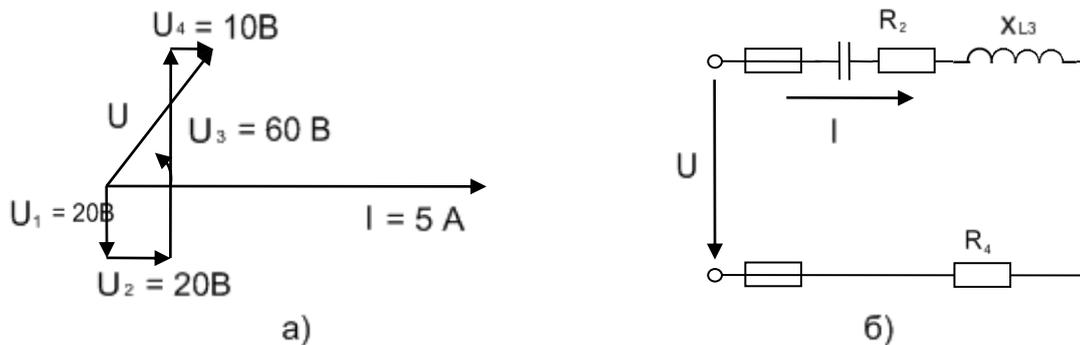


Рис.82

Решение. 1. Из векторной диаграммы следует, что напряжение  $U_1$  отстает от тока на угол  $90^\circ$ . Следовательно, на первом участке включен конденсатор, сопротивление которого

$$x_{c1} = \frac{U_1}{I} = \frac{20}{5} = 4 \text{ Ом}.$$

Вектор напряжения на втором участке  $U_2$  направлен параллельно вектору тока, т.е. совпадает с ним по фазе. Значит, на втором участке включено активное сопротивление

$$R_2 = \frac{U_2}{I} = \frac{20}{5} = 4 \text{ Ом.}$$

Вектор напряжения на третьем участке  $U_3$  опережает вектор тока на угол  $90^\circ$ , что характерно для индуктивности, сопротивление которой

$$x_{L3} = \frac{U_3}{I} = \frac{60}{5} = 12 \text{ Ом}$$

На четвертом участке включено активное сопротивление

$$R_4 = \frac{U_4}{I} = \frac{10}{5} = 2 \text{ Ом.}$$

Эквивалентная схема цепи приведена на рис.82, б.

2. Из векторной диаграммы определяем значение приложенного напряжения и угол сдвига фаз:

$$U = \sqrt{(U_2 + U_4)^2 + (U_3 - U_1)^2} = \sqrt{(20 + 10)^2 + (60 - 20)^2} = 50 \text{ В;}$$

$$\sin\varphi = \frac{U_3 - U_1}{U} = \frac{60 - 20}{50} = 0,8; \varphi = 53^\circ 10'.$$

**Пример 4.** Катушка с активным сопротивлением  $R_1=6 \text{ Ом}$  и индуктивным  $x_{L1}=8 \text{ Ом}$  соединена параллельно с конденсатором, емкостное сопротивление которого  $x_{C2}=10 \text{ Ом}$

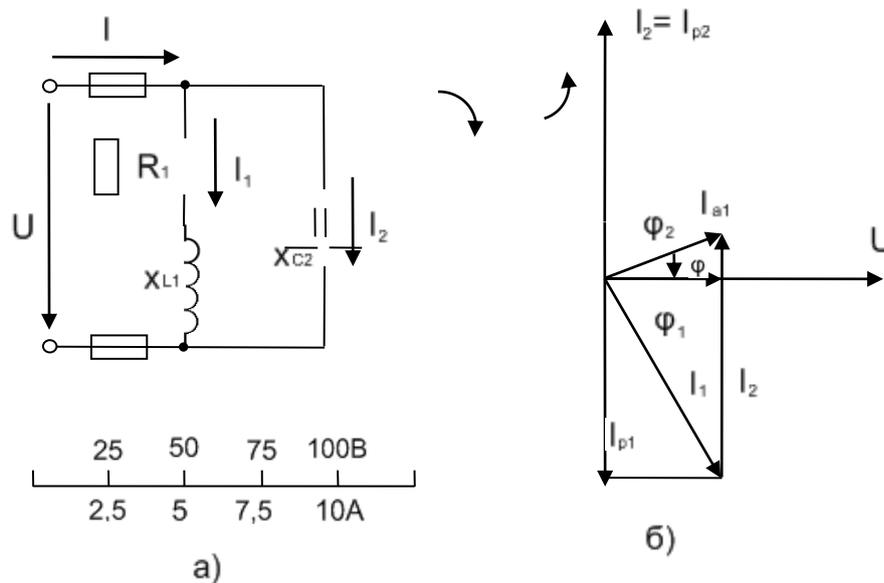


Рис.83

1) Токи в ветвях и в неразветвленной части цепи; 2) активные и реактивные мощности ветвей и всей цепи; 3) полную мощность цепи; 4) углы сдвига фаз между током и напряжением в каждой ветви и во всей цепи. Начертить в масштабе векторную диаграмму цепи. К цепи приложено напряжение  $U=100 \text{ В}$ .

Решение: 1. Определяем токи в ветвях:

$$I_1 = \frac{U}{\sqrt{R_1^2 + x_{L1}^2}} = \frac{100}{\sqrt{6^2 + 8^2}} = 10 \text{ A};$$

$$I_2 = \frac{U}{x_{C2}} = \frac{100}{10} = 10 \text{ A}.$$

2. Углы сдвига фаз в ветвях находим по синусам углов во избежание потери знака угла:

$$\sin\varphi_1 = \frac{x_{L1}}{z_1} = \frac{8}{\sqrt{6^2 + 8^2}} = 0,8; \varphi = 53^{\circ}10'.$$

Так как  $\varphi_1 > 0$ , то напряжение опережает ток,

$$\sin\varphi_2 = \frac{-x_{C2}}{z_2} = \frac{10}{10} = -1,0; \varphi_2 = -90^{\circ}, \text{ т. е. напряжение отстает от тока, так как } \varphi_2 < 0.$$

По таблицам Брадиса находим  $\cos\varphi_1 = 0,6; \cos\varphi_2 = 0$ .

3. Определяем активные и реактивные составляющие токов в ветвях:

$$I_{a1} = I_1 \cos\varphi_1 = 10 \cdot 0,6 = 6 \text{ A};$$

$$I_{p1} = I_1 \sin\varphi_1 = 10 \cdot 0,8 = 8 \text{ A}; I_{a2} = 0;$$

$$I_{p2} = 10(-1,0) = -10 \text{ A}.$$

4. Определяем ток в неразветвленной части цепи:

$$I = \sqrt{(I_{a1} + I_{a2})^2 + (I_{p1} + I_{p2})^2} = \sqrt{(6 + 0)^2 + (8 - 10)^2} = 6,33 \text{ A}.$$

5. Определяем коэффициент мощности всей цепи:

$$\cos\varphi = \frac{I_{a1} + I_{a2}}{I} = \frac{6 + 0}{6,33} = 0,95.$$

6. Определяем активные и реактивные мощности ветвей и всей цепи:

$$P_1 = UI_1 \cos\varphi_1 = 100 \cdot 10 \cdot 0,6 = 600 \text{ Вт};$$

$$P_2 = 0; P = P_1 + P_2 = 600 \text{ Вт};$$

$$Q_1 = UI_1 \sin\varphi_1 = 100 \cdot 10(-1,0) = -1000 \text{ вар};$$

$$Q = Q_1 + Q_2 = 800 - 1000 = -200 \text{ вар}.$$

Внимание! Реактивная мощность ветви с емкостью отрицательна, так как  $\varphi_2 < 0$ .

7. Определяем полную мощность цепи:

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} = \sqrt{600^2 + 200^2} = 633 \text{ В} \cdot \text{А}.$$

Ток неразветвленной части цепи можно определить значительно проще без разложения токов на составляющие, зная полную мощность цепи в напряжении:

$$I = \frac{S}{U} = \frac{633}{100} = 6,33 \text{ А}.$$

8. Для построения векторной диаграммы задаемся масштабом по току: в 1 см - 2,5 А и масштабом по напряжению: в 1 см – 25 В. Построение начинаем с вектора напряжения  $U$  (рис.83, б). Под углом  $\varphi_1$  к нему ( в сторону отставания) откладываем в масштабе вектор тока  $I_1$  под углом  $\varphi_2$  ( в сторону опережения) – вектор тока  $I_2$ . Геометрическая сумма этих токов равна току в неразветвленной части цепи. На диаграмме показаны также проекции векторов токов на вектор напряжения (активная составляющая  $I_{a1}$ ) и вектор, перпендикулярный ему (реактивные составляющие  $I_{p1}$  и  $I_{p2}$ ). При отсутствии конденсатора реактивная мощность первой ветви не компенсировалась бы, и ток в цепи увеличился бы до  $I=I_1=10 \text{ А}$ .

#### Методические указания к решению задач 5-14

Решение задач этой группы требует знания учебного материала темы 1.4, отчетливого представления об особенностях соединения обмоток трехфазного генератора и потребителей в звезду и треугольник, соотношениях между линейными и фазными величинами при таких соединениях, а также умения строить векторные диаграммы при симметричной и несимметричной нагрузках. Содержание задач и схемы цепей приведены в условиях задач, а длинные к ним – в таблицах 7 и 16. Для пояснения общей методики решения задач на трехфазные цепи, включая построение векторных диаграмм, рассмотрены типовые примеры 5-10.

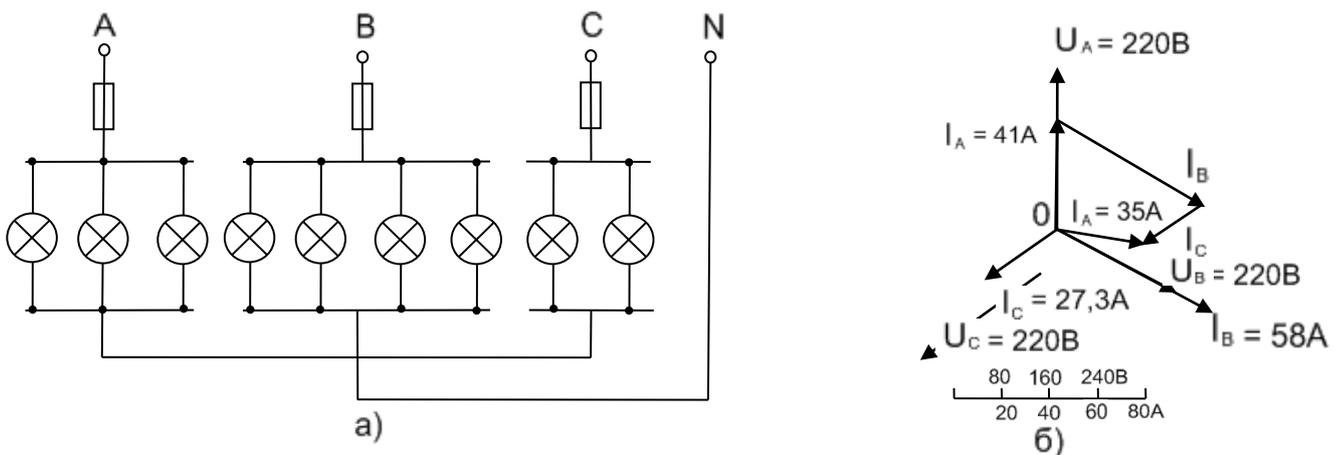


Рис.84

**Пример 5.** В трехфазную четырехпроводную сеть включены звездой лампы накаливания мощностью  $P=300 \text{ Вт}$  каждая. В фазу А включили 30 ламп, в фазу В- 50 ламп и в фазу С – 20 ламп. Линейное напряжение сети  $U_{\text{ном}}=380 \text{ В}$  (рис 84, а). Определить

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

Решение. 1. Определяем фазные напряжение установки:

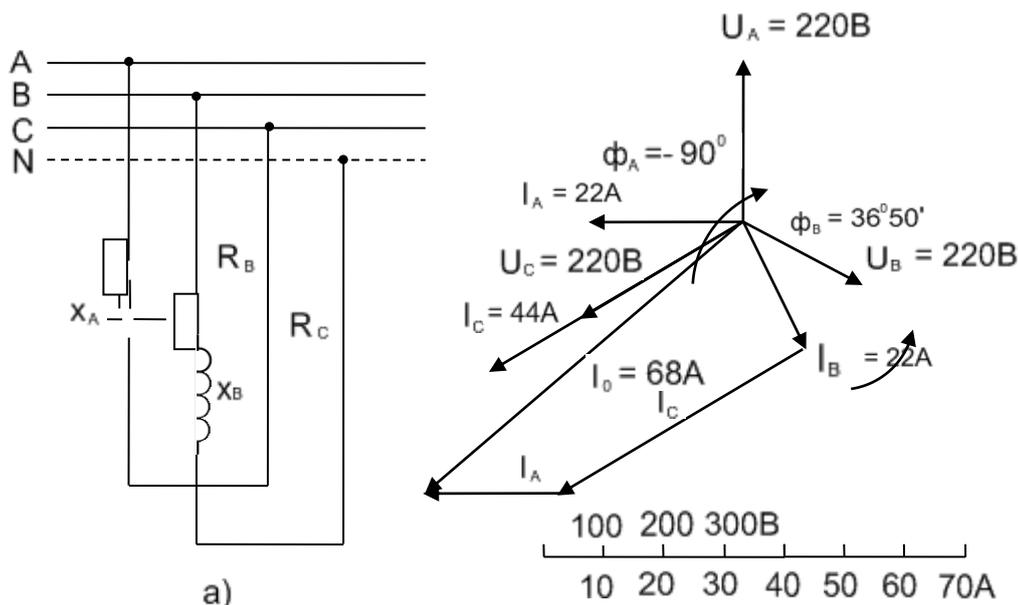
$$U_A = U_B = U_C = \frac{U_{\text{ном}}}{\sqrt{3}} = \frac{380}{1,73} = 220 \text{ В.}$$

2. Находим фазные токи:

$$I_A = \frac{P_{\phi A}}{U_A} = \frac{300 \cdot 30}{220} = 41 \text{ А}; \quad I_B = \frac{P_{\phi B}}{U_C} = \frac{300 \cdot 20}{220} = 27,3 \text{ А.}$$

3. Для построения векторной диаграммы выбираем масштабы по току: 1 см = 20 А и по напряжению: 1 см – 80 В. Построение диаграммы: начинаем с векторов фазных напряжений  $U_A$ ,  $U_B$ ,  $U_C$ , (рис 84, б), располагая их под углом  $120^\circ$  друг относительно друга. Чередование фаз обычное: за фазой А – фаза В, за фазой В – фаза С. Лампы накаливания являются активной нагрузкой, поэтому так в каждой фазе совпадает с соответствующим фазным напряжением. В фазе А ток  $I_A=41$  А, поэтому на диаграмме он выразится вектором, длина которого равна  $41/20=2,05$  см. Длина вектора фазного напряжения  $U_A$  составит  $220/80=2,75$  см. Аналогично строим векторы токов и напряжений в остальных фазах. Ток  $I_0$  в нулевом проводе является геометрической суммой всех фазных токов. Измеряя длину вектора тока  $I_0$  в нулевом проводе, получаем 1,75 см, поэтому  $I_0=1,75 \cdot 20=35$  А. Векторы линейных напряжений на диаграмме не показаны, чтобы не усложнять чертеж.

**Пример 6.** В трехфазную четырехпроводную сеть включили звездой несимметричную нагрузку: в фазу А – конденсатор с емкостным сопротивлением  $x_A=10$  Ом; в фазу В – активное сопротивление  $R_B=8$  Ом и индуктивное  $x_B=6$  Ом, в фазу С – активное сопротивление  $R_C=5$  Ом. Линейное напряжение сети  $U_{\text{ном}}=380$  В. Определить фазные токи, начертить в масштабе векторную диаграмму цепи и найти графически ток в нулевом проводе. Схема цепи дана на рис. 85, а.



б)

Рис.85

Решение.

1. Определяем фазные напряжения установки

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

2. Находим фазные токи:

$$I_A = \frac{U_A}{x_A} = \frac{220}{10} = 22 \text{ A}; \quad I_B = \frac{U_B}{z_B} = \frac{220}{10} = 22 \text{ A}$$

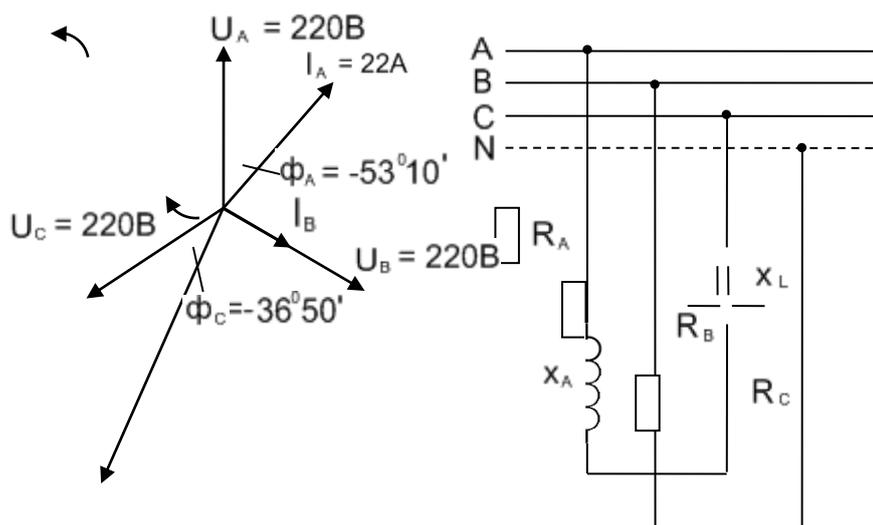
$$\text{Здесь } z_H = \sqrt{R_B^2 + x_B^2} = \sqrt{8^2 + 6^2} = 10 \text{ Ом};$$

$$I_C = \frac{U_C}{R_C} = \frac{220}{5} = 44 \text{ A.}$$

Для построения векторной диаграммы выбираем масштабы по току: 1 см = 10 А и по напряжению: 1 см – 100 В. Построение диаграммы начинаем с векторов фазных напряжений  $U_A, U_B$  и  $U_C$ , располагая их под углом  $120^\circ$  друг относительно друга (рис. 85, б). Ток  $I_A$  опережает напряжение  $U_A$  на угол  $90^\circ$ ; ток  $I_B$  отстает от напряжения  $U_B$  на угол  $\varphi_B$ , который определяется из выражения.

$$\cos \varphi_B = \frac{R_B}{z_B} = \frac{8}{\sqrt{8^2 + 6^2}} = 0,8; \quad \varphi_B = 36^\circ 50'.$$

Ток  $I_C$  совпадает с напряжением  $U_C$ . Ток в нулевом проводе равен геометрической сумме трех фазных токов. Измеряя длину вектора тока  $I_0$ , которая оказалась равной 6,8 см, находим ток  $I_0 = 68 \text{ А}$ .



$$I_C = 44 \text{ A}$$

а)

б)

Рис.86

**Пример 7.** По заданной векторной диаграмме для трехфазной цепи (рис. 86, а) определить характер нагрузки каждой фазы и вычислить ее сопротивление. Начертить соответствующую схему цепи. Нагрузка включена в звезду. Определить активную и реактивную мощности, потребляемые цепью. Значения напряжений, токов и фазных углов приведены на диаграмме. Векторы линейных напряжений не показаны.

Решение.

1. Рассматривая векторную диаграмму, можно заметить, что ток в фазе А отстает от фазного напряжения  $U_A$  на угол  $\varphi_A = 53^\circ 10'$ , значит в фазу А включена катушка с полным сопротивлением  $z_A = \frac{U_A}{I_A} = \frac{220}{22} = 10 \text{ Ом}$ . Ее активное и индуктивное сопротивления вычисляем по формулам

$$R_A = z_A \cos \varphi_A = 10 \cos 53^\circ 10' = 10 \cdot 0,6 = 6 \text{ Ом}$$

$$x_A = z_A \sin \varphi_A = 10 \sin 53^\circ 10' = 10 \cdot 0,8 = 8 \text{ Ом}$$

В фазе В ток  $I_B$  совпадает с напряжением  $U_B$ , значит в фазу В включено активное сопротивление

$$R_B = \frac{U_B}{I_B} = \frac{220}{11} = 20 \text{ Ом}$$

В фазе С ток  $I_C$  опережает напряжение  $U_C$  на угол  $\varphi_C = -36^\circ 50'$ , значит в фазу С включены конденсатор и активное сопротивление. Полное сопротивление фазы

$$z_C = \frac{U_C}{I_C} = \frac{220}{44} = 5 \text{ Ом}$$

Определим активное и емкостное сопротивления:

$$R_C = z_C \cos \varphi_C = 5 \cos -36^\circ 50' = 5 \cdot 0,8 = 4 \text{ Ом}$$

$$x_C = z_C \sin \varphi_C = 5 \sin -36^\circ 50' = -5 \cdot 0,6 = -3 \text{ Ом}$$

Схема цепи приведена на рис. 86, б.

2. Определяем мощности, потребляемые цепью. Активная мощность

$$P = P_A + P_B + P_C = I_A^2 R_A + I_B^2 R_B + I_C^2 R_C = 22^2 \cdot 6 + 11^2 \cdot 20 + 44^2 \cdot 4 = 13,068 \text{ кВт.}$$

Реактивная мощность

$$Q = Q_A - Q_C = I_A^2 x_A - I_C^2 x_C = 22^2 \cdot 8 - 44^2 \cdot 3 = -9680 \text{ Вар} = -9,68 \text{ кВар}.$$

Знак минус показывает, что в цепи преобладает емкость.

**Пример 8.** В трехфазную сеть включили треугольником несимметричную нагрузку (рис.87, а): в фазу АВ – конденсатор с емкостным сопротивлением  $x_{AB} = 10 \text{ Ом}$ ; в фазу ВС – катушку с активным сопротивлением  $R_{BC} = 4 \text{ Ом}$  и индуктивным  $x_{BC} = 3 \text{ Ом}$ ; в фазу СА – активное сопротивление  $R_{CA} = 4 \text{ Ом}$ . Линейное напряжение сети  $U_{\text{ном}}=220 \text{ В}$ . Определить фазные токи, углы сдвига фаз и начертить в масштабе векторную диаграмму цепи. По векторной диаграмме определить числовые значения линейных токов.

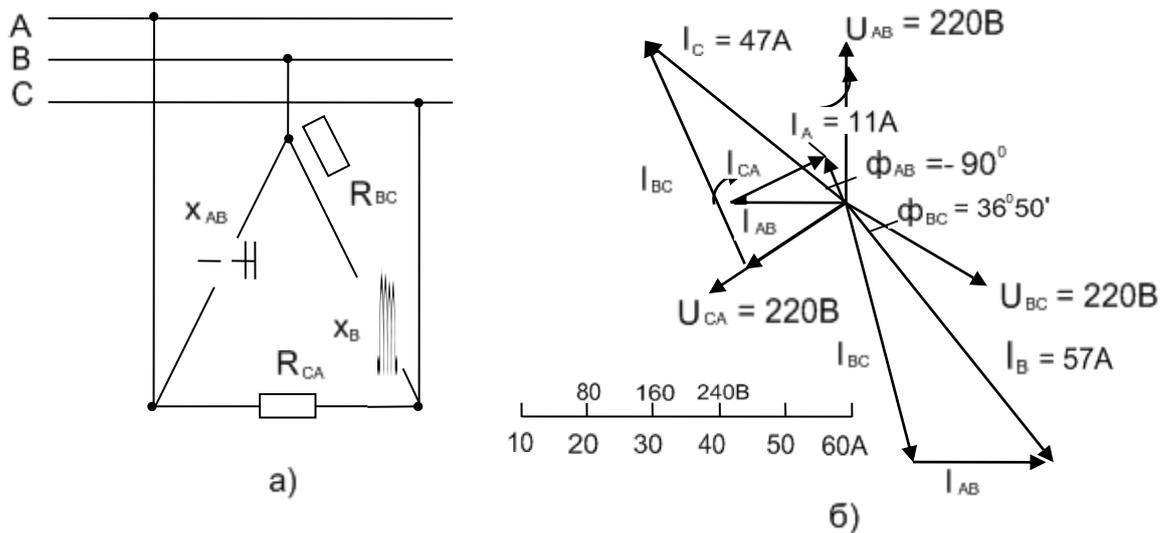


Рис.87

Решение

1. Определяем фазные токи и углы сдвига фаз:

$$I_{AB} = \frac{U_{\text{ном}}}{x_{AB}} = \frac{220}{10} = 22 \text{ A}; \quad \varphi_{AB} = -90^\circ;$$

$$I_{BC} = \frac{U_{\text{ном}}}{x_{BC}} = \frac{U_{\text{ном}}}{\sqrt{R_{BC}^2 + x_{BC}^2}} = \frac{220}{\sqrt{4^2 + 3^2}} = 44 \text{ A};$$

$$\cos \varphi_{BC} = \frac{R_{BC}}{z_{BC}} = \frac{4}{5} = 0,8, \text{ где } z_{BC} = \sqrt{4^2 + 3^2} = 5 \text{ Ом}.$$

Отсюда угол  $\varphi_{BC} = 36^\circ 50'$ .

$$I_{CA} = \frac{U_{\text{ном}}}{R_{CA}} = \frac{220}{10} = 22 \text{ A}; \quad \varphi_{CA} = 0.$$

Для построения векторной диаграммы выбираем масштаб по току: 1 см – 10 А, по напряжению: 1 см – 80 В. Затем в принятом масштабе откладываем векторы фазных (они же линейные) напряжений  $U_{AB}$ ,  $U_{BC}$ ,  $U_{CA}$  под углом  $120^\circ$  друг относительно друга (рис 87, б). Под углом  $\varphi_{AB} = -90^\circ$  к вектору напряжения  $U_{AB}$  откладываем вектор тока  $I_{AB}$ ; в фазе BC вектор тока  $I_{BC}$  должен отставать от вектора напряжений  $U_{BC}$  на угол  $\varphi_{BC} = 36^\circ 50'$ , а в фазе CA вектор тока  $I_{CA}$  совпадает с вектором напряжения  $U_{CA}$ . Затем строим векторы линейных токов на основании известных уравнений.

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

Измеряя длины векторов линейных токов и пользуясь принятым масштабом, находим значения линейных токов;

$$I_A = 11 \text{ A}; \quad I_B = 57 \text{ A}; \quad I_C = 47 \text{ A}.$$

**Пример 9.** По векторной диаграмме для трехфазной цепи (рис.89, а) определить характер нагрузки в каждой фазе, вычислить ее сопротивление и начертить схему включения. Нагрузка несимметричная, соединена в треугольник. Значения напряжений, фазных токов и углов сдвига фаз указаны на диаграмме.

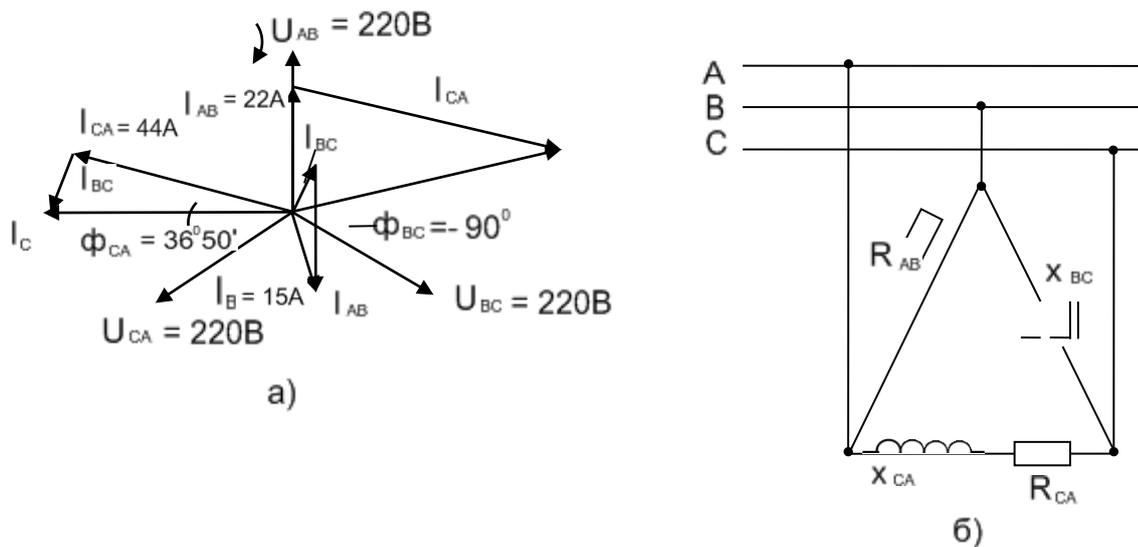


Рис.88

Решение.

1. Рассматривая векторную диаграмму, можно заключить, что ток  $I_{AB}$  в фазе АВ совпадает с напряжением  $U_{AB}$ , значит в фазу АВ включено активное сопротивление

$$R_{AB} = \frac{U_{AB}}{I_{AB}} = \frac{220}{22} = 10 \text{ Ом.}$$

В фазе ВС ток  $I_{BC}$  опережает напряжение на угол  $\varphi_{BC} = -90^\circ$ , значит в фазу ВИ включено емкостное сопротивление

$$x_{BC} = \frac{U_{BC}}{I_{BC}} = \frac{220}{10} = 22 \text{ Ом.}$$

В фазе СА ток  $I_{CA}$  отстает от напряжения  $U_{CA}$  на угол  $\varphi_{CA} = 36^\circ 50'$  значит фазу СА включено активно-индуктивное сопротивление

$$z_{CA} = \frac{U_{CA}}{I_{CA}} = \frac{220}{44} = 5 \text{ Ом}$$

Очевидно,

$$R_{CA} = z_{CA} \cos \varphi_{CA} = 5 \cos 36^\circ 50' = 5 \cdot 0,8 = 4 \text{ Ом}$$

$$z_{CA} = z_{CA} \sin \varphi_{CA} = 5 \sin 36^\circ 50' = 5 \cdot 0,6 = 3 \text{ Ом}$$

2. На основании вычислений чертим схему цепи (рис. 88, б).

**Пример 10.** В трехфазную четырехпроводную сеть включены печь сопротивления, представляющая собой симметричную нагрузку, соединенную треугольником, и несимметричная осветительная нагрузка в виде ламп накаливания, соединенных звездой (рис.89, а). Мощность каждой фазы печи  $P_{п}=10$  кВт. Мощность каждой лампы  $P_{л}=200$  Вт число ламп в фазах  $n_A=50$ ;  $n_B=40$ ;  $n_C=30$ . Номинальное напряжение сети  $U_{ном}=380$  В. Определить показания всех приборов, включенных в схему.

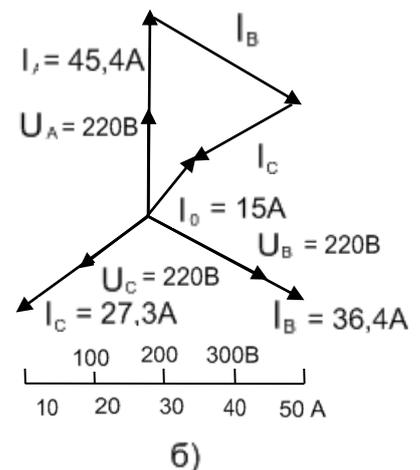
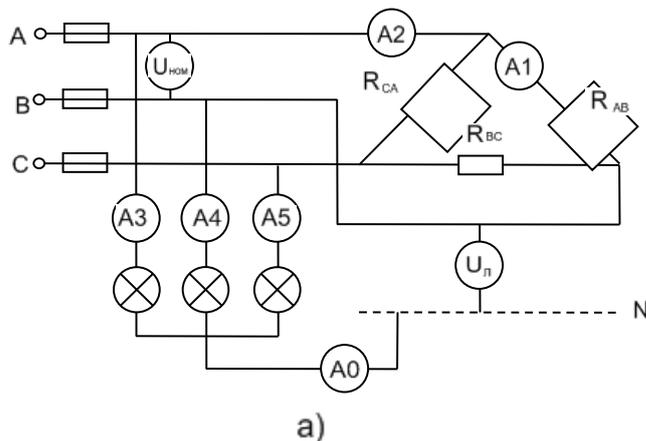


Рис.89

Решение.

1. Находим фазные токи, потребляемые печью:

$$I_{AB} = I_{BC} = I_{CA} = \frac{P_{\text{п}}}{U_{\text{ном}}} = 10 \cdot \frac{1000}{380} = 26,3 \text{ А.}$$

Таким образом, амперметра А1 покажет силу тока 26,3 А.

2. Линейные токи, потребляемые симметричной нагрузкой, превышают фазные в  $\sqrt{3}$  раза, т.е.  $I_A = I_B = I_C = \sqrt{3} \cdot 26,3 = 45,5 \text{ А}$ . Это значение покажет амперметр А2.
3. Определяем фазные токи, потребляемые лампами. Лампы соединены звездой и включены на фазные напряжение  $U_A = U_B = U_C = \frac{U_{\text{ном}}}{\sqrt{3}} = \frac{380}{\sqrt{3}} = 220 \text{ В}$ . Это напряжение покажет вольтметр  $V_{\text{л}}$ . Поэтому фазные токи

$$I_A = \frac{P_{\text{л}} n_A}{U_A} = \frac{200 \cdot 50}{220} = 45,4 \text{ А}; \quad I_B = \frac{P_{\text{л}} n_B}{U_B} = \frac{200 \cdot 40}{220} = 36,4 \text{ А};$$

$$I_C = \frac{P_{\text{л}} n_C}{U_C} = \frac{200 \cdot 30}{220} = 27,3 \text{ А.}$$

Амперметры А3, А4, А5, включенные в линейные провода, соответственно покажут эти токи.

4. Для определения тока в нулевом проводе  $I_0$  начертим в масштабе векторную диаграмму цепи, где включены лампы. Выбираем масштаб для напряжений и токов: 1 см – 100 В; 1 см – 10 А. Затем в принятом масштабе откладываем векторы фазных напряжений  $U_A$ ,  $U_B$  и  $U_C$  располагая их под углом  $120^\circ$  друг относительно друга (рис.89, б). Чередование фаз обычное: за фазой А – фаза В, за фазой В – фаза С. Лампы накаливания являются активной нагрузкой, поэтому ток в каждой фазе совпадает с соответствующим фазным напряжением. В фазе А ток  $I_A=45,4 \text{ А}$ , поэтому на диаграмме он выразится вектором, длина которого равна  $45,4:10=4,54 \text{ см}$ ; длина вектора фазного напряжения  $U_A$  составит:  $220:100=2,2 \text{ см}$ . Аналогично строим векторы токов напряжений в остальных фазах. Ток  $I_0$  в нулевом проводе определяется геометрической суммой всех трех фазных токов. Измеряя длину вектора тока  $I_0$ , которая оказалась равной 1,5 см, получим значение тока в нулевом проводе  $I_0=15 \text{ А}$ . Векторы линейных напряжений на диаграмме не показаны, чтобы не усложнять чертеж.

*Методические указания к решению задач 15-21*

Перед решением задач этой группы особое внимание уделите: 9.3-9.6, 9.11, 9.12 учебника [2]. Для их решения необходимо знать устройство, принцип действия и зависимости между электрическими величинами однофазных и трехфазных трансформаторов, уметь определять по их паспортным данным технические характеристики. Основными параметрами трансформаторов являются:

1. Номинальная мощность  $S_{\text{ном}}$ . Это полная мощность (в кВ\*А), которую трансформатор, установленный на открытом воздухе, может непрерывно отдавать в течение своего срока службы (20-25 лет) при номинальном напряжении и при максимальной и среднегодовой температурах окружающего воздуха, равных соответственно 40 и 5<sup>0</sup>С. Если указанные температуры отличаются от номинальных, то и номинальная мощность будет отличаться от указанной в паспорте.
2. Номинальное первичное напряжение  $U_{\text{ном1}}$ . Это напряжение, на которое рассчитана первичная обмотка трансформатора.
3. Номинальное вторичное напряжение  $U_{\text{ном2}}$ . Это напряжение на выводах вторичной обмотки при холостом ходе и номинальном первичном напряжении. При нагрузке вторичное напряжение  $U_2$  снижается из-за потерь в трансформаторе. Например, если  $U_{\text{ном2}}=400$  В, то при полной нагрузке трансформатора вторичное напряжение  $U_2=380$  В, так как 20 В теряется в трансформаторе.
4. Номинальный первичный и вторичный токи  $I_{\text{ном1}}$  и  $I_{\text{ном2}}$ . Это токи, вычисленные по номинальной мощности и номинальным напряжением. Для однофазного трансформатора

$$I_{\text{ном1}} = \frac{S_{\text{ном}}}{U_{\text{ном1}} \eta}; \quad I_{\text{ном2}} = \frac{S_{\text{ном}}}{U_{\text{ном2}}}$$

Для трехфазного трансформатора

$$I_{\text{ном1}} = \frac{S_{\text{ном}}}{\sqrt{3}U_{\text{ном1}} \eta}; \quad I_{\text{ном2}} = \frac{S_{\text{ном}}}{\sqrt{3}U_{\text{ном2}}}$$

Здесь  $\eta$  - К.П.Д.. трансформатора. Эта величина близка к 1,0 из-за малых потерь в трансформаторе. На практике при определении такового принимают  $\eta = 1,0$ .

Трансформаторы чаще всего работают с нагрузкой меньше номинальной. Поэтому вводят понятие о коэффициенте нагрузки  $k_{\text{н}}$ . Если трансформатор с  $S_{\text{ном}}=1000$  кВ\*А отдает потребителю мощность  $S_3=950$  кВ\*А, то  $k_{\text{н}} = \frac{950}{1000} = 0,95$ . Значения отдаваемых трансформатором активной и реактивной мощностей зависят от коэффициента мощности потребителя  $\cos\varphi_2$ . Например, при  $S_{\text{ном}}=1000$  кВ\*а,  $k_{\text{н}} = 1,0$  и  $\cos\varphi_2=0,9$  отдаваемая активная мощность  $P_2 = S_{\text{ном}} \sin\varphi_2 = 1000*0,9=900$  кВт, а реактивная  $Q_2 = S_{\text{ном}} \sin\varphi_2 = 1000*0,436=436$  квар. Если потребитель увеличит  $\cos\varphi_2$  до 1,0, то  $P_2=1000*1,0=1000$  кВт;  $Q_2=100*0=0$ , т.е. вся отдаваемая мощность будет активной. В обоих случаях по обмоткам проходят одни и те же номинальные

токи. В табл. 17 приведены технические данные наиболее распространенных трансформаторов.

Таблица 26. Технические данные комплектных конденсаторных установок напряжением 380 В

Тип установки	Q <sub>к1</sub> , кВар	Тип установки	Q <sub>к2</sub> , кВар	Тип установки	Q <sub>к3</sub> , кВар
УК-0,38-75	75	УК-0,38-220Н	220	УК-0,38-330Н	330
УК-0,38-78	78	УК-0,38-225	225	УК-0,38-430Н	430
УК-0,38110Н	110	УК-0,38-300Н	300	УК-0,38-450Н	450
УК-0,38-150Н	150	УК-0,38-320Н	320	УК-0,38-540Н	540

Отношение линейных напряжений в трехфазных трансформаторах называют линейным коэффициентом трансформации, который равен отношению чисел витков обмоток, если они имеют одинаковые схемы соединения (Y/Y и  $\Delta/\Delta$ ). При других схемах коэффициент трансформации находят по формулам

$$K = \frac{U_{\text{ном1}}}{U_{\text{ном2}}} = \sqrt{3} \omega_1 / \omega_2 (Y/\Delta);$$

$$K = \frac{U_{\text{ном1}}}{U_{\text{ном2}}} = \omega_1 / (\sqrt{3} \omega_2) \text{ при } (\Delta/Y);$$

Для уменьшения установленной мощности трансформаторов и снижения потерь энергии в сетях производят компенсацию части реактивной мощности, потребляемой предприятием, что достигается установкой на подстанциях конденсаторов. В настоящее время энергосистема разрешает потребление предприятием определенной реактивной мощности Q<sub>э</sub>, называемой оптимальной и обеспечивающей наименьшие эксплуатационные расходы в энергосистеме. Если фактическая реактивная мощность предприятия немного отличается от заданной (точно ее выдержать нельзя), то предприятие получает скидку с тарифа на электроэнергию; при значительной разнице между Q<sub>э</sub> и Q<sub>ф</sub> предприятие платит надбавку к тарифу, начисляемую по специальной шкале.

Пусть реактивная мощность предприятия Q=5000 кВАр а заданная системой мощность Q<sub>э</sub>=1000 кВАр. Тогда предприятие должно скомпенсировать с помощью конденсаторов реактивную мощность Q<sub>б</sub>=Q-Q<sub>э</sub>=5000-1000=4000 кВАр. Выбираем по табл. 26 девять комплектных установок УК=0,38-450Н мощностью по 450 кВАр. Суммарная реактивная мощность батареи 9\*450=4050 кВАр что близко к необходимому значению 4000 кВАр.

**Пример 11.** Трехфазный трансформатор имеет следующие номинальные характеристики: S<sub>ном</sub>=1000 кВ\*а, U<sub>ном1</sub>=10 кВ, U<sub>ном2</sub>=400 В. Потери в стали P<sub>ст</sub>=2,45 кВт, потери в обмотках P<sub>о ном</sub>=12,2 кВт. Первичные обмотки соединены в треугольник,

вторичные = в звезду. Сечение магнитопровода  $Q=450 \text{ см}^2$ , амплитуда магнитной индукции в нем  $B_m=1,5 \text{ Тл}$ . Частота тока в сети  $f=50 \text{ Гц}$ . От трансформатора потребляется активная мощность  $P_2=810 \text{ кВт}$  при коэффициенте мощности  $\cos\varphi_2=0,9$ . Определить: 1) номинальные токи в обмотках и токи при фактической нагрузке; 2) числа витков обмоток; 3) К.П.Д.. трансформатора при номинальной и фактической нагрузках.

Решение.

1. Номинальные токи в обмотках:

$$I_{\text{НОМ1}} = \frac{S_{\text{НОМ}} \cdot 1000}{\sqrt{3}U_{\text{НОМ1}}} = \frac{1000 \cdot 1000}{1,73 \cdot 10000} = 58 \text{ А};$$

$$I_{\text{НОМ2}} = \frac{S_{\text{НОМ}} \cdot 1000}{\sqrt{3}U_{\text{НОМ2}}} = \frac{1000 \cdot 1000}{1,73 \cdot 400} = 1445 \text{ А};$$

2. Коэффициент нагрузки трансформатора

$$k_{\text{н}} = \frac{P_2}{S_{\text{НОМ}} \cos\varphi_2} = \frac{810}{1000 \cdot 0,9} = 0,9.$$

3. Токи в обмотках при фактической нагрузке

$$I_1 = k_{\text{н}} I_{\text{НОМ1}} = 0,9 \cdot 58 = 52 \text{ А}; \quad I_2 = k_{\text{н}} I_{\text{НОМ2}} = 0,9 \cdot 1445 = 1300 \text{ А};$$

4. Фазные Э.Д.С. наводимые в обмотках. Первичные обмотки соединены в треугольник, а вторичные – в звезду, поэтому, пренебрегая падением напряжения в первичной обмотке, считаем

$$E_{1\phi} \approx U_{\text{НОМ1}} = 10000 \text{ В}; \quad E_{2\phi} = \frac{U_{\text{НОМ2}}}{\sqrt{3}} = \frac{400}{\sqrt{3}} = 230 \text{ В}.$$

5. Числа витков обеих обмоток находим из формулы

$$E_{1\phi} = \frac{4,44}{\omega_1 \Phi_m} = \frac{4,44}{\omega_1 B_m Q}, \text{ откуда}$$

$$\omega_1 = E_{1\phi} / \left( \frac{4,44}{B_m Q} \right) = 10000 / (4,44 \cdot 40 \cdot 1,5 \cdot 0,045) = 667$$

Здесь  $Q=450 \text{ см}^2 = 0,045 \text{ м}^2$

$$\omega_2 = \frac{\omega_1 E_{2\phi}}{E_{1\phi}} = 667 \cdot \frac{230}{10000} = 15,3$$

6. К.П.Д. трансформатора при номинальной нагрузке:

$$\eta_{\text{ном}} = \frac{S_{\text{ном}} \cos \varphi_2 \cdot 100}{S_{\text{ном}} \cos \varphi_2 + P_{\text{ст}} + P_{\text{о.ном}}} = \frac{1000 \cdot 0,9 \cdot 100}{1000 \cdot 0,9 + 2,45 + 12,2} = 98,4\%$$

7. К.П.Д. трансформатора при фактической нагрузке

$$\begin{aligned} \eta &= \frac{k_{\text{н}} S_{\text{ном}} \cos \varphi_2}{k_{\text{н}} S_{\text{ном}} \cos \varphi_2 + P_{\text{ст}} + k_{\text{н}}^2 P_{\text{о.ном}}} \cdot 100 = \\ &= \frac{0,9 \cdot 1000 \cdot 0,9}{0,9 \cdot 1000 \cdot 0,9 + 2,45 + 0,9^2 \cdot 12,2} \cdot 100 = 98,5\% \end{aligned}$$

**Пример 12.** Однофазный понижающий трансформатор номинальной мощностью  $S_{\text{ном}}=500 \text{ В}\cdot\text{А}$  служит для питания ламп местного освещения металлорежущих станков. Номинальные напряжения обмоток  $U_{\text{ном1}} = 380\text{В}$ ;  $U_{\text{ном2}} = 24\text{В}$ . К трансформатору присоединены десять ламп накаливания мощностью 40 Вт каждая, их коэффициент нагрузки трансформатора; 3) токи в обмотках при действительной нагрузке; 4) числа витков обмоток; 5) коэффициент трансформации.

Решение.

1. Номинальные токи в обмотках:

$$I_{\text{ном1}} = S_{\text{ном}}/U_{\text{ном1}} = 500/380 = 1,32 \text{ А.}$$

$$I_{\text{ном2}} = S_{\text{ном}}/U_{\text{ном2}} = 500/24 = 20,8 \text{ А.}$$

2. Коэффициент нагрузки трансформатора

$$k_{\text{н}} = P_2/(S_{\text{ном}} \cos \varphi_2) = 10 \cdot 40/(500 \cdot 1,0) = 0,8$$

3. Токи в обмотках при действительной нагрузке

$$I_1 = k_{\text{н}} I_{\text{ном1}} = 0,8 \cdot 1,32 = 1,06 \text{ А}; I_2 = k_{\text{н}} I_{\text{ном2}} = 0,8 \cdot 20,8 = 16,6 \text{ А.}$$

4. При холостом ходе  $E_1 \approx U_{\text{ном1}}$ ;  $E_2 \approx U_{\text{ном2}}$ . Числа витков обмоток находим из формулы

$$E = 4,44/\omega \Phi_m$$

Тогда  $\omega_1 = E_1/(4,44/\Phi_m) = 380/(4,44 \cdot 50 \cdot 0,005) = 340$  витков;

$\omega_2 = E_2/(4,44/\Phi_m) = 24/(4,44 \cdot 50 \cdot 0,005) = 22$  витка.

5. Коэффициент трансформации

$$K = \frac{E_1}{E_2} = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{340}{22} = 15,5$$

**Пример 13.** Предприятие потребляет активную мощность  $P_a=1500$  кВт при коэффициенте мощности  $\cos\varphi_2=0,72$ . Энергосистема предписала уменьшить потребляемую реактивную мощность до 450 кВАр. Определить: 1) необходимую мощность конденсаторной батареи и выбрать ее тип; 2) необходимую трансформаторную мощность и коэффициент нагрузки в двух случаях: а) до установки батареи б) после установки батареи. Выбрать тип трансформатора. Номинальное напряжение сети 10 кВ.

Решение.

1. Необходимая трансформаторная мощность до установки конденсаторов

$$S_{\text{тр}} = \frac{P_a}{\cos\varphi_2} = \frac{1550}{0,72} = 2153 \text{ кВ} \cdot \text{А}.$$

По табл. 17 выбираем трансформатор типа ТМ-2500/10 с номинальной мощностью 2500кВ\*А. Коэффициент нагрузки

$$k_n = \frac{2153}{2500} = 0,86.$$

2. Необходимая предприятию реактивная мощность

$$Q = S_{\text{тр}} \sin\varphi_2 = 2153 \cdot 0,693 = 1492 \text{ кВАр}$$

Здесь  $\sin\varphi_2=0,693$  находим по таблицам Брадиса, зная  $\cos\varphi_2$ .

3. Необходимая мощность конденсаторной батареи

$$Q_6 = Q - Q_3 = 1492 - 450 = 1042 \text{ кВАр}$$

По табл. 26 выбираем комплектные конденсаторные установки типа УК-0,38-540Н мощностью 450 кВАр в количестве 2 шт. Общая реактивная мощность составит  $Q_6 = 2 \cdot 540 = 1080 \text{ кВАр}$  что близко необходимой мощности 1042 квар.

4. Некомпенсированная реактивная мощность

$$Q_{\text{нек}} = Q - Q_6 = 1492 - 1080 = 412 \text{ кВАр}$$

5. Необходимая трансформаторная мощность

$$S_{\text{тр}} = \sqrt{P_2^2 + Q_{\text{нек}}^2} = \sqrt{1550^2 + 412^2} = 1604 \text{ кВ} \cdot \text{А}.$$

Принимаем к установке один трансформатор ТМ=1600/10 мощностью 1600 кВ\*А. Его коэффициент нагрузки составит:  $k_n = \frac{1604}{1600} \approx 1,0$ .

Таким образом, компенсация реактивной мощности позволила значительно уменьшить установленную трансформаторную мощность.