

**МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО  
СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ  
УЗБЕКИСТАН**

**НАВОЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГОРНЫЙ  
ИНСТИТУТ**



**«Лабораторные занятия»**

# Лабораторная работа №1

## Последовательное, параллельное и смещенное соединение потребителей электрической энергии в электрических цепях постоянном токе.

1. Задачи и исходные положения выполнения работы.

Задачами выполнения лабораторной работы являются:

- Приобретение навыков сборки простых электрических цепей (последовательное, параллельное, смешанные соединения).
- Измерение токов и напряжений на любых участках цепи.
- Практическая проверка законов Ома для участка цепи.
- Практическая проверка первого и второго закона Кирхгофа для цепей постоянного тока.
- Определение мощности на отдельных участках цепи и всей цепи.
- Проверка балансов мощности.

Электрической цепью называется – совокупность электротехнических устройств (источников, приёмников и др. ), предназначенных для прохождения электрического тока, электромагнитные процессы, в которой могут быть описаны при помощи понятий электродвижущая сила (ЭДС), напряжение и сила тока.

Простейшая цепь, приведённая, например, на рис. 1, содержит источник ЭДС.

Е в виде батареи Б и приёмник электрической энергии R в виде лампы накаливания Л. Ток I в такой цепи прямо пропорционален ЭДС. Это соотношение выражается законом

$$\text{Ома: } I = \frac{E}{R}$$

Где R-сопротивление цепи – величина, характеризующая препятствие, который встречает проходящий по цепи ток.

Измерение токов и напряжений в электротехнической практике осуществляется, как правило, приборами непосредственной оценки: амперметрами и вольтметрами различных по принципу действия систем.

Вольтметр включается параллельно к источнику тока или потребителю и должен обладать внутренним сопротивлением значительно большим, чем сопротивление участка цепи, параллельно которому он включается ( рис. 2а).

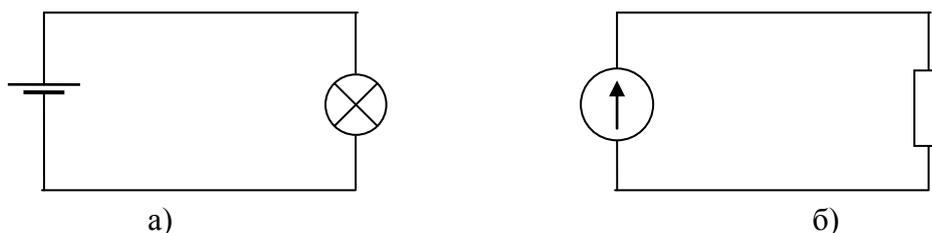


Рис.1.Схема простейшей электрической цепи.

а) принципиальная схема;

б)схема замещения

Амперметр включается последовательно, т.е. в рассечку ветви, ток в которой необходимо измерить (рис.2 б)

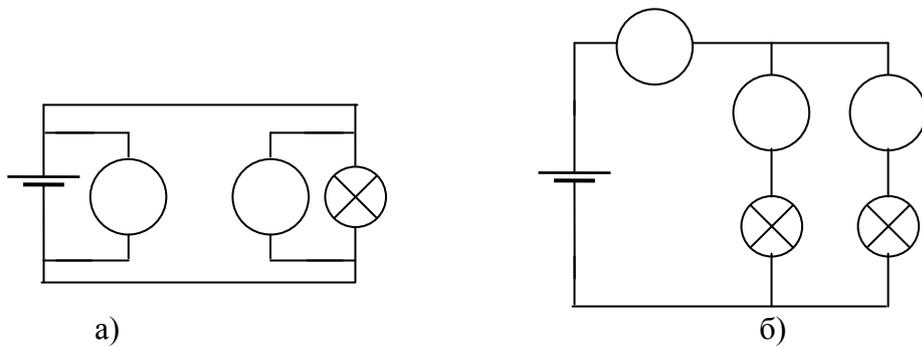


Рис.2. измерение токов и напряжений.  
 А) измерение напряжений;      б) измерение токов

В разветвлённых электрических цепях (в которых токи могут идти от источника по различным путям) сумма токов, подходящих к узлу, должна быть равна сумме токов, отходящих от узла. Это положение носит название первого закона Кирхгофа. Если считать токи, подходящие к узлу, положительными, а отходящие – отрицательными, то

математически этот закон выражается как:  $\sum_1^K I_K = 0$

Между ЭДС и напряжением в любом замкнутом контуре также существует связь, которая выражается вторым законом Кирхгофа:

Сумма падений напряжений во всех ветвях любого замкнутого контура электрической цепи равна сумме ЭДС источников энергии, действующих в этом контуре.

$$\sum_1^J U_K = \sum_1^K E_K$$

Мощность источника электрической энергии

$$P = E I$$

С учётом закона Ома для участка цепи выражение для мощности, потребляемой этим участком, может быть представлено в виде

$$P = R \cdot I^2 = g \cdot U^2 = \frac{U^2}{R}$$

, где  $R$ ,  $g = \frac{1}{R}$  - сопротивление и проводимость данного участка цепи.

При протекании токов по сопротивлениям в них выделяется тепло (это подтверждает и соответствие выражения (5) закону Джоуля – Ленца). На основании закона сохранения энергии количество теплоты, выделяющейся в единицу времени в сопротивлениях схемы, должно равняться энергии, доставляемой за то же время источниками питания. Таким образом, уравнение энергетического баланса при питании схемы от источников ЭДС имеет вид

$$\sum I^2 R = \sum EI$$

## 2. Задание на работу.

Практическая проверка закона Ома.

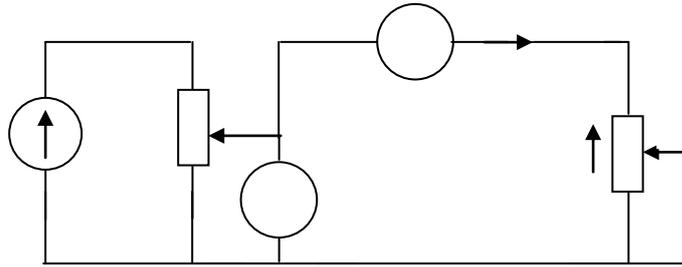


Рис.3. Экспериментальная электрическая схема проверки закона Ома.

Снять зависимость изменения тока через резистор нагрузки  $R_2$  при изменении прикладываемого к нему напряжения. Напряжение изменять при помощи потенциометра  $R_1$ . Зависимости снять для трёх различных значений  $R_2$ . По данным опытов вычислить численные значения  $R_2$  для каждого из трёх экспериментов. Сделать вывод о том, как изменяется величина тока участка цепи при увеличении напряжения на участке цепи. Построить графики, выражающие зависимости  $I=f(U)$  при различных значениях  $R_2$ .

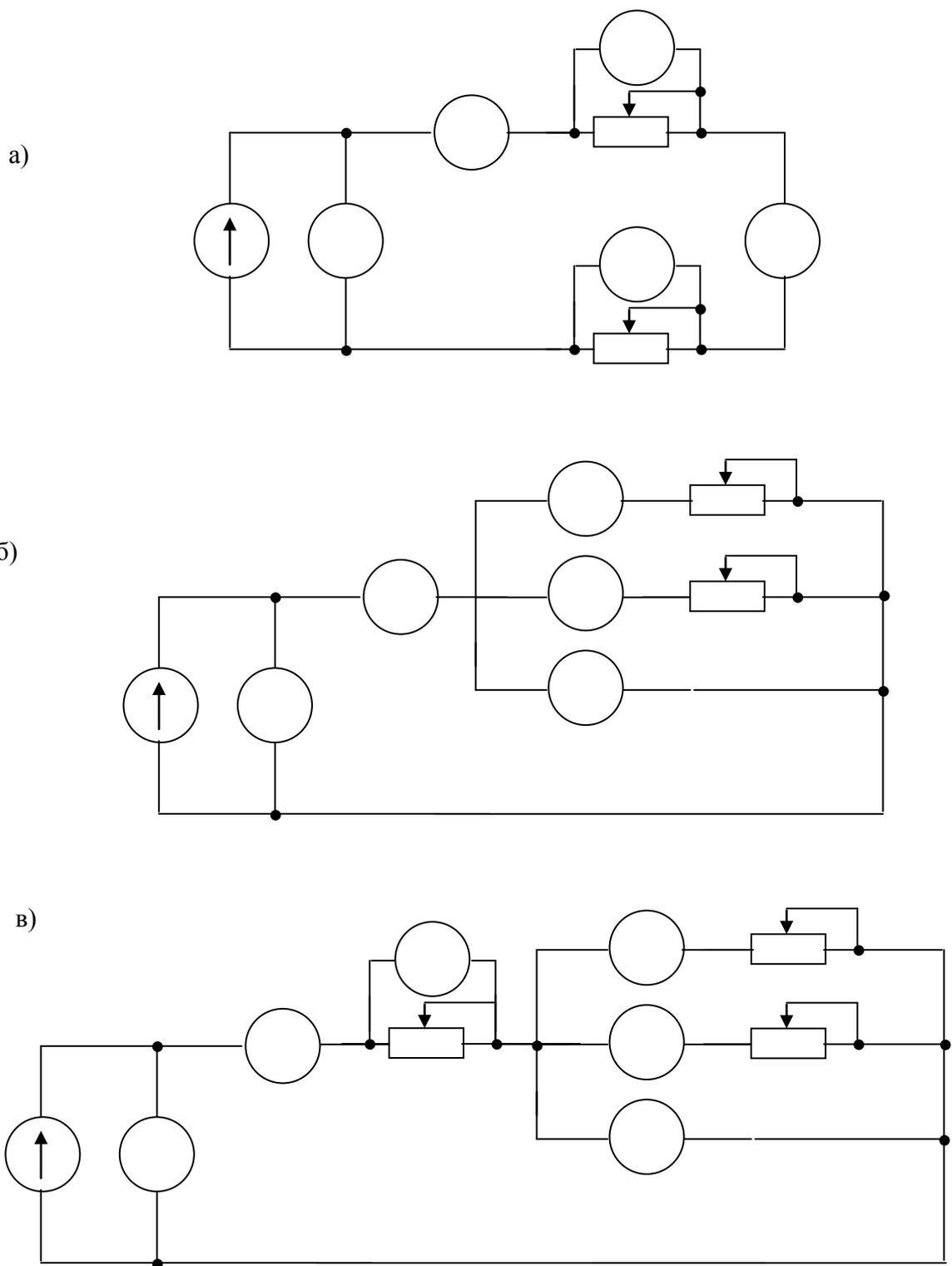
### 2.2. Практическая проверка законов Кирхгофа.

Собрать схемы последовательного, параллельного и смешанного соединений резистивных элементов цепи, представленные на рис. 4. а,б,в, соответственно.

По результатам измерений составить уравнения и произвести вычисления по практической проверке первого и второго законов Кирхгофа. Из экспериментов и расчетов сделать выводы:

- О численном значении тока на различных участках цепи;
- О зависимости напряжений на различных участках цепи от величины сопротивлений участков;
- О соотношении между полным сопротивлением цепи и суммой сопротивлений всех участков;
- О соотношении между приложенным напряжением цепи и суммой напряжений на последовательных участках цепи;
- О соотношении между общим током и суммой токов всех ветвей;
- О зависимости токов ветвей от численного значения сопротивлений ветвей.

Рассчитать по результатам измерений общие сопротивления цепи и сопротивления на отдельных участках для всех схем. Сравнить результаты расчёта общего сопротивления, вычисленные через общие ток и напряжение и полученные путём преобразования всех сопротивлений цепи до эквивалентного.



**Рис.4. Электрические схемы проверки законов Кирхгофа**

- а) последовательное соединение;      б) параллельное соединение;  
 в) смешанное соединение.

Определение мощности на отдельных участках цепи и всей цепи.  
 Собрать электрическую цепь по схеме, приведённой на рис. 5.



№4-Таблица

№ Т.г.	Измерения						Вычисление				
	U <sub>1</sub>	U <sub>2</sub>	U <sub>3</sub>	I <sub>1</sub>	I <sub>2</sub>	I <sub>3</sub>	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	R <sub>об</sub>	R <sub>рас</sub>
	В	В	В	А	А	А	Ом	Ом	Ом	Ом	Ом
1											
2											
3											

№5-Таблица

№ Т.г.	Измерения				Вычисление							
	I	U <sub>1</sub>	U <sub>2</sub>	U <sub>3</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	R <sub>об</sub>	R <sub>рас</sub>	P <sub>1</sub>	P <sub>2</sub>	P <sub>об</sub>	P <sub>рас</sub>
	А	В	В	В	Ом	Ом	Ом	Ом	Вт	Вт	Вт	Вт
1												
2												
3												

## 2. Домашняя подготовка к работе.

Освоить применение закона Ома для цепей постоянного тока.

Научиться составлять уравнения для электрических цепей по законам Кирхгофа.

Освоить расчеты общего (эквивалентного) сопротивления цепи с последовательным, параллельным и смешанным соединениями приёмников.

Уяснить понятие энергетического баланса в электрически цепях.

## 4. Указания по выполнению работы в лаборатории.

Все необходимые эксперименты выполняются на универсальном лабораторном стенде, представляющим собой электрический пульт, лицевая панель которого изображена на рис.

6. Питание на стенд подаётся через автомат питания АП, представляющий собой устройство защитного отключения типа УЗОШ. Включение блока питания стенда производится тумблером «Сеть» с индикацией о включённом блоке соответствующей сигнальной лампой. Напряжения на клеммы источников ЭДС подаётся включением соответствующих тумблеров (E<sub>1</sub>, E<sub>2</sub>, E<sub>3</sub>) блока питания. О включённых источниках ЭДС сигнализируют соответствующие сигнальные лампы на блоке питания. Выводы реостатов R<sub>1</sub>, R<sub>2</sub>, R<sub>3</sub> расположенных в торцевой части стола стенда, выведены на клеммы лицевой панели и имеют одноимённые с реостатами обозначения. Измерительные приборы представлены тремя вольтметрами и тремя амперметрами магнитоэлектрической системы.

На горизонтальной панели стенда имеется соединительная шинка, состоящая из 20 штепселей – шнуров и 19 тумблеров, необходимых для сборки заданных электрических схем. Штепселе – шнуры используются как соединительные проводники между элементами электрических схем. Тумблеры служат либо для создания электрической связи между соединительными шнурами, либо для создания разрывов (электрической изоляции) между ними.

Электрическая схема соединительной шинки изображена на рис. 7. На рис. 8 приведён пример сборки электрической схемы по рис. 3 с помощью соединительной шинки.

## 5. Требования к отчёту.

Отчёт по лабораторной работе оформляется в письменном виде с указанием всех исходных данных и задач с поясняющими заголовками и выводами из экспериментов. Обязательно представление всех исследованных электрических схем.

Результаты экспериментов представляются в виде таблиц, содержащих данные измерений на лабораторной установке. По результатам измерений производятся необходимые расчеты с записью выражений в общем виде и с подстановкой численных значений. В случаях отклонений результатов экспериментов от расчетных значений обязательно пояснение предполагаемых причин расхождения теоретических и практических данных.

**6.** Вопросы для самопроверки.

- 1.** Что называется электрической цепью, принципиальной схемой, схемой замещения?
- 2.** Понятия ветви, узла, контура.
- 3.** Понятие сопротивления цепи, резистора.
- 4.** понятие параллельного, последовательного и смешанного соединений резистивных элементов.
- 5.** Закон Ома. Что называется линейным элементом?
- 6.** Закон Кирхгофа.
- 7.** Правила определения общего сопротивления при параллельном, последовательном и смешанного соединениях.
- 8.** Понятие потенциометра и реостат.
- 9.** Измерения тока и напряжения.
- 10.** Понятие мощности в цепи постоянного тока.
- 11.** Определение мощности источника и мощности, потребляемой, отдельными участками цепи.
- 12.** Понятие баланса мощности.

## Лабораторная работа №2

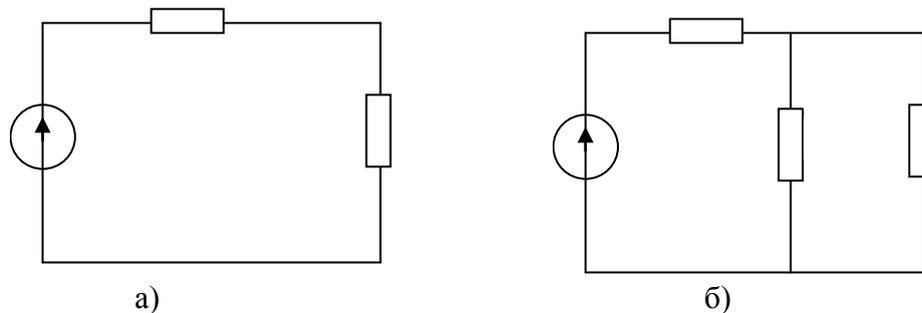
### ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ ПОСТОЯННОГО ТОКА С НЕСКОЛЬКИМИ ИСТОЧНИКАМИ ЭДС.

#### 1. Цель работы.

Приобретение практических навыков расчёта и экспериментальной проверки расчёта цепей с несколькими источниками ЭДС ; навыков построения потенциальных диаграмм. Опытная проверка расчёта токов методом наложения.

#### 2. Пояснения к работе.

Электрические цепи подразделяются на неразветвлённые и разветвлённые. На рис. 1а представлена схема простой неразветвлённой цепи. Во всех элементах такой схемы течёт один и тот же ток. Пример схемы простой разветвлённой цепи приведён на рис. 1,б.



**Рис.1.Примеры электрической цепи**

а) неразветвленной;                      б) разветвленной.

В ней имеются три ветви и два узла. В каждой ветви этой схемы течёт свой ток. Расчёт токов и потенциалов в таких схемах производится на основании законов Ома и Кирхгофа.

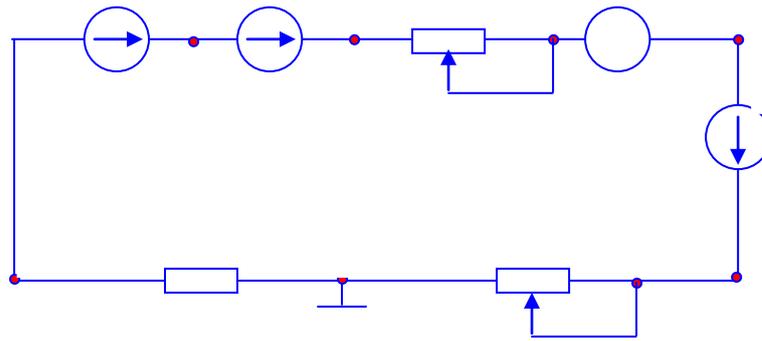
Под потенциальной диаграммой понимается график распределения потенциала, вдоль какого – либо участка цепи или замкнутого контура. При этом по оси абсцисс графика откладываются сопротивления участков цепи в том порядке, в каком они следуют друг за другом на схеме, а на оси - ординат потенциалы точек цепи. Для определения потенциалов обычно потенциал одной из точек принимается равным нулю, ( т.е. это точка считается заземлённой).

Принцип наложения при расчёте линейных цепей используют следующим образом: предварительно рассчитывают токи, в ветвях обусловленные действием каждой из ЭДС в отдельности – так называемые частичные токи. При этом остальные ЭДС считают закороченными, сохраняя их внутренние сопротивления. Реальные токи в ветвях находят алгебраическим сложением частичных токов.

#### 3. Задание на работу.

Изучение неразветвлённых цепей с несколькими источниками ЭДС.

Собрать электрическую цепь по схеме, приведённой на рис. 2., предварительно замерив методом амперметра и вольтметра сопротивление каждого реостата при произвольном положении их движков. Необходимо также предварительно измерить величины ЭДС каждого из источников.



**Рис.2.Исследуемая неразветвленная электрическая цепь.**

Измерить ток в цепи при согласном включении всех источников ЭДС и при замыкании накоротко зажимов одного из источников.

По полученным данным вычислить расчётные значения токов и сравнить их с данными эксперимента. Оценить погрешность.

По результатам расчётов и экспериментов сделать выводы:

- О причинах расхождения данных расчёта и эксперимента;
- О соотношениях между общей ЭДС, приложенной к неразветвлённой цепи и величинами и направлением отдельных ЭДС, включённых в цепь;
- О соотношении между суммой источников ЭДС и суммой падений напряжений на участках цепи.

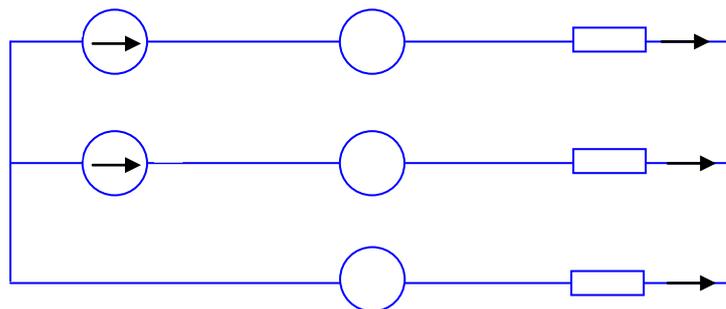
Построение потенциальной диаграммы.

Пользуясь данными расчетов по п.п.3.1 и схемой электрической цепи по рис. 2, пренебрегая внутренним сопротивлением источников ЭДС, вычислить значения потенциалов во всех точках схемы.

Измерить потенциалы всех точек цепи вольтметром и сравнить их с результатами вычислений. Результаты расчетов и эксперимента свести в таблицу. Построить потенциальные диаграммы для обоих наблюдений. Сделать вывод о практической ценности потенциальных диаграмм.

Экспериментальная проверка расчёта токов в разветвлённой цепи с несколькими ЭДС методом наложения.

Собрать электрическую схему в соответствии с рис. 3.



**Рис.3.Исходная разветвленная электрическая цепь.**

Определить по показаниям приборов токи во всех ветвях цепи в результате действия источника ЭДС.  $E_1$  при отключенном источнике ЭДС.  $E_2$  (схема по рис. 4). При этом величины сопротивлений  $R_1, R_2, R_3$  должны оставаться неизменными, т.е. положения движков реостатов должны соответствовать положениям, выставленным при экспериментах по электрической схеме рис. 3.



Таблица №2

Вычисление													
№	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	R <sub>об</sub>	E <sub>об</sub>	U <sub>об</sub>	φ <sub>a</sub>	φ <sub>b</sub>	φ <sub>c</sub>	φ <sub>d</sub>	φ <sub>e</sub>	φ <sub>f</sub>	φ <sub>k</sub>
	Ом	Ом	Ом	Ом	В	В	В	В	В	В	В	В	В
1													
2													
3													

Таблица №3

Измерения											
№	E	E	I <sub>1</sub>	I <sub>2</sub>	I <sub>3</sub>	I' <sub>1</sub>	I' <sub>2</sub>	I' <sub>3</sub>	I'' <sub>1</sub>	I'' <sub>2</sub>	I'' <sub>3</sub>
	В	В	А	А	А	А	А	А	А	А	А
1											
2											
3											

Таблица №4

Вычисление													
№	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	I <sub>1</sub>	I <sub>2</sub>	I <sub>3</sub>	I' <sub>1</sub>	I' <sub>2</sub>	I' <sub>3</sub>	I'' <sub>1</sub>	I'' <sub>2</sub>	I'' <sub>3</sub>	Σ I <sub>k</sub>
	Ом	Ом	Ом	А	А	А	А	А	А	А	А	А	А
1													
2													
3													

#### 4. Указания по выполнению работы в лаборатории.

Эксперименты выполняются на универсальном лабораторном стенде для исследования электрических цепей постоянного тока. Все необходимые для сборки электрических схем элементы представлены на лицевой панели стенда своими условными обозначениями. Электрические соединения элементов в заданные схемы осуществляются при помощи соединительной шинки из 20 штепселей шнуров и 19 тумблеров. Питание на стенд подаётся включением автомата питания АП.

Блок питания постоянным током элементов стенда включается тумблером «Сеть» с индикацией о включении сигнальной лампой. Напряжение на клеммы источников ЭДС подаётся включением соответствующих тумблеров E<sub>1</sub>, E<sub>2</sub>, E<sub>3</sub> блока питания. Сигнализация о их включении осуществляется соответствующим тумблером блока питания.

#### 5. Требования к отчёту.

Отчёт по лабораторной работе оформляется в письменном виде с указанием всех исходных данных и задач с поясняющими заголовками и выводами из экспериментов. Обязательно представление всех исследованных электрических схем.

Результаты экспериментов представляются в виде таблиц, содержащих данные измерений на лабораторной установке. По результатам измерений производятся необходимые расчеты с записью выражений в общем виде и с подстановкой численных значений. В случаях отклонений результатов экспериментов от расчетных значений обязательно пояснение предполагаемых причин расхождения теоретических и практических данных.

#### 6. Домашняя подготовка к работе.

При домашней подготовке к работе в лаборатории необходимо проработать материал данного описания и рекомендуемой литературы.

Освоить метод построения потенциальных диаграмм.

Освоить расчёт разветвлённых электрических цепей, содержащих несколько источников ЭДС, методом наложения.

7. Вопросы для самопроверки.

1. Понятие неразветвлённых и разветвлённых электрических цепей.
2. Напряжение на участке цепи.
3. Закон Ома для участка цепи, содержащего ЭДС.
4. Правило последовательного сложения источников ЭДС.
5. Понятие встречного включения источников ЭДС.
6. Определение потенциальной диаграммы.
7. Принцип наложения и метод наложения.
8. Порядок расчёта электрических цепей методом наложения.

## Лабораторная работа №3

### ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОЕ СОЕДИНЕНИЕ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ В ЦЕПИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА.

#### 1. Цель работы.

2. Проверить особенности применения второго закона Кирхгофа в цепи переменного тока.
3. Научиться определять полное сопротивление в цепи переменного тока  $Z$ , а так же его составляющие – активное сопротивление  $R$  и реактивное сопротивление  $X$
4. Научиться определять параметры цепи активное сопротивление  $R$ , индуктивность  $L$  и ёмкость  $C$ .

#### 3. Пояснения к работе.

В работе изучаются следующие случаи последовательного соединения потребителей цепи переменного тока:

- а) Два активных сопротивления (реостаты  $R_1$  и  $R_2$ )
- б) Реостат и катушка индуктивности  $L$  - активно-индуктивная нагрузка
- в) Реостат и катушка ёмкостью  $C$  - активно-ёмкостная нагрузка

При включении в цепь переменного тока потребителей электрической энергии закон Ома имеет следующее выражение:

$$I = \frac{U}{z} = \frac{U}{\sqrt{R^2 + (x_L - x_C)^2}}$$

где  $I$  - действующее значение тока, А,

$U$  - действующее значение напряжения, В,

$Z$  - полное сопротивление цепи, Ом,

$R$  - активное сопротивление, Ом,

$X_L$  - индуктивное сопротивление, Ом,

$X_C$  - ёмкостное сопротивление, Ом,

$$X_L = \omega L,$$

$$X_C = 1 / \omega C$$

здесь  $L$  - индуктивность катушки, Гн

$C$  - ёмкость конденсатора, Ф.

$\omega = 2\pi f$  - угловая частота переменного тока,  $c^{-1}$

$f$  - частота переменного тока в сети, измеряемая в герцах (Гц).

Приведенное выражение закона Ома справедливо при последовательном соединении потребителей. Активная мощность, потребляемая в такой цепи, равна

$$P = UI \cos \varphi$$

где  $\cos \varphi$  - коэффициент мощности,

$\varphi$  - угол сдвига фаз между током и напряжением.

В общем случае, когда электрическая цепь, подключенная к источнику переменного тока, имеет различные по характеру параметры (индуктивность, ёмкость или активное сопротивление), то алгебраическая сумма падений напряжения на участках цепи (2-й

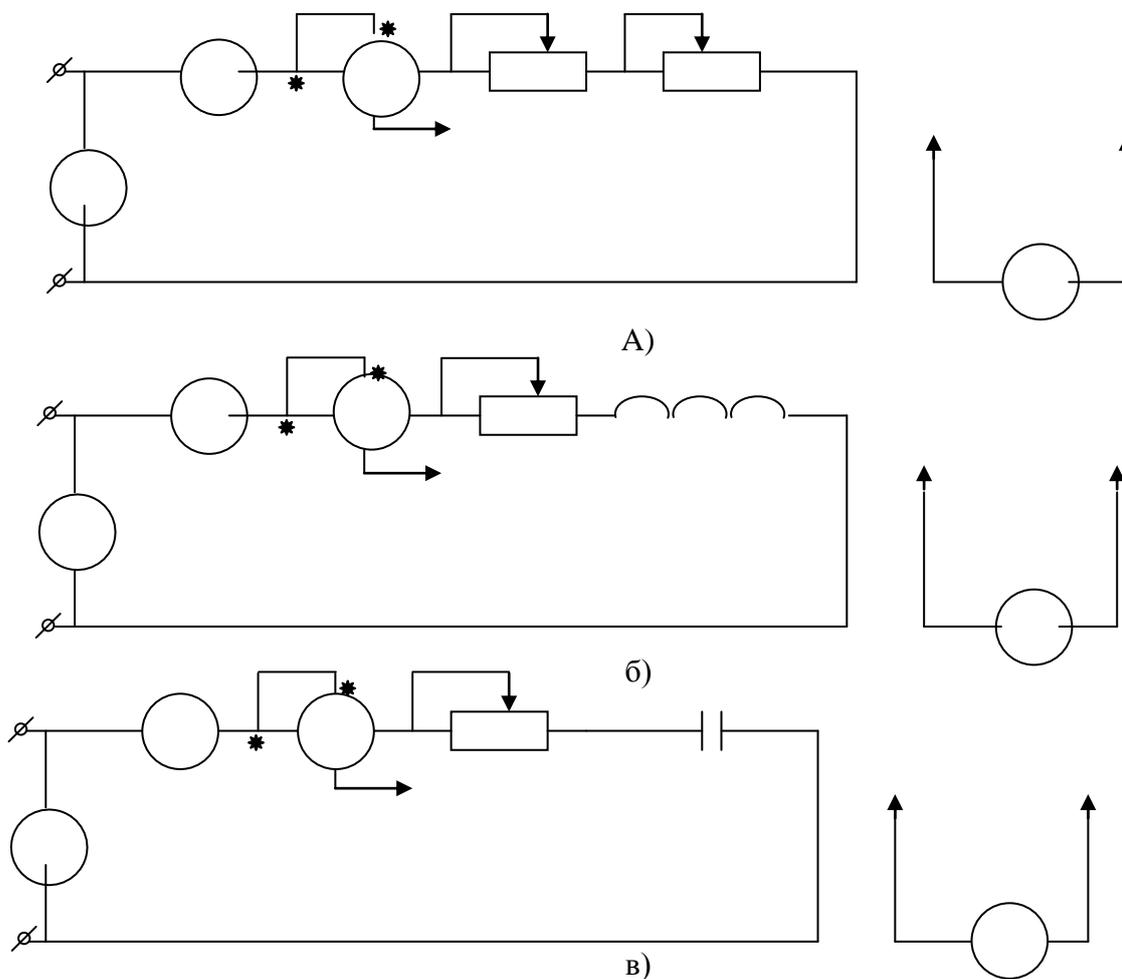
закон Кирхгофа) не будет равно напряжению этого источника, как это было для цепи постоянного тока, а будет больше его, В цепи переменного тока только геометрическая сумма векторов падений напряжения будет равно приложению будет равна приложенному напряжению.

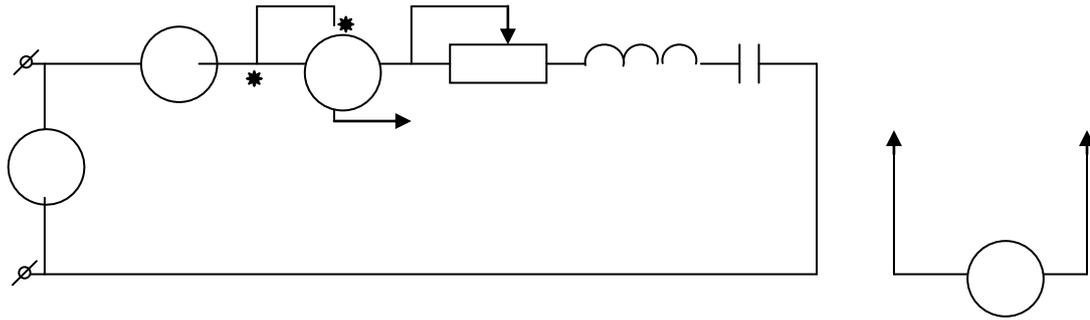
$$\bar{U}_T = \bar{I}Z_1 + \bar{I}Z_2 + \dots + \bar{I}Z_n$$

В этом и заключается особенность применения 2-го закона Кирхгофа для цепи переменного тока. При чисто активной нагрузке 2-й закон Кирхгофа применяется также, как и в цепи постоянного тока

### 3. Порядок выполнения работы.

1. Собрать схему, состоящую из активных сопротивлений реостатов  $R_1$  и  $R_2$  (рис 4.1а)
2. Установить значение тока, указанное преподавателем, и произвести соответствующие записи измерений в таблицу 1  $U_1$  и  $U_2$  равна приложенному напряжению сети  $U$ .
3. Заменить в собранной схеме 2-й реостат катушкой индуктивности  $L$  (рис. 4.1б.)
4. Выполнить указанное в пунктах 2 и 3. Убедиться в том, что алгебраическая сумма напряжений  $U_1$  и  $U_k$  больше приложенного напряжения сети  $U$ .
5. Заменить в собранной схеме катушку конденсатором.
6. Выполнить указанное в пунктах 2 и 3. Убедиться в том, что алгебраическая сумма напряжений  $U_1$  и  $U_{кон}$  больше приложенного напряжения сети.
7. Построить векторные диаграммы токов и напряжений.





г)  
Рис 4.1

Таблица 4.1

Характер нагрузки		измерения				вычисление						
		I А	U В	P		Cosφ		Z Ом	R Ом	X Ом	L г	C мкФ
				дел	Вт	Из диагр	Рас- чётн					
Актив ная	реостат $R_1$									-	-	-
	реостат $R_2$									-	-	-
	Вся цепь									-	-	-
Актив индукт	реостат $R_1$									-	-	-
	Индуктив катушка											-
	Вся цепь											-
Актив ёмкостн	реостат $R_1$									-	-	-
	конденсатор										-	
	Вся цепь										-	

- 1) Произвести определение параметров, сделав все необходимые вычисления согласно таблице 1
- 9) Сделать выводы: особенности применения закона Ома и второго закона Кирхгофа в цепи переменного тока: влияние параметров цепи на угол сдвига фаз между током и напряжением

#### 4. Пояснения к оформлению отчета.

##### 1. Построение векторных диаграмм.

Все векторные диаграммы строятся в масштабе.

а) активная нагрузка.

Из точки «0» отложить вектор тока (рис 4.2). Из этой же точки отложить вектор падения напряжения на первом реостате  $U_1$  по направлению вектора тока, так как сдвиг фаз  $\varphi = 0$ . Из конца вектора  $U_1$  отложить вектор падения напряжения на втором реостате  $U_2$ . Сумма их будет равна вектору приложенного напряжения  $U$ .



б) активно-индуктивная нагрузка.

Из точки «0» отложить вектор тока  $I$  (рис 4.3) . Из этой же точки отложить вектор падения напряжения на первом реостате  $U_1$  по направлению вектора тока. На основании 2-го закона Кирхгофа для данной цепи

$$\bar{U} = \bar{I} \cdot R_1 + \bar{I} \cdot z_K = \bar{U}_1 + \bar{U}_K$$

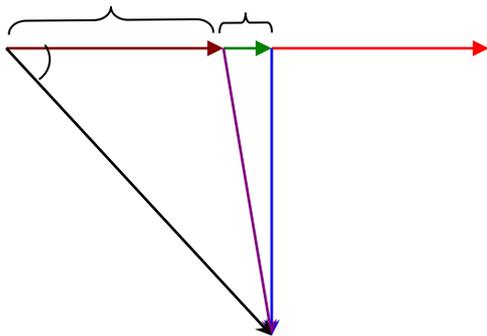
где  $Z_K$ – полное сопротивление цепи катушке, Ом

$U_K$  – полное падение напряжения на катушке, В

Затем из конца вектора  $U_1$  по ходу против часовой стрелки сделать засечку радиусом, равным вектору  $U_K$ , а из точки 0 сделать засечку радиусом, равным вектору напряжения  $U_0$ . Соединив точку пересечения засечки с концом вектора  $U_1$  и точкой 0, получим векторную диаграмму. Напряжение на катушке  $U_K$  можно разложить на составляющие – на активное напряжение  $U_{ак} = IR_K$  индуктивное  $U_L = IX_L$  .

в) активно- емкостная нагрузка.

Построение векторной диаграммы ведется также, как и для активно- индуктивной нагрузки, но засечки делаются по ходу часовой стрелки, р. к. ток при этой нагрузке опережает напряжение по фазе (рис.4.4). Напряжение на конденсаторе можно разложить на составляющие - на активное напряжение



$U_{акон} = IR_{кон}$  и емкостное напряжение  $U_c = IX_c$  При правильном выполнении опыта  $U_{акон}$  должно получиться очень небольшим по сравнению с  $U_c$

2. Определение параметров схемы.

а) коэффициент мощности определяется по показаниям приборов на выражения

$$\cos \varphi = \frac{P}{UI}$$

Из векторной диаграммы  $\cos \varphi$  можно определить, измерив соответствующие углы и по тригонометрическим таблицам найдя значение  $\cos \varphi$  , или в соответствующих прямоугольных треугольниках измерить катет и гипотенузу в мм, и взять их отношение. Второй способ дает более точные результаты.

б) Полное сопротивление любого участка цепи определяется по закону Ома

$$z = \frac{U}{I}$$

в) Активное сопротивление всей цепи можно определить по активной мощности всей цепи

$$P = I^2 R \quad R = \frac{P}{I^2}$$

Активные сопротивления отдельных участков цепи (реостатов, катушки или конденсатора) определяются аналогичным путем подстановки в эту формулу соответствующих активных мощностей реостата, катушки или конденсатора. Активные мощности определяются по показаниям ваттметра.

г) реактивное сопротивление  $X$  всей цепи будет равно

$$x = \sqrt{z^2 - R^2}$$

д) для определения индуктивности катушки вычисляется индуктивное сопротивление катушки,  $X_L$  по формуле

$$x_L = \omega L = \sqrt{z_F^2 - R_F^2}$$

где  $Z_K$  – полное сопротивление катушки, равное

$$z_L = \frac{U_L}{I}$$

$R_K$  – активное сопротивление катушки, равное

$$R_L = \frac{P_L}{I^2}$$

Откуда

$$L = \frac{x_L}{\omega} = \frac{x_L}{2\pi f}$$

е) определение емкости конденсатора  $C$  делается аналогично, т.е. определяется емкостное сопротивление  $X_C$ , затем определяется емкость

$$C = \frac{1}{x \omega} = \frac{1}{x_c 2\pi f}$$

Обычно активное сопротивление конденсатора очень мало по сравнению с ёмкостным и поэтому можно считать

$$x_c = z = \frac{U_{кон}}{I}$$

#### 5. Домашняя подготовка к работе.

Изучить методы и средства измерений в цепях переменного тока.

Вычертить исследуемую электрическую схему с включенными в неё необходимыми измерительными приборами.

Получить навыки построения векторных диаграмм для простейших электрических цепей, содержащих  $R$ ,  $L$ ,  $C$  элементы. Построить качественную векторную диаграмму для заданной электрической схемы.

Изучить особенности применения законов Ома и Кирхгофа для цепей переменного тока.

Усвоить физический смысл расчётных выражений, приведённых в настоящем описании.

#### 6. Указания по выполнению работы в лаборатории.

Эксперименты выполняются на лабораторном стенде для исследования простых цепей однофазного синусоидального тока.

Лицевая панель стенда изображена на рис. 2. Выводы измерительных приборов находятся непосредственно под каждым прибором и имеют соответствующие приборам условные обозначения. Выводы катушки индуктивности и ёмкости обозначены, соответственно, как  $L$  и  $C$ . Активное сопротивление  $R$  представлено реостатом и может варьироваться.

Питание на стенд подаётся последовательным включением автоматов «Сеть» и АП (устройство защитного отключения типа УЗОШ). Сигнализация о включении автоматов осуществляется соответствующими лампочками. Регулирование подаваемого на исследуемую схему напряжения питания  $U$  производится при помощи лабораторного автотрансформатора «Латр».

## 7. Требования к отчёту.

Отчёт по работе должен содержать:

1. Исходную электронную схему и схему, содержащую все необходимые для выполнения работы измерительные приборы;
2. Таблицу результатов измерений;
3. Векторные диаграммы токов и напряжений с указанием масштабов и последовательности построений;
4. Расчёты электрических параметров всех элементов исследуемой схемы;
5. Расчёты активной, реактивной и полной мощностей для исследованной цепи;
6. Графики мгновенных значений токов или напряжений.

## 8. Вопросы для самопроверки.

1. Какова цель лабораторной работы?
2. Написать формулы, связывающие максимальное и действующее, максимальное и среднее значения переменного напряжения.
3. Как построить векторную диаграмму тока и напряжений для следующих случаев нагрузки: а) последовательное включение двух реостатов, б) последовательное включение реостата и катушки, в) последовательное включение реостата и конденсатора?
4. Как определить коэффициент мощности для всей цепи и для определенных участков цепи?
5. Что называется углом сдвига фаз?
6. Как определяется активное сопротивление реостата, катушки, конденсатора и всей цепи?
7. Как определяется реактивное индуктивное и емкостное сопротивления?
8. Как определяются индуктивность катушке и емкость конденсатора?

## Лабораторная работа № 4

### ПАРАЛЛЕЛЬНОЕ СОЕДИНЕНИЕ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ В ЦЕПИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

#### 1. Цель работы.

1. Проверить особенности применения первого закона Кирхгофа в цепи переменного тока.
2. Научиться определять сопротивление в цепи переменного тока (полное  $Z$ , активное  $R$  и реактивное  $X$ ).
3. Научиться определять параметры цепи активное сопротивление  $R$ , индуктивность  $L$  и ёмкость  $C$ .

#### 2. Пояснения к работе.

В работе изучаются следующие случаи параллельного соединения потребителей цепи переменного тока:

а) Реостат  $R$  и катушка индуктивности  $L$  - активно- индуктивная нагрузка;

б) Реостат  $R$  и конденсатор  $C$  - активно – ёмкостная нагрузка;

в) Катушка индуктивности  $L$  и конденсатор  $C$  индуктивно – ёмкостная нагрузка;

Ток в каждой из параллельных ветвей определяется по закону Ома следующим образом:

а) ветвь с активным сопротивлением

$$I_a = \frac{U}{R}$$

где  $I_a$  - ток, проходящий через реостат ,

$U$  - напряжение сети В.

$R$  - сопротивление реостата, Ом

б) Ветвь с индуктивностью.

$$I_F = \frac{U}{z_F} = \frac{U}{\sqrt{R_F^2 + x_F^2}} = \frac{U}{\sqrt{R_F^2 + (\omega L)^2}}$$

где  $I_K$  - ток, проходящий через катушку,

$Z_K$  - полное сопротивление катушки, Ом.

$R_K$  - активное сопротивление катушки, Ом.

$X_L$  - индуктивное сопротивление катушки, Ом.

$\omega$  - угловая частота переменного тока, равная. ( $\omega = 2 \pi f$  частота переменного тока в сети  $f=50$  Гц)

в) ветвь с емкостью

$$I_C = \frac{U}{\sqrt{R_C^2 + X_C^2}} = \frac{U}{\sqrt{R_C^2 + \left(\frac{1}{\omega C}\right)^2}}$$

где  $I_C$  - ток, проходящий через конденсатор;

$R_{\text{кон}}$  - активное сопротивление конденсатора, Ом.

$X_C$  - емкостное сопротивление конденсатора, Ом.

$C$  - ёмкость конденсатора.

Обычно активное сопротивление конденсатора очень мало по сравнению с емкостным сопротивлением конденсатора. В расчетах активным сопротивлением конденсатора пренебрегают.

По I-у закону Кирхгофа цепи переменного тока геометрическая сумма токов в узле равна нулю, т.е.

$$\sum I = 0 \quad \text{или} \quad I = I_a + I_k$$

где  $I$  - ток в неразветвленной части цепи (рис. 5.1).

Если же взять алгебраическую сумму токов, протекающих по параллельным ветвям, то она будет больше, чем ток в неразветвленной части цепи, т.е.

$$I_a + I_k > I$$

В этом и заключается особенность применения I-го закона Кирхгофа в цепи переменного тока. Если же цепь переменного тока будет состоять только из активных сопротивлений или только из чисто индуктивных или емкостных то I-ей закон Кирхгофа применяется также, как и в цепи постоянного тока.

Активная мощность, потребляемая в цепи переменного тока, равна

$$P = UI \cos \varphi$$

где  $\cos \varphi$  - коэффициент мощности.

$\varphi$  - угол сдвига фаз между напряжением и током в неразветвленной части цепи.

Аналогичное выражение будет и для активной мощности, потребляемой в параллельных ветвях.

$$P_R = U I_R (\cos \varphi_R = 1) \quad P_K = U I_F \cos \varphi_K \quad P_C = U I_C \cos \varphi$$

где  $P_R$  - мощность, потребляемая реостатом, Вт

$P_K$  - мощность потребляемая катушкой, Вт

$P_C$  - мощность, потребляемая конденсатором, Вт

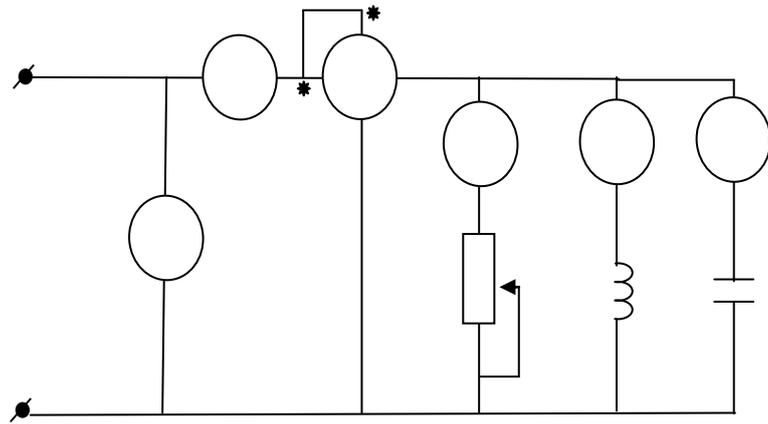
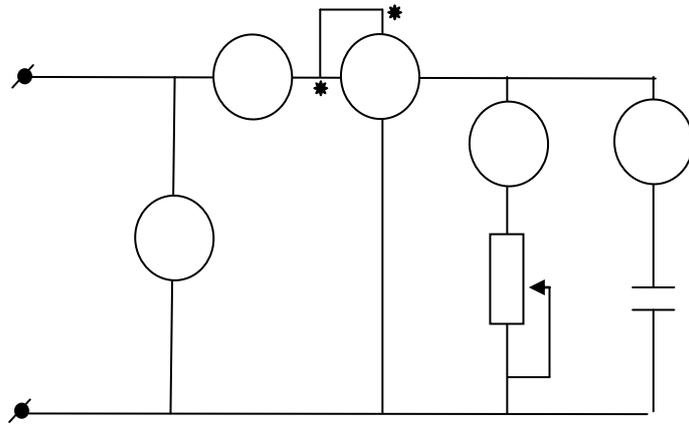
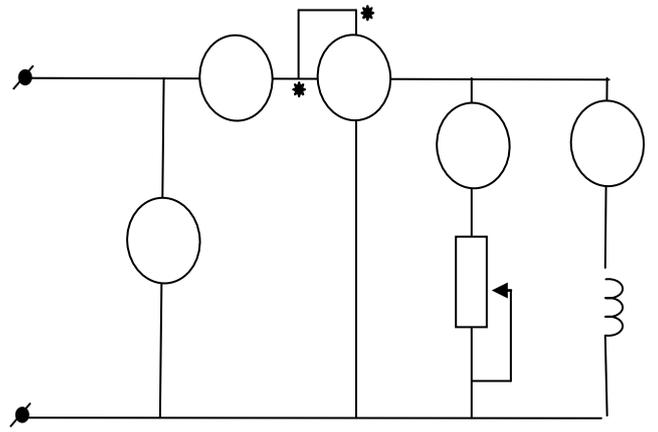
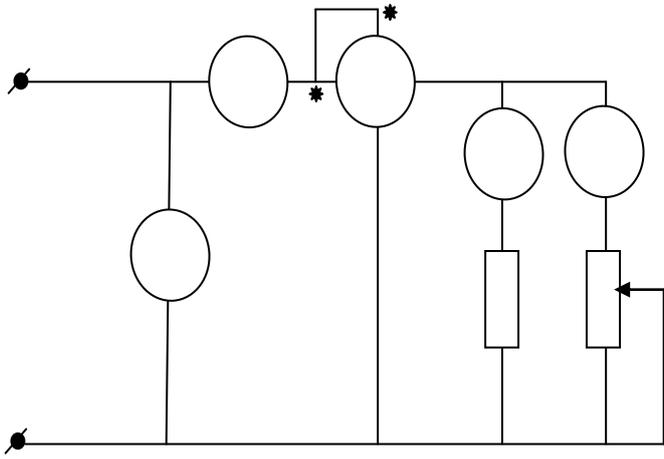
Общая активная мощность всей цепи будет складываться из алгебраической суммы мощностей параллельных ветвей. Алгебраическая мощность измеряется ваттметром.

#### **4. Порядок выполнения работы.**

1. Собрать схему, состоящую из активного сопротивления реостата и реостата (рис .5. 1а).
2. Установить значения токов, указанных преподавателем и произвести записи измерений в таблицу 5.1. .
3. Собрать схему, состоящую из активного сопротивления реостата и катушки (рис .5. 2б).
4. Установить значения токов, указанных преподавателем и произвести записи измерений в таблицу 5.1..

Убедиться в том что алгебраическая сумма токов  $I_a$  и  $I_K$  больше общего тока

5. Собрать схему, состоящую из конденсатора и реостата (рис.5.1в) и выполнить п.2. Убедиться в том, что алгебраическая сумма токов  $I_K$  и  $I_A$  больше общего тока  $I$ .



6. Собрать схему, состоящую из активно, конденсатора и катушки (рис.5.1.г)

и выполнить п.2. Убедиться в том, что алгебраическая сумма токов  $I_K$  и  $I_C$  больше общего тока  $I$ .

7. Построить векторные диаграммы токов и напряжений для пунктов 1,3 и 4.

Произвести определение параметров, сделав необходимые вычисления согласно таблицы 5.1.

8. Сделать выводы по работе: особенности применения закона Ома и I-го закона Кирхгофа в цепи переменного тока, оценить влияние параметров цепи на угол сдвига фаз между током и напряжением.

9. Сделать выводы по работе: особенности применения закона Ома и I-го закона Кирхгофа в цепи переменного тока, оценить влияние параметров цепи на угол сдвига фаз между током и напряжением.

Таблица 5.1.

Характер нагрузки		Измерения		
		U	I	P
		B	a	Bт
Активно - Активной	Реостат			
	Реостат			
	Вся цепи			
Активно-индуктивной	Реостат			
	Катушка			
	Вся цепь			
Активно-емкостной	Реостат			
	Конденсатор			

	Вся цепь			
Активно- Индуктивно- емкостной	Реостат			
	Катушка			
	Конденсатор			
	Вся цепи			

Таблица 5.2.

Вычисление					
Параметры всей цепи					
$\cos\varphi$ расчѐтн	$\cos\varphi$ из диагр	R Ом	Z Ом	X Ом	Характер нагрузки
					Актив индукт
					Актив ѐмкостн
					Индукт ѐмкостная
Параметры катушки					
$\cos\varphi$ расчѐтн	$\cos\varphi$ из диагр	$R_k$ Ом	$Z_k$ Ом	$X_L$ Ом	L гн
Параметры катушки					
$\cos\varphi$ расчѐтн	$\cos\varphi$ из диагр	$R_{кон}$ Ом	$Z_C$ Ом	$X_C$ Ом	C мкФ

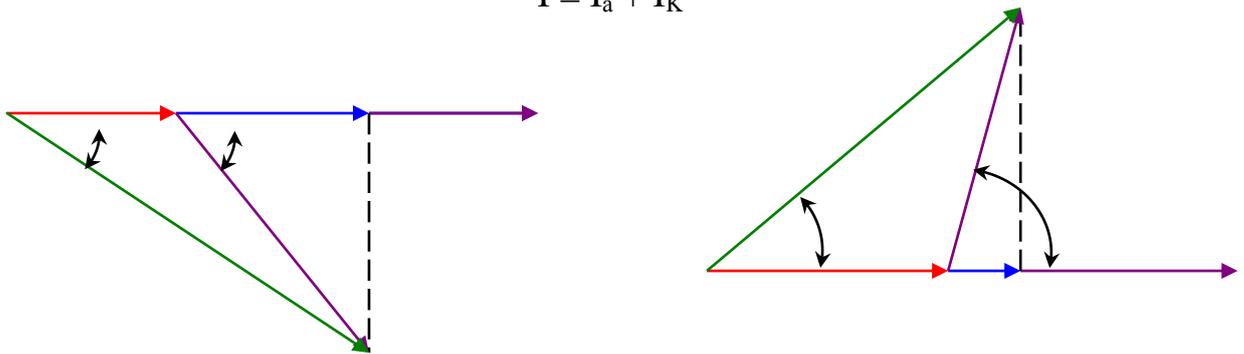
## 5. Пояснения к оформлению отчета.

### 1. Построение векторных диаграмм.

#### а) Активно-индуктивная нагрузка.

Из точки «0» отложить вектор напряжения  $U$ . Из этой же точки отложить вектор тока  $I_a$ , протекающего через реостат по направлению вектора напряжения. На основании I-го закона Кирхгофа для данной цепи имеем

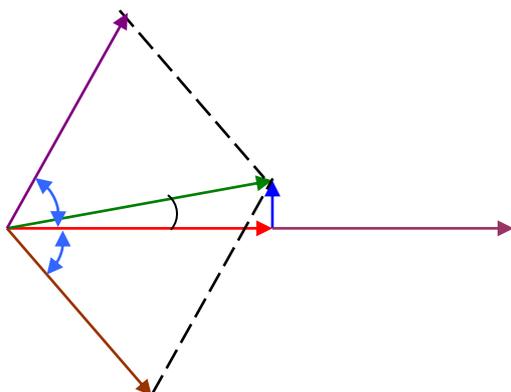
$$I = I_a + I_K$$



Для того чтобы соблюсти это выражение, нужно из конца вектора  $I_a$  по ходу часовой стрелки (т.к. индуктивный ток отстает по фазе от напряжения) сделать засечку радиусом, равным вектору тока  $I_K$ , а из точки сделать засечку, радиусом, равным вектору общего тока  $I$ . Соединив точку пересечения засечек с концом вектора  $I_a$  и точкой 0, получим векторную диаграмму. Ток катушки  $I_K$  можно разложить на составляющие активный ток  $I_{a,K}$  и индуктивный ток  $I_L$  (см. рис. 4.4).

#### б) Активно-емкостная нагрузка.

Построение векторной диаграммы ведется также, как и для активно-индуктивной нагрузки на засечке делаются по ходу против часовой стрелки, т.к. теперь в цепи будет емкостный ток, а он опережает напряжение по фазе (рис 4.5) Ток конденсатора можно разложить на составляющие – активный ток  $I_{a,кон}$  и емкостный ток  $I_C$ . Активный ток  $I_{a,кон}$  должен получиться малым по сравнению с емкостным.



#### в) Индуктивно-ёмкостная нагрузка.

Из точки 0 (рис. 4.6) отложить вектор напряжения  $U$ . Из этой же точки под углом  $\varphi_K$ , полученным из диаграммы для активно индуктивной нагрузки (рис 4.4), отложить вектор тока  $I_K$ . Затем из этой же точки отложить вектор тока  $I_{кон}$  под углом  $\varphi_{кон}$  полученным из диаграммы для активно-ёмкостной нагрузки (рис 4.5). Сумма этих векторов

будет равна вектору общего тока  $I$ . В зависимости от соотношения токов  $I_K$  и  $I_{кон}$  общий ток  $I$  может или отставать по фазе от напряжения, или опережать его. Общий ток можно разложить на составляющие - активный ток  $I_a$  и реактивный ток  $I_p$

2) Определения параметров цепи.

а) Определение активной мощности, потребляемой участками цепи.

Мощность, потребляемая реостатом, будет равна

$$P_R = UI_a$$

где  $U$  - подводимое напряжение, в

$I_a$  - ток, проходящий через реостат, а

Мощность потребляемая катушкой будет равна разности

$$P_K = P - P_R$$

где  $P$  - мощность, измеренная ваттметром, Вт

Таким же образом определяется и мощность, потребляемая конденсатором

В схеме рис. 4.3 значения мощностей  $P_K$  и  $P_{кон}$  будут такими же, как и для схем, рис. 1 и рис. 2 если напряжение  $U$  во всех случаях будет одним и тем же. Если же напряжение изменится, то мощности изменятся пропорционально квадрату напряжения.

б) Определение коэффициента мощности.

коэффициента мощности для всей цепи определяется по формуле

$$\cos \varphi = \frac{P}{U \cdot I}$$

Для параллельных ветвей коэффициент мощности определяется по такой же формуле, но мощность и ток подставляются в неё соответственно для каждой ветви.

Коэффициент мощности можно определить из векторных диаграмм, для чего надо измерить соответствующие углы и соответствующих прямоугольных треугольниках на диаграммах измерить катеты и гипотенузы и взять их отношения. Последний способ даст более точные результаты.

в) Определение параметров

1. Параметры всей цепи:

Полное сопротивление  $z = \frac{U}{I}$

Активное сопротивление  $R = \frac{P}{I^2}$

Реактивное сопротивление  $x = \sqrt{z^2 - R^2}$

## 2. Параметры катушки:

Полное сопротивление  $z_K = U / I_F$

Активное сопротивление  $z_F = \frac{P_F}{I_F^2}$

Индуктивное сопротивление  $x_L = \omega L = \sqrt{z_F^2 - R_F^2}$

Индуктивность катушки  $L = \frac{x_L}{\omega} = \frac{x_L}{2\pi f}$

## 3. Параметры конденсатора:

Ёмкостное сопротивление (пренебрегая активным сопротивлением)

$$x_C = z_C = \frac{U}{I_{\text{кон}}}$$

Ёмкость конденсатора  $C = \frac{1}{x_C \omega} = \frac{1}{x_C 2\pi f}$

## 5. Домашняя подготовка к работе.

1. Изучить методы и средства измерений в цепях переменного тока.
2. Вычертить исследуемую электрическую схему с включенными в неё необходимыми измерительными приборами.
3. Получить навыки построения векторных диаграмм для простейших электрических цепей, содержащих R, L, C элементы. Построить качественную векторную диаграмму для заданной электрической схемы.
4. Изучить особенности применения законов Ома и Кирхгофа для цепей переменного тока.
5. Усвоить физический смысл расчётных выражений, приведённых в настоящем описании.

## 6. Указания по выполнению работы в лаборатории.

Эксперименты выполняются на лабораторном стенде для исследования простых цепей однофазного синусоидального тока.

Лицевая панель стенда изображена на рис. 2. Выводы измерительных приборов находятся непосредственно под каждым прибором и имеют соответствующие приборам условные обозначения. Выводы катушки индуктивности и ёмкости обозначены, соответственно, как L и C. Активное сопротивление R представлено реостатом и может варьироваться.

Питание на стенд подаётся последовательным включением автоматов «Сеть» и АП (устройство защитного отключения типа УЗОШ).

Сигнализация о включении автоматов осуществляется соответствующими лампочками. Регулирование подаваемого на исследуемую схему напряжения питания U производится при помощи лабораторного автотрансформатора «Латр».

## 7. Требования к отчёту.

Отчёт по работе должен содержать:

7. Исходную электронную схему и схему, содержащую все необходимые для выполнения работы измерительные приборы;
8. Таблицу результатов измерений;
9. Векторные диаграммы токов и напряжений с указанием масштабов и последовательности построений;
10. Расчёты электрических параметров всех элементов исследуемой схемы;
11. Расчёты активной, реактивной и полной мощностей для исследованной цепи;
12. Графики мгновенных значений токов или напряжений.

## 8. Вопросы для самопроверки.

1. Чему равно среднее значение синусоидального тока за период?
2. Как складываются векторные величины?
3. Изобразить векторные диаграммы для активно-индуктивной и активно-ёмкостной цепей.
4. Как рассчитать полное сопротивление, если известны активное и индуктивное сопротивления, соединённые параллельно?
5. В чём заключается особенность применения I – го закона Кирхгофа в цепях переменного тока.
6. Как применяется закон Ома в цепях переменного тока.
7. Как определить индуктивность катушки и ёмкость конденсатора.
8. Что называется сдвигом фаз.
9. Как определяется коэффициент мощности.

## Лабораторная работа №5

### Смещенная соединение потребителей в цепи переменного тока.

#### 1. Цель работы.

Приобретение навыков проведения измерений в цепях переменного синусоидального тока.

Изучение законов Кирхгофа применительно к цепям синусоидального тока.

Приобретение навыков построения векторных диаграмм по результатам экспериментальных данных.

Определение по результатам экспериментов параметров элементов электрических цепей.

Построение кривых мгновенных значений синусоидальных токов.

#### 2. Пояснения к работе.

Синусоидальным называется ток, изменяющийся во времени по закону:

$$i = I_m \cdot \sin\left(\frac{2\pi f}{T} t + \varphi\right) = I_m \cdot (\omega t + \varphi)$$

Где-  $I_m$  амплитуда тока;  $T$ - период- время, за которое совершается одно полное колебание  $(\omega t + \varphi)$ - фаза, которая характеризует числовое значение в данный момент времени, при этом интервал времени  $t = \frac{\varphi}{\omega}$  с момента  $t$  перехода синусоиды через нуль до момента, принятого за начало отчёта, называется начальным временем.

Синусоидальный ток может быть изображён в виде графика мгновенных значений (выражение 1) в прямоугольной системе координат, причём по оси абсцисс чаще откладывается фазовый угол  $\omega t$  ; либо в виде вращающегося вектора на комплексной плоскости в соответствии с выражением:

$$i = I_m \cdot \sin(\omega t + \varphi) = I_m \cdot e^{j(\omega t + \varphi)} = I_m \cdot e^{j\varphi} \cdot e^{j\omega t} = \dot{I}_m e^{j\omega t}$$

Где  $\dot{I}_m$ - комплексная амплитуда - изображается на плоскости.

В практике электроизмерительные приборы регистрируют, как правило, действующее или среднеквадратичное значение тока.

$$I = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T i^2 dt} = \frac{I_m}{\sqrt{2}} = 0,707 I_m$$

Электрический ток может быть оценён средним значением за положительный полупериод.

$$I_{cp} = \frac{2}{T} \int_0^{\frac{T}{2}} I_m \cdot \sin \omega t dt = \frac{2}{\pi} I_m = 0,63 I_m$$

Закон Ома для цепи синусоидального тока.

$$I = \frac{U}{Z} = \frac{U}{\sqrt{R^2 + X_s^2}} = \frac{U}{\sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}}$$

Где

$I$ - действующее значение тока, А;

$U$  - действующее значение напряжения, В;

$Z$  - полное сопротивление цепи, Ом;

R- Активное сопротивление цепи, Ом;

$X_L$ – индуктивное сопротивление, Ом;

$X_C$  – ёмкостное сопротивление, Ом;

$X_{\Sigma}$ – эквивалентное реактивное сопротивление всей схемы, Ом.

Здесь

$$X_L = \omega L; X_C = \frac{1}{\omega C},$$

где L- величина индуктивности, Г;

C- величина ёмкости,

$\omega = 2\pi f$  - угловая частота переменного тока,  $C^{-1}$ ;

f – частота переменного тока источника, Гц.

К расчётам цепей синусоидального тока применимы все методы расчёта электрических цепей, которые, так или иначе, основаны на законах Кирхгофа.

Вычисление мощности, потребляемой цепью, производится исходя из следующих соотношений:

- Активная мощность

$$P = U \cdot I \cdot \cos \varphi = U_a \cdot I = U \cdot I_a, \text{ Вт}$$

- Реактивная мощность

$$Q = U \cdot I \cdot \sin \varphi = U_p \cdot I = U \cdot I_p, \text{ Вар}$$

- Полная мощность

$$S = U \cdot I = \sqrt{P^2 + Q^2}, \text{ ВА}$$

Здесь  $\varphi$  - угол сдвига между током и напряжением, который может быть определён по формулам:

$$\sin \varphi = \frac{U_p}{U} = \frac{X}{Z} = \frac{Q}{S},$$

$$\cos \varphi = \frac{U_a}{U} = \frac{R}{Z} = \frac{P}{S},$$

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{U_p}{U_a} = \frac{X}{R} = \frac{Q}{P},$$

Где-  $U_p$ , X, Q – реактивные напряжение, сопротивление и мощность.

### 3. Задание на работу.

#### 1. Измерения в цепях синусоидального тока.

Собрать электрическую цепь в соответствии с одной из схем рис. 6.1, заданной преподавателем, включив в эту схему измерительные приборы, необходимые для замера токов и напряжений для всех элементов схемы. Результаты измерений представить в таблицу, в которой необходимо отразить действующие, максимальные и средние значения измеряемых величин.

2. На основании законов Кирхгофа по результатам экспериментальных данных построить векторные диаграммы токов и напряжений для исследуемой цепи.
3. Определить электрические параметры всех элементов исследуемой цепи: полное эквивалентное сопротивление, активное и реактивное сопротивление всей схемы и отдельных элементов, величины ёмкости и индуктивности.
4. Построить по указанию преподавателя графики мгновенных значений токов или напряжений в зависимости от времени.
5. Определить активную, реактивную и полную мощности, потребляемой всей цепью. Построить треугольник мощностей.

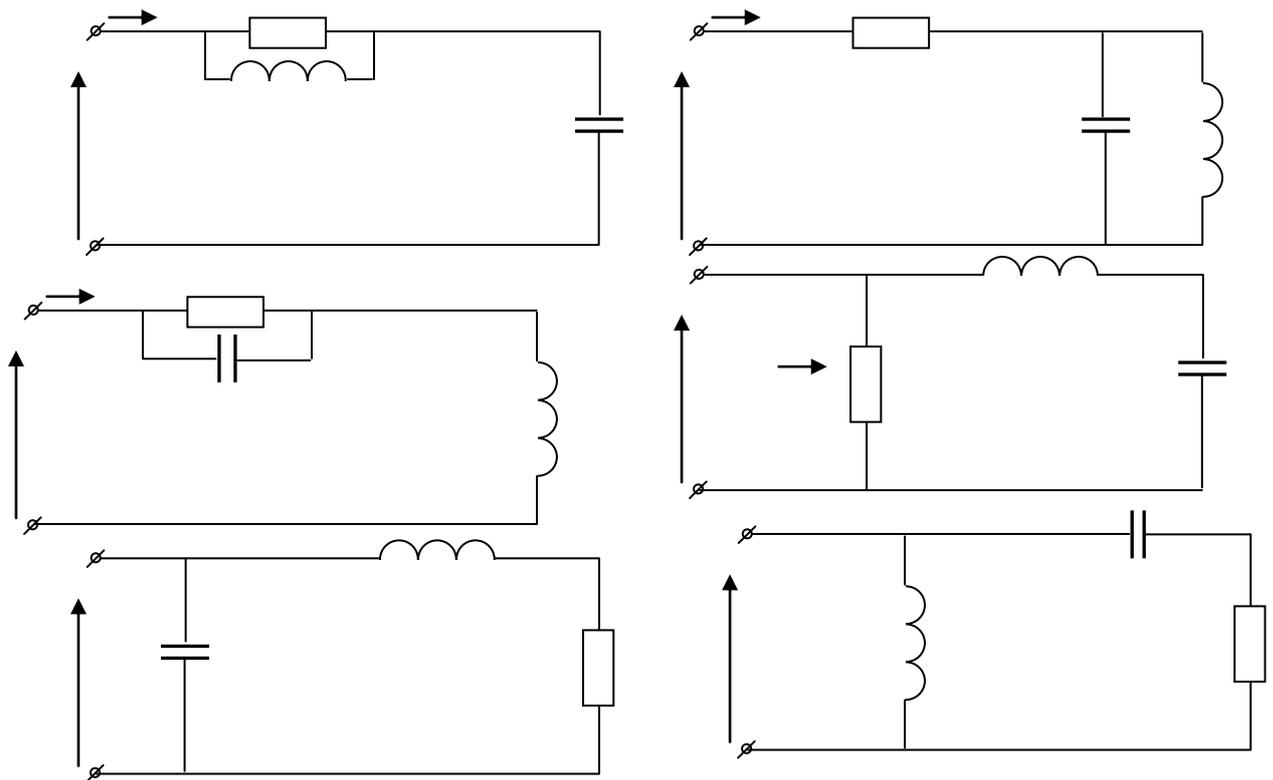


Рис.6.1.Варианты электрических схем для исследований.

Примечание: п.п.3.2.-3.5 выполняются при оформлении отчёта по лабораторной работе.

#### 4. Домашняя подготовка к работе.

Изучить методы и средства измерений в цепях переменного тока.

Вычертить исследуемую электрическую схему с включенными в неё необходимыми измерительными приборами.

Получить навыки построения векторных диаграмм для простейших электрических цепей, содержащих R, L, C элементы. Построить качественную векторную диаграмму для заданной электрической схемы.

Изучить особенности применения законов Ома и Кирхгофа для цепей переменного тока.

Усвоить физический смысл расчётных выражений, приведённых в настоящем описании.

#### 5. Указания по выполнению работы в лаборатории.

Эксперименты выполняются на лабораторном стенде для исследования простых цепей однофазного синусоидального тока.

Выводы измерительных приборов находятся непосредственно под каждым прибором и имеют соответствующие приборам условные обозначения. Выводы катушки индуктивности и ёмкости обозначены, соответственно, как L и C. Активное сопротивление R представлено реостатом и может варьироваться.

Питание на стенд подаётся последовательным включением автоматов «Сеть» и АП (устройство защитного отключения типа УЗОШ).

Сигнализация о включении автоматов осуществляется соответствующими лампочками. Регулирование подаваемого на исследуемую схему напряжения питания U производится при помощи лабораторного автотрансформатора «Латр».

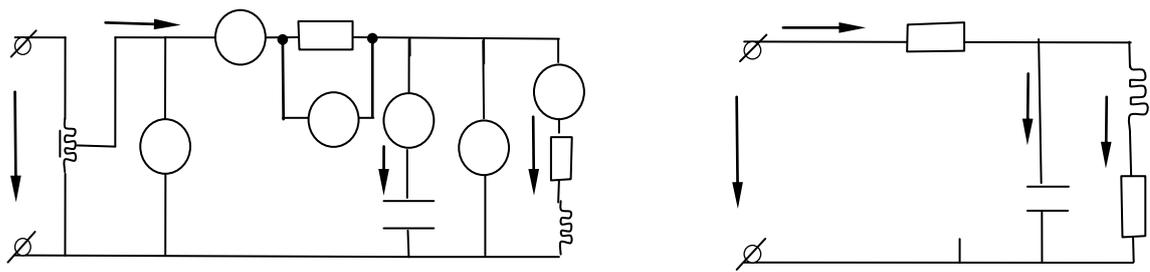


Таблица –6.1

Измерение					
$U_1$	$U_2$	$U$	$I_1$	$I_2$	$I$
В	В	В	А	А	А

Таблица –6.2

Вычисление													
$U$	$U_a$	$U_p$	$R_0$	$X_0$	$Z_0$	$R_1$	$R_2$	$L_2$	$C$	$P$	$Q$	$S$	$\cos \varphi$
В	В	В	Ом	ом	Ом	Ом	Ом	Гн	мкФ	Вт	Вар	Вт	

6. Требования к отчёту.

Отчёт по работе должен содержать:

1. Исходную электронную схему и схему, содержащую все необходимые для выполнения работы измерительные приборы;
2. Таблицу результатов измерений;
3. Векторные диаграммы токов и напряжений с указанием масштабов и последовательности построений;
4. Расчёты электрических параметров всех элементов исследуемой схемы; Расчёты активной, реактивной и полной мощностей для исследованной цепи; Графики мгновенных значений токов или напряжений.

7. Вопросы для самопроверки.

2. Какова цель лабораторной работы?
3. Написать формулы, связывающие максимальное и действующее, максимальное и среднее значения переменного напряжения.
4. Чему равно среднее значение синусоидального тока за период?
5. Как складываются векторные величины?

## Лабораторная работа № 6

### Исследование резонанса напряжений

#### 1. Цель работы.

- 1) Ознакомиться с явлениям резонанса на практике.
- 2) Исследовать изменение напряжения на катушке и на конденсаторе при изменении ёмкости конденсатора.
- 3) Определить периметры цепи при резонансе напряжений, напряжение на катушке и на конденсаторе будет больше напряжения сети.

#### 2. Пояснения к работе.

Резонансом напряжения называется такой режим электрической цепи, состоящей на последовательно соединенных индуктивной катушки и конденсатора, которой наступает при равенстве реактивных сопротивлений, т.е.

$$x_L = x_C \quad \text{или} \quad \omega L = \frac{1}{\omega C}$$

где  $\omega$ - угловая частота переменного тока ,равная  $\omega = 2\pi f$

$f$ - частота переменного тока ,Гц

$L$  - индуктивность катушки, Гн

$C$ - ёмкость конденсатора, ф

При резонансе:

- а) полной сопротивление цепи будет равно активному сопротивлению

$$z_{рез} = \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2} = R$$

- б) коэффициент мощности будет равно активному сопротивлению

$$\cos \varphi_{рез} = \frac{R}{z_{рез}} = 1$$

- в) ток в цепи будет иметь наибольшее значение

$$I_{рез} = \frac{U}{z_{рез}} = \frac{U}{R} \quad z > z_{рез} = R$$

- г) реактивные напряжения будут равны друг другу

$$U_L = U_C$$

Реактивное напряжение  $U_P$  –будет равно нули

$$U_P = U_L - U_C = 0$$

- д) приложенное напряжение затрачивается только на активное падения напряжения

$$U = \sqrt{U_a^2 + U_p^2} = U_a = I_{рез} R$$

Следовательно, при резонансе напряжений электрическая цепь, состоящая из активного сопротивления, индуктивности и ёмкости, проявляет себя так, как будто она имеет только активное сопротивление

Хотя реактивное напряжение при резонансе напряжений равно нулю, индуктивное и ёмкостное напряжения в отдельности не равны нулю и могут достигать очень больших значений по сравнению с подводимым напряжением. Это видно из выражений

$$U_L = I_{рез} x_L = \frac{U}{R} x_L = U \frac{\omega L}{R}$$

при малом значении R и большом  $X_L$  напряжение  $U_L$  и равное ему  $U_C$  могут оказаться в десятки раз больше подводимого напряжения.

При резонансе напряжений реактивная мощность, потребляемая из сети, будет равна нулю.

$$Q = Q_L - Q_C = 0$$

Так как реактивные мощности катушки и конденсатора равны друг другу, а полная мощность равна активной мощности

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

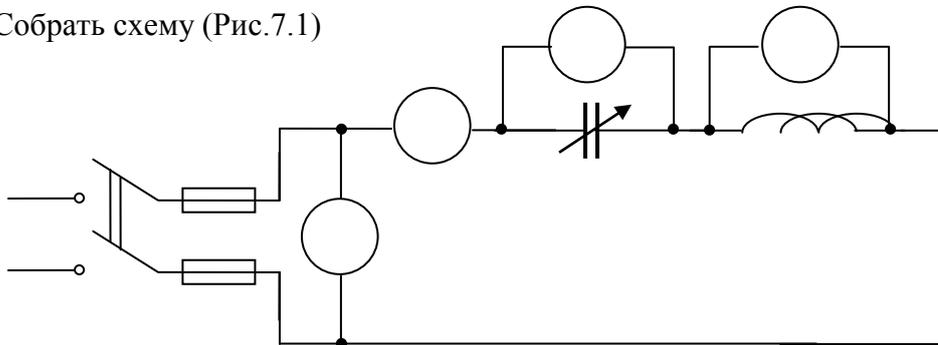
Следовательно, при резонансе напряжений происходит обмен энергией между катушкой и конденсатором, а обмена энергией между сетью и катушкой или сетью и конденсатором, а обмена энергией между сетью и катушкой или сетью и конденсатором не происходит.

Резонанс напряжений может оказаться опасным для установки, в которой он возникнет, т.к. может произойти повышение напряжения, о котором говорилось выше. Такой случай может иметь место, например, если в кабельную линию, обладающую ёмкостью, включить индуктивную катушку какого либо аппарата (обмотку трансформатора)

Но во многих областях техники резонанс напряжений находит полезное применение, например, в качестве фильтров, радиотехнике и др.

### 3. Порядок выполнения работы.

1. Собрать схему (Рис.7.1)



2. Изменяя ёмкость конденсаторов через 2 мкф, записывать показания приборов в таблицу 7.1.в области близкой к резонансу, изменения ёмкости делать через 1мкф.

3. Построить графики  $U_C$ ,  $U_K$ ,  $I$  в зависимости от  $C$ .

4. Определить по графику момент резонанса.

5. Вычислить параметры цепи при резонансе напряжений и результаты занести в таблицу 7.2.

6. Построить для момента резонанса векторную диаграмму.

Таблица 7.1..

№	Измерения				
	$C$ мкФ	$I$ А	$U$ В	$U_K$ В	$U_C$ В
1					
2					
3					

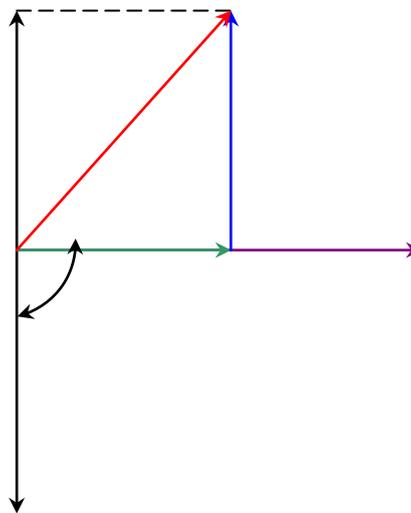
.....					
n					

Таблица 7.2.

По графикам			Вычисления			
C мкФ	$U_K$ В	$U_C$ В	L г	R Ом	$\frac{U_K}{U}$	$\frac{U_C}{U}$

#### 4. Пояснения к оформлению отчета.

а) Построение векторной диаграммы для условий резонанса. Из точки 0 (Рис.7.2)



отложить вектор тока  $I$  и параллельно ему из этой же точки провести вектор напряжения сети  $U$ , который будет равен активному падению напряжения на катушке  $U_{AK}=I_pR$ . Затем под углом  $90^\circ$  вниз отложить вектор падения напряжения на конденсаторе  $U_C$ . Так как напряжение на катушке должно быть равно геометрической сумме активного падения напряжения на катушке  $U_{AK}$  и индуктивного  $U_{LK}$ , то из конца вектора  $U_{AK}$  необходимо восстановить перпендикуляр вверх и размером вектора  $U_K$  сделать засечку на этом перпендикуляре. Отрезок между концом вектора  $U_{AK}$  и концом вектора  $U_K$  будет равен падению напряжения  $U_{LK}=U_L$ . Этот вектор перенести в точку  $O$ . Он должен получиться равны вектору  $U_C$ .

б) Построение графиков.

Кривые  $U_K = f_1(C)$ ,  $U_C = f_2(C)$ ,  $I = f_3(C)$  необходимо построить на одном графике. Точка, где ток  $I$  достигает максимального значения, соответствуют резанасу напряжений. Через максимальное значение тока провести прямую, параллельную оси ординат. Эта прямая пересечёт соответствующие кривые в точках, которые определяют  $U_K$ ,  $U_C$ ,  $C$  при резонансе напряжений. Значения, полученные из графика, занести в таблицу 2.

2. Задание на работу.

2.1 Исследование резонанса напряжения.

Собрать электрическую схему по рис. 7,1. Установить заданное преподавателем входное напряжение. Изменяя величину ёмкости в цепи замерить силу тока и напряжения на участках цепи. Показания снимать для семи- девяти различных значений ёмкости, в

том числе и для резонанса напряжений. Для всех измерений вычислить величины ёмкости, индуктивности и активного сопротивления. Величина активного сопротивления находится по замерам для момента резонанса. Вычислить волновое сопротивление. По результатам опытов и расчётов построить резонансные кривые зависимостей  $I$ ;  $U_a$ ;  $U_L$ ;  $U_C$ ;  $U$ ;  $\varphi$  в функции от ёмкости  $C$ .

Методом засечек на основе экспериментальных данных построить векторные диаграммы, иллюстрирующие три режима работы цепи: до резонанса, после резонанса и в момент резонанса.

## **6. Домашняя подготовка к работе.**

- 3.1. Изучить явления резонанса напряжений и токов в электрических цепях.
- 3.2. Освоить расчеты активных, индуктивных, ёмкостных сопротивлений и проводимостей в цепях переменного тока, расчёты активной и индуктивной составляющих тока.
- 3.3. Научиться анализировать явления резонанса при помощи векторных диаграмм и резонансных кривых.
- 3.4. Уяснить принцип компенсации реактивной мощности при помощи конденсаторов.

## **7. Указания по выполнению работы в лаборатории.**

Питание на стенд подаётся через автомат питания АП с индикацией о включении сигнальной лампы «Сеть». Сборка необходимых для экспериментальных исследований электрических схем осуществляется при помощи соединительной шинки из 20 штепсель-шнуров и 19 тумблеров. Установка заданного преподавателем напряжения, подаваемую на исследуемую схему, производится при помощи лабораторного автотрансформатора «Латр». Резонанс в исследуемых на стенде цепях получают изменением ёмкости при помощи переключателей  $C$  грубо и  $C$  точно, выведенных на лицевую панель, при этом коммутацией переключателя  $C$  точно осуществляется изменение величины ёмкости в пределах между двумя величинами ёмкости, устанавливаемыми соседними положениями переключателя  $C$  грубо.

Тумблер  $T_A$  служит для переключения пределов измерения амперметра  $A_2$ . В связи с этим амперметр  $A_2$  необходимо включать в цепь для измерения общего тока потребляемого цепью, т.к. в случае резонанса напряжений этот ток максимален, а в случае резонанса токов он минимален.

## **8. Требования к отчёту.**

В отчёте должны быть отражены постановка задачи и исследованные электрические схемы. Результаты измерений представляются в виде таблиц. Ход расчетов должен быть отражен как в виде подставленных в формулы численных значений. Резонансные кривые для каждого из резонансов целесообразно построить совмещёнными. Векторные диаграммы должны в масштабе соответствовать результатам измерений. Отчёт должен содержать аналитические выводы по результатам проведённых экспериментов и о практической значимости исследованных явлений.

## **9. Вопросы для самопроверки.**

В какой электрической цепи может возникнуть резонанс напряжений?

Каковы условия возникновения резонанса напряжений?

Какие явления наблюдаются при резонансе напряжений?

Чем опасен резонанс напряжений?

Как построить векторную диаграмму при резонансе напряжений?

Изменением, каких величин можно достигнуть резонанса напряжений?

## Лабораторная работа № 7

### Исследование резонанса токов

#### 1. Цель работы.

- 1) Практически ознакомиться с явлением резонанса токов.
- 2) Исследовать изменение тока на участках цепи и в общей части цепи при изменении ёмкости конденсаторов.
- 3) Определить момент наступления резонанса токов.
- 4) Определить проводимости цепи в момент резонанса токов.

#### 2. Пояснения к работе.

Резонансом токов называется такой режим электрической цепи, состоящей из параллельно соединённых катушки и конденсаторов, который наступает при равенстве реактивных проводимостей, т.е. при  $b_L = b_C$

Реактивная проводимость катушки равна 
$$b_L = \frac{x_L}{Z_K^2} = \frac{x_L}{R_K^2 + x_L^2}$$

а конденсаторов -  $b_C = \omega C$   
при условии если пренебречь малым активным сопротивлением конденсатора,

где  $X_L = \omega L$  – индуктивное сопротивление катушки, ом

$Z_K$  – полное сопротивление катушки, ом

$R$  – активное сопротивление катушки, ом

$L$  – индуктивность катушки, гн

$C$  – ёмкость конденсатора, ф

$\omega = 2\pi f$  – угловая частота переменного тока, сек<sup>-1</sup>

$f$  – частота переменного тока в сети

При резонансе токов наблюдается следующие явления:

а) полная проводимость цепи  $Y_{рез.}$  равна активной проводимости  $g$

$$Y_{рез.} = \sqrt{g^2 + (b_L - b_C)^2} = g$$

б) коэффициент мощности  $\cos \varphi_{рез}$  равен единице

$$\cos \varphi_{рез} = \frac{g}{Y_{рез}} = 1$$

в) ток в неразветвлённой части цепи

$$I = U Y_{рез} = U g$$

будет иметь наименьшее значение. Индуктивная составляющая этого тока будет равна ёмкости составляющей, что видно и в следующих выражениях

$$b_L = b_C; U b_L = U b_C; \text{ т.е. } I_L = I_C$$

г) реактивные мощности  $Q_L$  и  $Q_C$  будут также равны

$$I_L = I_C; U I_L = U I_C, \text{ т.е. } Q_L = Q_C$$

Следовательно, в общей части цепи реактивной мощности нет, а полная мощность будет равна активной мощности

$$S = \sqrt{P^2 + (Q_L - Q_C)^2} = P$$

Реактивная мощность и реактивный ток будут только в контуре LC. Так как сила тока в неразветвлённой части цепи имеет наименьшее значение при резонансе, то потери мощности в подводящих проводах будут наименьшими. При активной постоянной мощности, потребляемой катушкой, активная мощность, потребляемая конденсатором, практически равна нулю.

Это явление используется на практике для уменьшения потерь в проводах при передаче электрической энергии от электрической станции к потребителю, кроме того, явление резонанса токов используется в электротехнике для электрических фильтров, в радиотехнике для получения колебательных контуров.

### 3. Порядок выполнения работы.

- 1) Собрать схему Рис.8.1.
- 2) Изменяя ёмкость конденсаторов, определить момент резонансов. Изменение ёмкости конденсаторов производить через 2 мкФ, а в области резонанса – через 1 мкФ. Записать показания всех приборов в таблицу 8.1.
- 3) Построить графики изменения токов,  $I, I_k, I_c$ . При изменении ёмкости конденсаторов по графикам определить ёмкость конденсаторов и токи в момент резонанса и данные записать в таблицу 8.2.
- 4) Построить векторные диаграммы: а) для момента резонанса и б) общую диаграмму для различных значений тока  $I_c$  в соответствии с таблицей 8.1.
- 5) Определить проводимости в момент резонанса токов и записать их значения в таблицу 8.2.

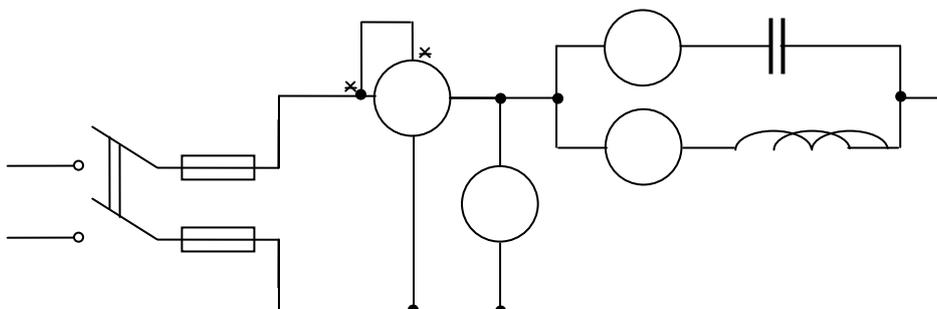


Таблица 8.1.

№	из м е р е н и я					из вектор. диаграммы.
	С мкФ	U В	I А	$I_K$ А	$I_C$ А	$\cos\varphi$
1						
2						
3						
.....						
n						

Таблица 8.2

по графикам				вычисления	
С	I	$I_c$	$I_k$	$b_L$	$b_C$
мкф	a	a	a	1/ом	1/ом

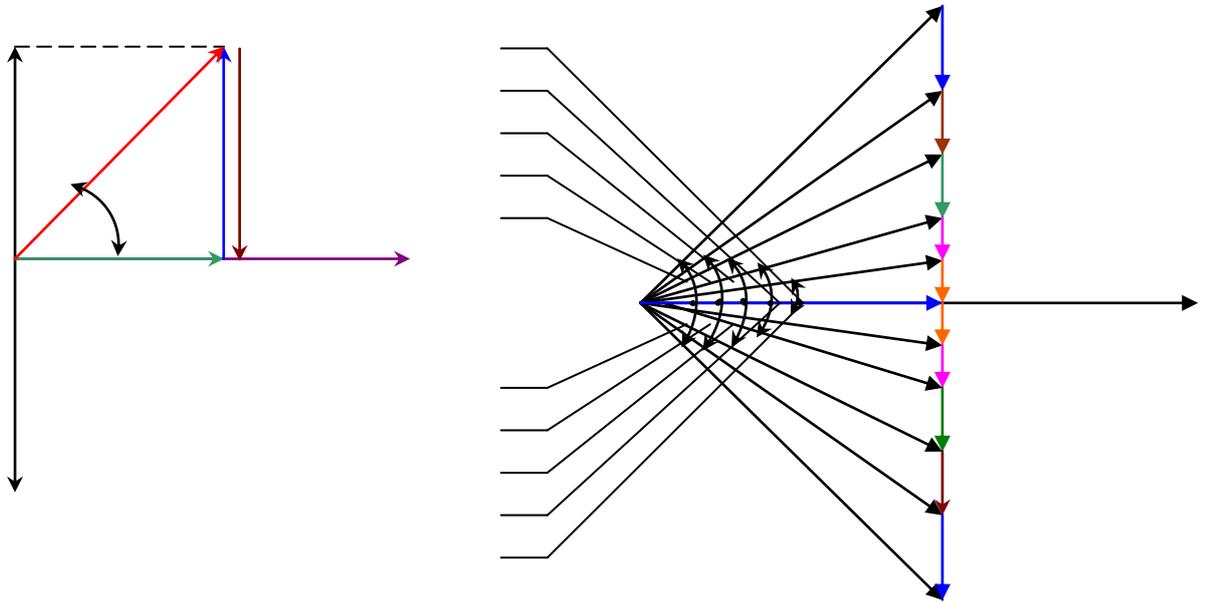
### 4. Пояснения к оформлению отчета.

- 1) Построение графиков.

Зависимости  $I = f_1(C)$ :  $I_K = f_2(C)$ :  $I_C = f_3(C)$  стоятся на одном графике. Минимальное значение тока  $I$  соответствует моменту резонанса токов. Этот ток будет чисто активным током, т.е.,  $I_{\min} = I_a$ . Значение токов в момент резонанса записать в таблицу 8.2.

2) построение векторных диаграмм.

а) для момента резонанса токов.



Из произвольной точки  $O$  (рис.8.2) отложить вектор направления горизонтально. Из той же точки по направлению вектора напряжения отложить вектор тока  $I$ , т.к. сдвиг фаз между ними при резонансе равен нулю. По первому закону Кирхгофа имеем  $I = I_K + I_C$  и поэтому дальнейшее построение ведётся следующим образом. Радиусом, равным вектору тока катушки  $I_K$ , сделать засечку из точки  $O$ , а из конца вектора  $I_C$  сделать вектора тока  $I$  сделать засечку радиусом, равным вектору тока  $I_C$ . Точку пересечения засечек соединить с началом и концом вектора тока  $I$ . Вектор тока конденсаторов  $I_C$  перенести в точку  $O$ , а вектор тока катушки  $I_K$  разложить на активный ток  $I_a$ , практически равный общему току  $I$ , и индуктивный ток  $I_L$ . Из этой же диаграммы определить  $\cos \varphi_{\text{рез}}$  катушки.

б) для остальных замеров.

Отложить из точки  $O$  (Рис.8.3) вектор напряжения горизонтально. Затем под углом  $\varphi_K$ , известным из предыдущей диаграммы (Рис.8.2), отложить вектор тока катушки. От конца вектора тока катушки откладывать векторы токов  $I_C$ , взятые из таблицы 7.1. Геометрическая сумма этих токов даст значения тока в неразветвлённой части цепи.

в) Определение  $\cos \varphi$ .

Измерив угол между вектором напряжения и вектором тока в неразветвлённой части цепи, можно определить  $\cos \varphi$  сети. Можно определить  $\cos \varphi$  и следующим образом. Измерить активную составляющую тока в неразветвлённой части цепи и разделить её на полный ток  $I$ . Этот способ даёт более точные результаты.

г) определение проводимостей.

Индуктивная проводимость катушки  $Y_L = Y_K \sin \varphi_K$

где  $Y_F = 1/z_F$  - полная проводимость катушки,

$z_K$  - полное сопротивление катушки, равное

$$z_K = \frac{U_K}{I_K} = \frac{U}{I_K}$$

Подставляя эти значения, получим расчётную формулу для индуктивной проводимости

$$b_L = \frac{I_K \sin \varphi_K}{U}$$

Ёмкостная проводимость конденсаторов

$$b_C = \frac{I_C}{U}$$

### 3. Задание на работу.

Собрать электрическую схему по рис.8.1. Включить цепь, установить заданное преподавателем напряжение. Изменяя величину ёмкости в цепи записать показания приборов для семи- девяти различных значений, в том числе и для резонанса токов. Допустив, что ёмкость в цепи без потерь, рассчитать ёмкостную проводимость ветви; по результатам измерений для момента резонанса найти активное сопротивление катушки индуктивности; вычислить полное сопротивление ветви с индуктивностью, затем рассчитать индуктивное сопротивление катушки. Рассчитать активную и индуктивную проводимости ветви с катушкой, найти активную и индуктивную составляющие тока для этой ветви, вычислить для всех рассчитанных значений косинус сдвига фаз между векторами тока и напряжения на входе:  $\cos \varphi = I_a / I$  По результатам эксперимента и расчётов построить резонансные кривые зависимостей  $I_L; I_C; I_A; I; \varphi$  в функции от ёмкостной проводимости  $B_C$ . построить векторные диаграммы токов для трёх различных режимов исследуемой цепи:

$$B_c < B_L; B_c = B_L; B_c > B_L$$

4. Домашняя подготовка к работе.

3.1. Изучить явления резонанс токов в электрических цепях.

3.2. Освоить расчеты активных, индуктивных, ёмкостных сопротивлений и проводимостей в цепях переменного тока, расчёты активной и индуктивной составляющих тока.

3.3. Научиться анализировать явления резонанса при помощи векторных диаграмм и резонансных кривых.

3.4. Уяснить принцип компенсации реактивной мощности при помощи конденсаторов.

### 5. Указания по выполнению работы в лаборатории.

Питание на стенд подаётся через автомат питания АП с индикацией о включении сигнальной лампы «Сеть». Сборка необходимых для экспериментальных исследований электрических схем осуществляется при помощи соединительной шинки из 20 штепсель-шнуров и 19 тумблеров. Установка заданного преподавателем напряжения, подаваемую на исследуемую схему, производится при помощи лабораторного автотрансформатора «Латр». Резонанс в исследуемых на стенде цепях получают изменением ёмкости при помощи переключателей С грубо и С точно, выведенных на лицевую панель, при этом коммутацией переключателя С точно осуществляется изменение величины ёмкости в пределах между двумя величинами ёмкости, устанавливаемыми соседними положениями переключателя С грубо.

Тумблер Т<sub>А</sub> служит для переключения пределов измерения амперметра А<sub>2</sub>. В связи с этим амперметр А<sub>2</sub> необходимо включать в цепь для измерения общего тока потребляемого цепью, т.к. в случае резонанса напряжений этот ток максимален, а в случае резонанса токов он минимален.

### 8. Требования к отчёту.

В отчёте должны быть отражены постановка задачи и исследованные электрические схемы. Результаты измерений представляются в виде таблиц. Ход расчетов должен быть

отражен как в виде подставленных в формулы численных значений. Резонансные кривые для каждого из резонансов целесообразно построить совмещёнными. Векторные диаграммы должны в масштабе соответствовать результатам измерений. Отчёт должен содержать аналитические выводы по результатам проведённых экспериментов и о практической значимости исследованных явлений.

Вопросы для самопроверки.

- 1) В какой электрической цепи может возникнуть резонанс токов?
- 2) При каком условии возникает резонанс токов?
- 3) Какие явления наблюдаются в электрической цепи при резонансе токов?
- 4) Как определить графически момент наступления резонанса токов?
- 5) Как построить векторную диаграмму для резонанса токов?
- 6) Как определить коэффициент мощности из векторной диаграммы?
- 7) Где используется явление резонанса токов?

## Лабораторная работа № 8

### Повышение коэффициента мощности

#### I. Цель работы.

- 1) Исследовать явление изменения коэффициента мощности при изменении ёмкости конденсаторов, подключаемых параллельно потребителям электрической энергии.
- 2) Определить ёмкость конденсаторов, при которой коэффициент мощности близок к единице.
- 3) Определить потери мощности в линии при изменении коэффициента мощности.
- 4) Определить изменение напряжения на зажимах потребителя при изменении коэффициента мощности.

#### II. Пояснения к работе:

Под компенсацией реактивной мощности понимается практическое применение резонанса токов.

Из известного выражения активной мощности следует, что ток

$$I = \frac{P}{U \cdot \cos \varphi}$$

Т.е. увеличение угла сдвига фаз  $\varphi$  при неизменной активной мощности ведёт к росту тока за счёт увеличения потребления реактивной мощности, а вместе с тем и к увеличению потерь в соединительных линиях электропередачи между источником энергии и приёмником.

Коэффициент мощности определяется по формуле:

$$\cos \varphi = \frac{P}{u \cdot I}$$

где  $P$  - мощность потребителя, Вт.

$U$  - напряжение на зажимах потребителя, В.

$I$  - ток линии, А.

При изменении  $\cos \varphi$  при постоянной мощности потребителя происходит изменения напряжения на зажимах потребителя и изменение потерь мощности в линии передачи. Это происходит, потому что при постоянной мощности потребителя, но при различных значениях его  $\cos \varphi$  в линии будет различный ток, величина которого определяется следующим выражением:

$$I = \frac{P_2}{U_2 \cdot \cos \varphi}$$

откуда видно, что с уменьшением  $\cos \varphi$  ток в линии возрастает. При этом увеличивается мощность, теряемая в линии передачи, которая равна

$$\Delta P = I^2 R_{\Lambda} = P_1 - P_2$$

где  $R_{\Lambda}$  - сопротивление проводов, Ом,

$P_1$  - мощность, потребляемая от источника (мощность в начале линии), Вт.

С уменьшением  $\cos \varphi$  будут увеличиваться потери напряжения в линии  $\Delta U$  и напряжение на зажимах потребителя будет уменьшаться, т.е.

$$U_2 = U_1 - \Delta U \qquad \Delta U = U_1 - U_2$$

где  $U_1$  - напряжение в начале линии, В.

В этой связи при расчётах за электроэнергию с промышленными предприятиями энергосбыт учитывает не только количество отпускаемой энергии, но и  $\operatorname{tg} \varphi$ , как наиболее удобный показатель, характеризующий потребление реактивной энергии. Так как большинство приёмников (двигатели, трансформаторы, дроссельная осветительная нагрузка и др.) потребляют из сети ток, отстающий по фазе от напряжения (активно-индуктивная нагрузка), то одним из средств повышения  $\cos \varphi$  служит включение конденсаторов параллельно потребителю (рис. 8.1.а).

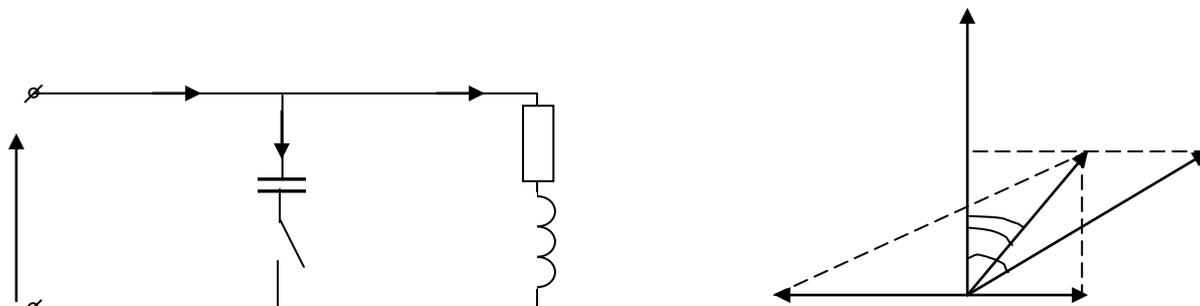


Рис.9.1.К изучению компенсации реактивной мощности  
а) электрическая схема; б) векторная диаграмма

До включения конденсатора (ключ  $S$  разомкнут) общий ток равен току в индуктивности нагрузки  $I_{нi}$  определяется в соответствии с (9) как

$$I = I_{нi} \frac{P}{U \cdot \cos \varphi_1}$$

где  $\varphi_1 = \operatorname{arctg} \frac{\omega L}{R}$

Для компенсации угла сдвига фаз до некоторого значения  $\varphi_2 < \varphi_1$  необходим конденсатор ёмкостью  $C$ , которую можно определить из векторной диаграммы для схемы с замкнутым ключом  $S$ . Из диаграммы (рис.9.1,б) следует, что

$$\operatorname{tg} \varphi_2 = \frac{I_{нp} - I_c}{I_{на}} = \frac{I_{нp}}{I_{на}} - \frac{I_c}{I_{на}} = \operatorname{tg} \varphi_1 - \frac{C \omega U}{P/U} = \operatorname{tg} \varphi_1 - C \frac{\omega U^2}{P}$$

Отсюда величина необходимой ёмкости

$$C = \frac{P}{\omega U^2} (\operatorname{tg} \varphi_1 - \operatorname{tg} \varphi_2)$$

Если требуется полная компенсация угла сдвига фаз ( $\varphi_2 = 0$ ), то

$$C = -\frac{P}{\omega U^2} \operatorname{tg} \varphi_1$$

В практике компенсация проводится до такого значения  $\varphi_2$ , когда срок окупаемости конденсаторной батареи за счёт экономии в оплате электроэнергии получается наименьшим.

В данной работе схема представляет собой линию передачи электрической энергии, потребителем которой является индуктивная катушка с сопротивлением  $Z_m$ . По характеру нагрузки катушка заменяет электрические двигатели, которые являются основными потребителями в промышленных сетях. Сопротивление линии передачи представлено катушкой со стальным сердечником, имеющей сопротивление  $Z_A$ . Из-за большого реактивного тока, потребляемого двигателями,  $\cos \varphi$  в промышленных сетях бывает низким и его повышают, включая конденсаторы параллельно двигателям, что делается и в

данной работе. Следует отметить, что по экономическим соображениям практически целесообразно иметь  $\cos \varphi = 0,9 - 0,95$ .

### III. Порядок выполнения работы:

1. Собрать схему (рис. 9.2)
2. Включить цепь и записать в таб. 9.1 показания приборов при отключенных конденсаторах ( $C=0$ ). С помощью переключателя П измерить мощность в линии.
3. Подключить конденсаторы и, изменяя их емкость произвести записи в таб. 8.1. Поддерживать напряжение в начале линии постоянным с помощью реостата  $R_{рег}$ . Измерения произвести несколько раз при различных значениях емкости конденсаторов. Первоначально ток в линии будет уменьшаться, а затем начнет увеличиваться. Емкость конденсаторов надо в начале изменять через 2 мкФ, а в области минимального тока через 1 мкФ, для того, чтобы более точно определить величину емкости, соответствующую минимальному току.
4. Определить минимальный ток. При минимальном токе линии  $\cos \varphi = 1$
5. Произвести необходимые вычисления. Построить графики  $I=F_1(C)$ ,  $\cos \varphi = F_2(C)$ ,  $\Delta P = F_1(\cos \varphi)$ ,  $U_2 = F_2(\cos \varphi)$ . При построении двух последних графиков в начале координат на горизонтальной оси откладывать не 0 а минимальное значение  $\cos \varphi$ , полученное при  $C = 0$
6. Построить векторные диаграммы.
7. Сделать выводы по работе:
  - а. Как влияет  $\cos \varphi$  на работу линии, т.е. как будут изменяться потери мощности и потери напряжения в линии (указать численные значения, полученные в работе);
  - б. Чему равно значение емкости, при котором коэффициент мощности равен единице.

### 4. Построение векторных диаграмм.

а) При отключённых конденсаторах ( $C=0$ )

Из точки 0 отложить вектор напряжения  $U_2$  вертикально вверх. вычислить активный ток катушки  $I_{к,р} = I_k \cdot \cos \varphi$  и реактивный ток катушки  $I_{к,р} = I_k \cdot \sin \varphi$ .

Активный ток отложит от точки 0 вертикально вверх, т.к. он совпадает по фазе с напряжением. Вектор реактивного тока отложить под углом  $90^\circ$  по ходу часовой стрелки, т.к. этот ток является индуктивным и отстает по фазе от напряжения на угол  $90^\circ$ . Геометрическая сумма этих токов равна току линии  $I$ , которая в данном случае равен току катушки.

Угол сдвига по фазе между током и напряжением будет  $\varphi_e$ . Рис.9.2.

б) При оптимальной ёмкости конденсаторов  $C=C_{опр.}$

Из точки 0 отложить вектор напряжения  $U_2$  и вектор тока  $I_k$  также, как и предыдущим случае. Затем отложить ток конденсаторов под углом  $90^\circ$  против часовой стрелки, т.к. емкостной ток опережает по фазе напряжение на угол  $90^\circ$ . Ток линии  $I$  равен геометрической сумме токов  $I_k$  и  $I_c$  (первый закон Киргофа для цепи переменного тока). Угол сдвига фаз  $\varphi$  между током напряжением будет равен 0 или будет близким к 0.

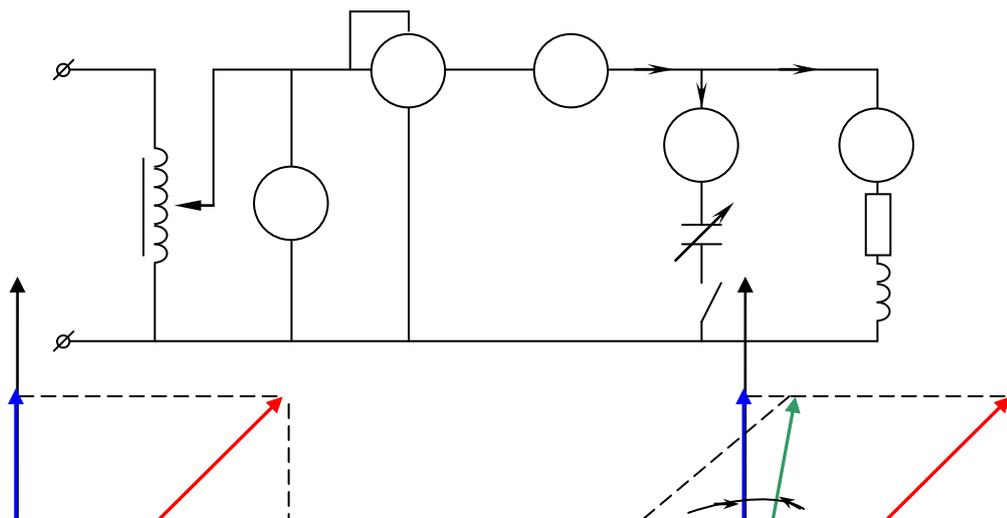


Таблица 9.1

Измерения							Вычисления						
№	$C$	$U$	$I_o$	$I_{ist}$	$I_L$	$P$	$\cos \varphi$	$tg \varphi$	$\varphi$	$Q_C$	$Q_L$	$Q$	$S$
	мкФ	В	А	А	А	Вт	-	-	диаг	Вар	Вар	Вар	Ва

### 5. Задание к работе

Собрать электрическую схему по рис. 8.1,а, оставив разомкнутым тумблер  $S$ . Сделать необходимые измерения, рассчитать угол  $\varphi_1$  между напряжением и током на индуктивной нагрузке (величину активного сопротивления нагрузки взять из расчёта по п.п.2.1). Рассчитать величину активной мощности, потребляемой цепью. Рассчитать величину ёмкости, необходимую для компенсации угла сдвига фаз до величины, заданной преподавателем. Выставить рассчитанную величину ёмкости на лабораторной установке, замкнуть тумблер  $S$  и произвести необходимые измерения для расчета нового угла  $\varphi_2$  скомпенсированной цепи. Сравнить результаты эксперимента с данными расчёта. По результатам измерений и расчётов построить векторную диаграмму, иллюстрирующую процесс компенсации. Найти  $tg \varphi$  цепи до компенсации и после компенсации.

**Домашняя подготовка к работе.**

- 3.1. Изучить явления резонанса напряжений и токов в электрических цепях.
- 3.2. Освоить расчеты активных, индуктивных, ёмкостных сопротивлений и проводимостей в цепях переменного тока, расчёты активной и индуктивной составляющих тока.
- 3.3. Научиться анализировать явления резонанса при помощи векторных диаграмм и резонансных кривых.
- 3.4. Уяснить принцип компенсации реактивной мощности при помощи конденсаторов.

### **1. Указания по выполнению работы в лаборатории.**

Питание на стенд подаётся через автомат питания АП с индикацией о включении сигнальной лампы «Сеть». Сборка необходимых для экспериментальных исследований электрических схем осуществляется при помощи соединительной шинки из 20 штепселей-шнуров и 19 тумблеров. Установка заданного преподавателем напряжения, подаваемую на исследуемую схему, производится при помощи лабораторного автотрансформатора «Латр». Резонанс в исследуемых на стенде цепях получают изменением ёмкости при помощи переключателей С грубо и С точно, выведенных на лицевую панель, при этом коммутацией переключателя С точно осуществляется изменение величины ёмкости в пределах между двумя величинами ёмкости, устанавливаемыми соседними положениями переключателя С грубо.

Тумблер Т<sub>А</sub> служит для переключения пределов измерения амперметра А<sub>2</sub>. В связи с этим амперметр А<sub>2</sub> необходимо включать в цепь для измерения общего тока потребляемого цепью, т.к. в случае резонанса напряжений этот ток максимален, а в случае резонанса токов он минимален.

### **5. Требования к отчёту.**

В отчёте должны быть отражены постановка задачи и исследованные электрические схемы. Результаты измерений представляются в виде таблиц. Ход расчетов должен быть отражен как в виде подставленных в формулы численных значений. Резонансные кривые для каждого из резонансов целесообразно построить совмещёнными. Векторные диаграммы должны в масштабе соответствовать результатам измерений. Отчёт должен содержать аналитические выводы по результатам проведённых экспериментов и о практической значимости исследованных явлений.

### **2. Вопросы для самопроверки.**

1. Почему коэффициент мощности является важным экономическим показателем?
2. Может ли коэффициент мощности в промышленных сетях быть равным единице?
3. Как можно повысить коэффициент мощности?
4. Как определить мощность конденсаторов, при которой коэффициент мощности равен единице?
5. Формулы добротности контура и волновых сопротивлений и проводимости цепи?
6. Зачем нужно компенсировать реактивную мощность?
7. Как рассчитать ёмкость компенсационных конденсаторов?
8. Изобразить векторную диаграмму цепи с активно- индуктивной нагрузкой.
9. Почему при расчётах предприятий за электроэнергию учитывают  $\operatorname{tg}\varphi$  ?

## Лабораторная работа № 9

### Исследование цепи трехфазного тока, соединенного в “звезду”

#### 1. Цель работы.

- Изучить работу трёхфазной цепи при включении приёмников энергии звездой в различных режимах:
  - для равномерной активной нагрузки,
  - для неравномерной активной нагрузки,
  - при обрыве нулевого провода для случая неравномерной активной нагрузки.
- Научиться измерять фазные и линейные напряжения и практически проверить соответствия между ними.

#### 2. Пояснения к работе.

Соединением звездой называется такое, когда все концы фаз приёмников энергии соединены в одну точку, называемую нейтральной или нулевой точкой.

Фазными напряжениями называются напряжения между началами и концами фаз генератора или приёмника, или напряжения между каждым из линейных проводов и нулевым проводом.

Обозначение:  $U_A, U_B, U_C$  или  $U_\phi$

Линейными напряжениями называются напряжения между линейными проводами или началами фаз.

Обозначение:  $U_{AB}, U_{BC}, U_{CA}$  или  $U_L$

Линейными токами называются токи, проходящие по линейным проводам.

Обозначение:  $I_A, I_B, I_C$  или  $I_L$

Фазными токами называют токи, проходящие по каждой фазе приёмников или генераторов.

Обозначение:  $I_A, I_B, I_C$  или  $I_\phi$

Симметричной системой ЭДС, напряжений или токов называется такая система, в которой ЭДС, напряжения или токи всех фаз равны по величине и сдвинуты по фазе друг относительно друга на  $120^\circ$ .

Равномерной нагрузкой называется такой режим работы трёхфазной цепи, когда сопротивления приёмников энергии во всех фазах одинаковы.

В данном случае в качестве приёмников энергии в каждую фазу включается ламповый и проволочный реостаты, т.е. активная нагрузка.

При соединении звездой линейные и фазные токи равны:

$$I_L = I_\phi$$

При активной нагрузке ток и напряжение совпадают по фазе. Поэтому векторы  $\vec{I}_A$  и  $\vec{U}_\phi$  совпадают по направлению.

При равномерной нагрузке трёх фаз, соединённых звездой, фазные токи

$$I_A = I_B = I_C$$

а также фазные напряжения

$$U_A = U_B = U_C$$

сдвинуты по фазе друг относительно друга на  $120^\circ$ .

Линейные напряжения по величине в  $\sqrt{3}$  раз больше фазных, т.е.  $U_{Л} = \sqrt{3} U_{Ф}$  и опережают фазные на углы  $30^\circ$ .

Линейные и фазные напряжения при соединении звездой связаны следующими соотношениями:

$$\bar{U}_{AB} = \bar{U}_A - \bar{U}_B \quad \bar{U}_{BC} = \bar{U}_B - \bar{U}_C \quad \bar{U}_{CA} = \bar{U}_C - \bar{U}_A$$

для равномерной нагрузки имеет место равенство:

$$\bar{I}_A + \bar{I}_B + \bar{I}_C = \bar{I}_0 = 0$$

При наличии нулевого провода и неравномерной нагрузке фаз по нулевому проводу будет проходить ток  $I_A \neq 0$ , а напряжения на фазах приёмников остаются неизменными.

Если же произойдёт обрыв нулевого провода, то фазные токи при неравномерной нагрузке фаз изменяется и установится таким, что – бы их сумма была равна нулю. Вследствие этого напряжения на отдельных фазах будут различными – на наиболее нагруженной фазе с меньшим сопротивлением напряжение уменьшится, а на других фазах увеличится по сравнению с номинальным значением фазного напряжения.

### 3.Задание на работу.

Установить соотношение между линейными и фазными напряжениями источника при соединениях в звезду

1. Собрать электрические схемы по рис.10,1, предварительно замерив напряжения каждой фазы. Произвести замер линейных напряжений в схемах.

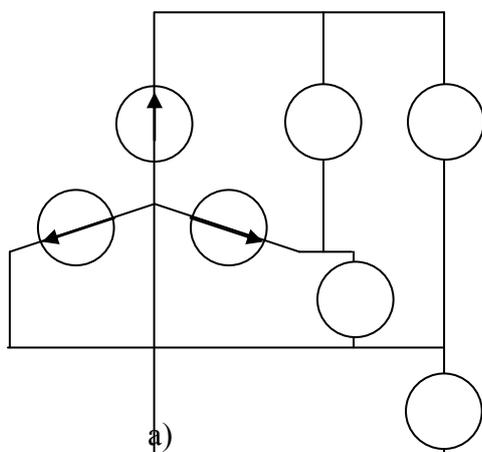
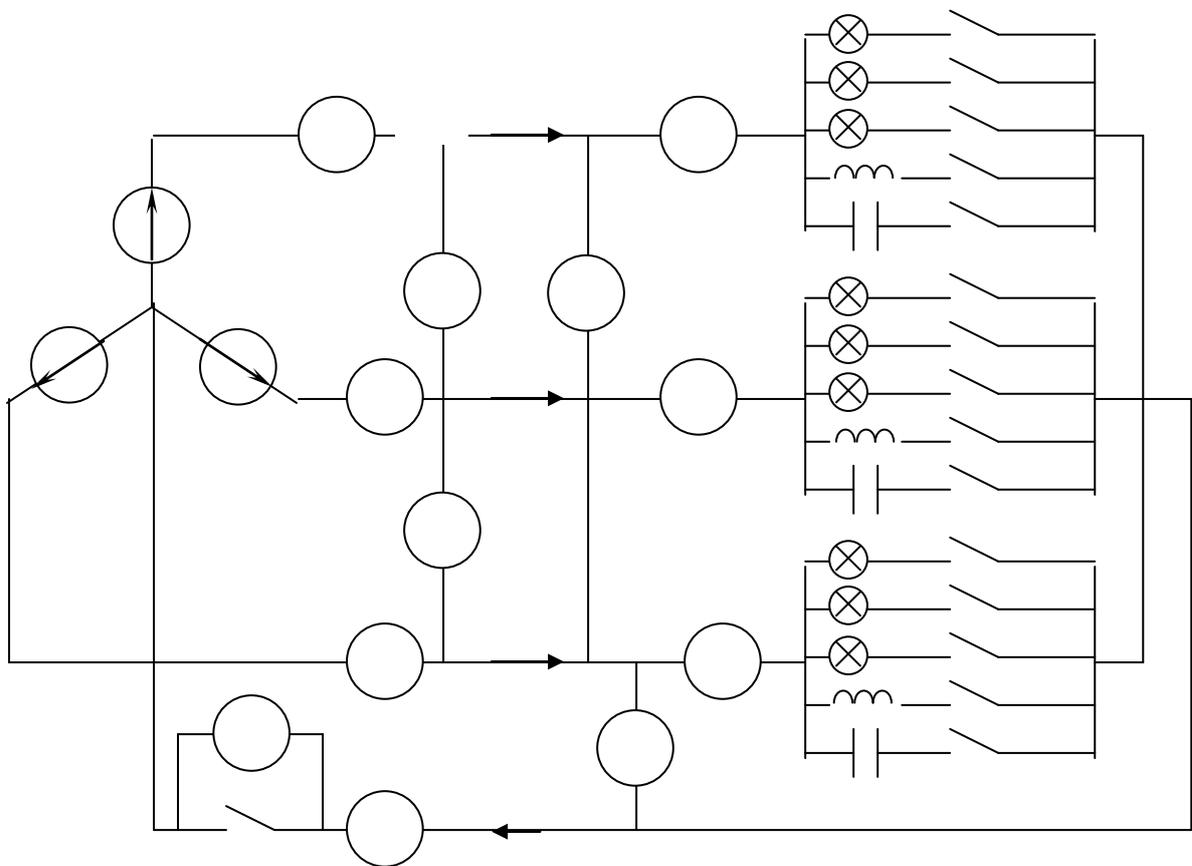


Рис.10.1.Схемы соединения источников



2. Найти соотношение фазных и линейных напряжений в исследованных схемах, построить векторные диаграммы.
3. Исследовать трёхфазную цепь при соединении нагрузки в звезду.
4. Собрать электрическую цепь по рис. 10.2.
5. Установить симметричную нагрузку и измерить силу токов и напряжения в цепи. Разомкнуть нейтральный провод, убедиться, что это не вносит никаких изменений в работу цепи.
6. Выяснить как при симметричной нагрузке нейтральный провод влияет на токи и напряжения при обрыве линейного провода в одной из фаз.
7. При одинаковых сопротивлениях двух фаз исследовать влияние изменения сопротивления третьей фазы при замкнутом и разомкнутом нейтральном проводе.
8. По результатам экспериментов рассчитать отношение линейных напряжений на нагрузке к фазным, рассчитать активную мощность каждой фазы и всего потребителя. Построить топографические диаграммы токов и напряжений.
9. Результаты всех измерений занести в таблицу 10.1.
10. Для всех случаев нагрузки построить векторные диаграммы линейных и фазных напряжений и токов и произвести вычисления величин, указанных в таблице 10.1.
11. Сделать выводы по выполненной работе:

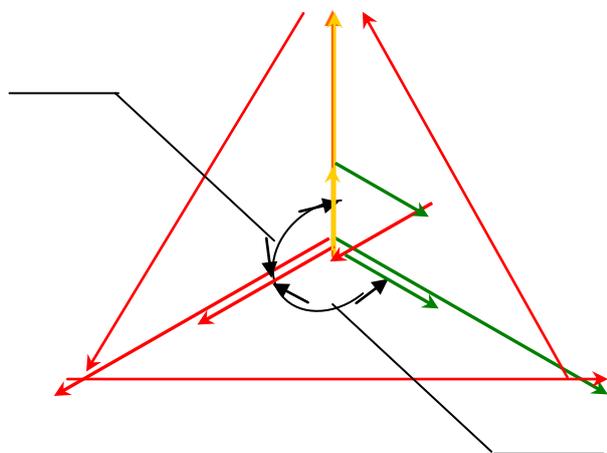
а) каково соотношение фазных и линейных напряжений при соединении приёмников энергии звездой,

б) каково влияние нулевого провода при соединении звездой в случае неравномерной нагрузки.

#### 4. Построение векторных диаграмм.

а) равномерная нагрузка (рис.10.3)

От произвольной точки О отложить векторы  $U_A, U_B, U_C$  под углом  $120^\circ$  друг относительно друга. Получаем звезду векторов фазных напряжений. Соединив концы векторов фазных напряжений, получим треугольник векторов линейных напряжений составленный векторами  $U_{AB}, U_{BC}, U_{CA}$

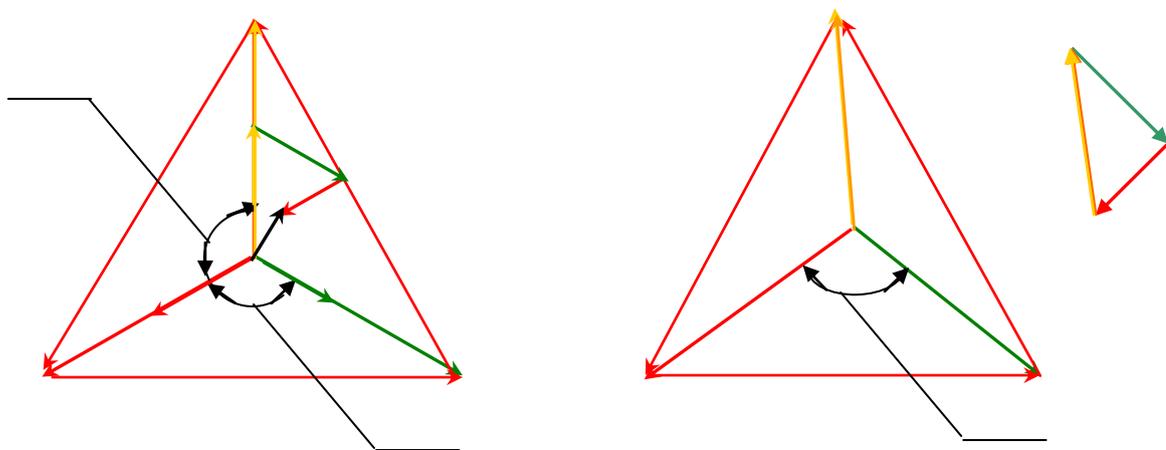


Для построения векторной диаграммы токов отложить от той же точки векторы  $I_A, I_B, I_C$  по направлению векторов фазных напряжений. Определить геометрическую сумму токов  $\bar{I}_A + \bar{I}_B + \bar{I}_C = \bar{I}_0 = 0$

б) Неравномерная нагрузка (рис.10.4)

Построение векторной диаграммы для этого случая производится так же как и для равномерной нагрузки. Но теперь  $\bar{I}_A + \bar{I}_B + \bar{I}_C = \bar{I}_0 \neq 0$

Ток нулевого провода определить графически и сравнить со значением, полученным при измерении.



в) обрыв нулевого провода при неравномерной нагрузке (Рис.10.5).

В этом случае угол сдвига фаз между фазными напряжениями не равен  $120^\circ$ , а геометрическая сумма токов  $\bar{I}_A + \bar{I}_B + \bar{I}_C = 0$  и следовательно, можно построить

треугольник токов по трём точкам методом засечек. Для построения векторной диаграммы напряжений от произвольной точки  $O$  отложить векторы фазных напряжений  $U_A, U_B, U_C$  параллельно векторам токов  $I_A, I_B, I_C$ . Соединив концы векторов фазных напряжений, получим треугольник векторов линейных напряжений, который должен быть таким же, как и в первых двух случаях.

#### 5. Домашняя подготовка к работе.

Построить теоретический материал по учебнику 6.3-6.9. или 7.1;7.2.

Сделать вывод о преимуществах трёхфазных систем.

Разобраться с расчетами трёхфазных цепей символическим методом.

Научиться строить векторные и топографические диаграммы трёхфазных цепей.

#### 6. Указания к выполнению работы в лаборатории.

Питание на стенд подаётся через автомат питания АП с индикацией о включении лампой «Сеть». Включение ЭДС источников производится с помощью тумблеров  $E_1, E_2, E_3$ . Индикация о включённых источниках производится соответствующими сигнальными лампами.

Линии связи представлены клеммами.

Размыкание нейтрального провода производится тумблером  $T_N$ .

Нагрузка в каждой из фаз может через соответствующие тумблера  $T_4-T_{21}$  набираться в виде  $R, L, C$  элементов, при этом активные сопротивления могут варьироваться количеством включённых в цепь ламп накаливания.

Все измерения производятся с помощью пяти вольтметров и семи амперметров, смонтированных на вертикальной панели стенда и включённых в соответствии с мнемосхемой.

Необходимые электрические соединения при сборке электрических схем производятся с помощью штепсельных штырьков с проводниками и гнезд на мнемосхеме.

#### 7. Требования к отчёту.

Обязательно представление в отчёте всех исследованных электрических схем.

Результаты опытов необходимо представить в виде таблиц и векторных диаграмм.

По лабораторной работе сделать заключение относительно:

1. соотношение между линейными и фазными напряжениями на источнике и нагрузке, при этом для нагрузки сделать вывод о влиянии её несимметрии.
2. соотношений между фазными и линейными токами нагрузки;
3. целесообразности нейтрального провода при обрыве линейного провода;
4. роли нейтрального провода при обрыве линейного провода;
5. причин неполного совпадения опытных результатов с теоретическими;
6. о практической ценности сопровождения аналитических расчетов векторными диаграммами.

#### 7.

Прим.	С нейтральными проводами			без нейтральными проводами		
	$I_N$ - из вектор диаграмма					
	$P_C$	Вт				
	$P_B$	Вт				
	$P_A$	Вт				

	$\frac{U_{CA}}{U_C}$							
	$\frac{U_{BC}}{U_B}$							
	$\frac{U_{AB}}{U_A}$							
Измерения	$U_{CA}$	В						
	$U_{BC}$	В						
	$U_{AB}$	В						
	$U_C$	В						
	$U_B$	В						
	$U_A$	В						
	$I_N$	А						
	$I_C$	А						
	$I_B$	А						
	$I_A$	А						
Характер нагрузки		Активная	Активная - индуктивная	Активная - ёмкостная	Активная	Активная - индуктивная	Активная - ёмкостная	

## 6. Вопросы для самопроверки.

1. Какое соединение называется звездой?
2. Изобразить простейшие способы соединения трёхфазного источника с трёхфазной нагрузкой.
3. Какие соотношения между линейными и фазными токами и напряжениями при соединениях нагрузки в звезду?
4. Какого соотношение между токами в линейных и нейтральном проводах?
5. Какую роль выполняет нейтральный провод при несимметричной нагрузке?
6. Как можно рассчитать напряжение на нейтрали?
7. Как рассчитываются мощности?
8. От чего зависит угол сдвига между фазными напряжением и током?
9. Изобразить векторную диаграмму напряжений и токов для симметричных нагрузок, соединённых в звезду .

## Лабораторная работа № 10

### Исследование цепи трехфазного тока, соединенного треугольником

#### 1. Цель работы.

1. Изучить работу трёхфазной цепи при включении приёмников энергии треугольником в различных режимах:

- а) для равномерной активной нагрузки,
- б) для неравномерной активной нагрузки,
- в) при отключении одной фазы приёмников,
- г) при отключении двух фаз приёмников,
- д) при обрыве линейного провода.

2. Научиться измерять фазные и линейные токи и практически проверить соотношение между ними.

#### 2. Пояснения к работе.

Соединением треугольником называется такое, когда конец первой фазы приёмника энергии соединяется с началом второй фазы, конец второй фазы – с началом третьей и конец третьей – с началом первой фазы, т.е. приёмники энергии включаются на линейные напряжения без нулевого провода.

При соединении треугольником линейные напряжения равны фазным, т.е.

$$U_L = U_\Phi$$

При равномерной нагрузке фазные и симметричной системе напряжений линейные токи в  $\sqrt{3}$  раз больше фазных, т.е.

$$I_L = \sqrt{3} I_\Phi$$

При равномерной нагрузке фазные и линейные токи сдвинуты друг относительно друга на  $120^\circ$ , причём линейные токи отстают по фазе от фазных токов на  $30^\circ$ .

При неравномерной нагрузке соотношение между фазными и линейными токами изменяется, т.е.

$$I_L \neq \sqrt{3} I_\Phi .$$

а линейные токи не будут иметь сдвига по фазе друг относительно друга в  $120^\circ$ .

При отключении одной ил и двух фаз приёмников энергии соответствующие фазные токи будут равны нулю.

При обрыве линейного провода схема треугольника превращается в одно фазную разветвлённую цепь. В такой цепи две фазы приёмников энергии, которые были связаны с оборвавшимся проводом, оказываются соединёнными последовательно и включенными вместе с третьей фазой параллельно на линейное напряжение между оставшимися в работе проводами.

Соотношение между фазными и линейными токами на основании первого закона Кирхгофа определяется следующими векторными выражениями:

$$\vec{I}_A = \vec{I}_{AB} - \vec{I}_{CA} \qquad \vec{I}_B = \vec{I}_{AB} - \vec{I}_{BC} \qquad \vec{I}_C = \vec{I}_{CA} - \vec{I}_{BC}$$

В данной работе в качестве приёмников энергии в каждую фазу включаются ламповый и проволочный реостаты, т.е. активная нагрузка.

### 3. Задание на работу.

1. Установить соотношение между линейными и фазными напряжениями источника при соединениях в треугольник.

2. Собрать электрические схемы по рис.11.1, предварительно замерив напряжения каждой фазы. Произвести замер линейных напряжений в схемах.

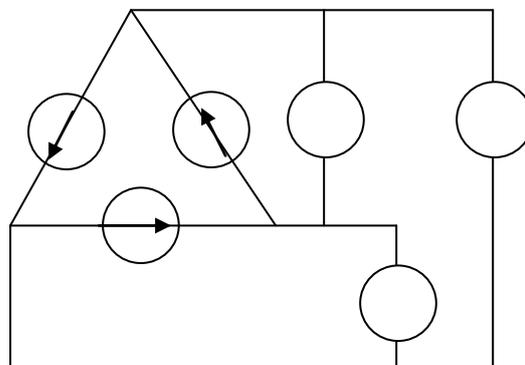


Рис.11.1.Схемы соединения источников

Найти соотношение фазных и линейных напряжений в исследованных схемах, построить векторные диаграммы.

3. Исследовать трёхфазную цепь при соединении нагрузки в треугольник.
  4. Собрать электрическую схему по рис.11.2.
  5. Установить симметричную нагрузку и измерить токи и напряжения.
  8. При одинаковых сопротивлениях нагрузки в двух фазах исследовать влияние изменения сопротивления в третьей фазе на работу цепи.
  8. Отключить одну фазу приёмников энергии (снять перемычку в фазе). Измерить те же величины при оставшихся в работе приёмниках энергии.
  9. Отключить две фазы приёмников энергии (снять перемычку в двух фазах). Измерить те же величины при оставшихся в работе одной фазе.
  10. Произвести обрыв линейного провода (снять перемычку на линейном проводе). Измерить те же величины при оставшихся в работе цепи по двум проводам. Выяснить влияние обрыва линейного провода в одной из фаз.
  11. По результатам опытов рассчитать отношение линейного тока к фазному.
  12. Рассчитать мощность каждой фазы, всего потребителя.
  13. Построить векторные диаграммы напряжений и токов нагрузки.
  14. Установить неравномерную нагрузку путём включения разного количества ламп и изменения положения движков реостатов. Измерить те же величины .
  15. Результаты всех измерений занести в таблицу 11.1.
  16. Для всех случаев нагрузки построить векторные диаграммы и произвести вычисления величин, указанных в таблице 11.1.
9. Сделать выводы по работе:
- а) Каково соотношение между фазными и линейными токами при соединении треугольником при равномерной и неравномерной нагрузке,
  - б) Каковы будут напряжения на фазах приёмников, если перегорит предохранитель в одном из линейных проводов или произойдёт обрыв линейного провода.

#### 4. Построение векторных диаграмм.

а) Равномерная нагрузка (Рис.11.2)

Согласно второму закону Кирхгофа геометрическая сумма напряжений в контуре треугольника равна нулю, т.к. в контуре треугольника нет источника э.д.с. :

$$\bar{U}_A + \bar{U}_B + \bar{U}_C = 0$$

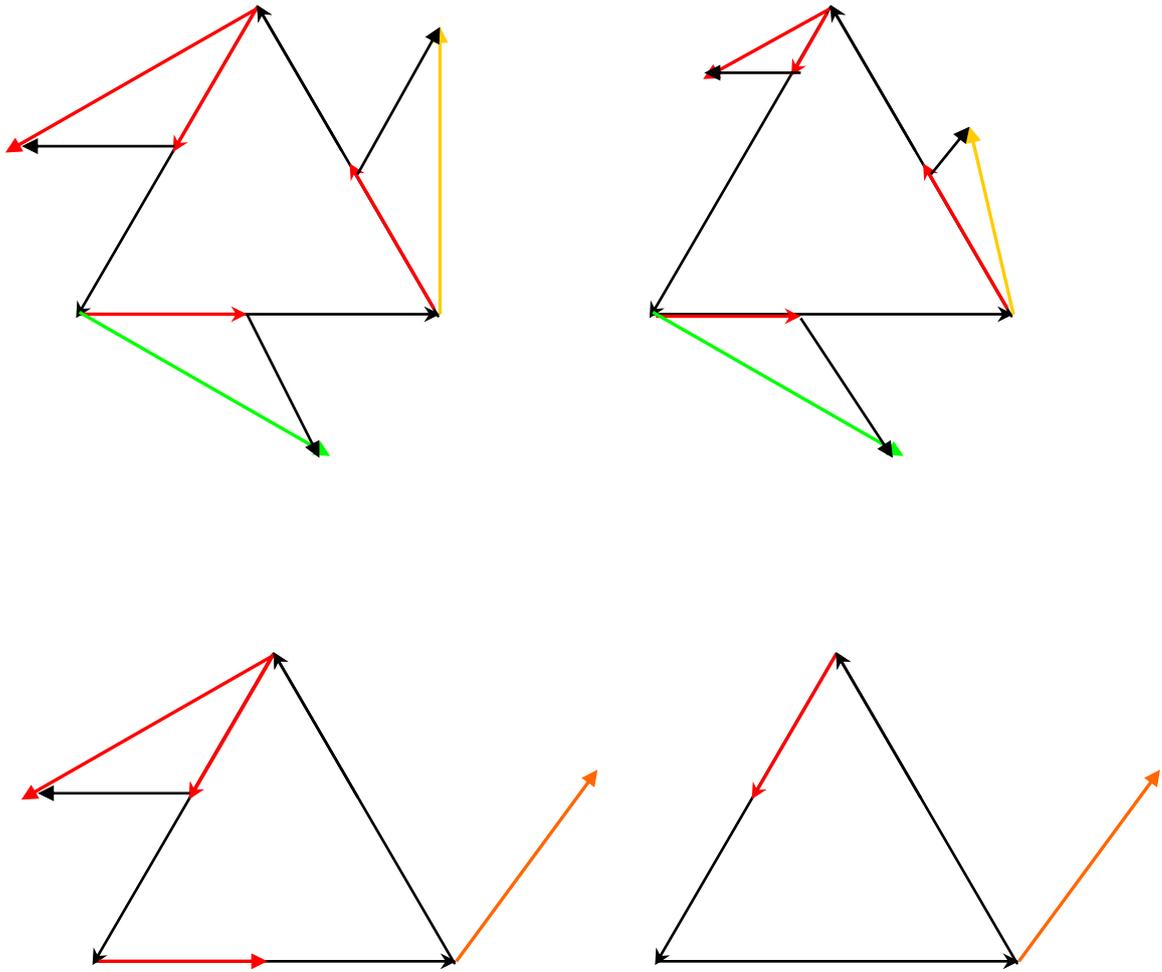
Следовательно, векторы фазных напряжений всегда образуют замкнутый равносторонний треугольник, который и строится по данным опыта. В этом треугольнике  $U_A = U_{AB}$

$$U_B = U_{BC}$$

$$U_C = U_{CA}$$

Затем необходимо отложить векторы фазных токов  $I_{AB} = I_{BC} = I_{CA}$  от начал соответствующих векторов фазных напряжений. Векторы этих токов совпадают по направлению с векторами фазных напряжений, т.к. нагрузка активная.

Вычисление	$S$	ВА					
	$Q$	ВА Р					
	$P$	Вт					
	$\frac{I_C}{I_{CA}}$	-					
	$\frac{I_B}{I_{BC}}$	-					
	$\frac{I_A}{I_{AB}}$	-					
Измерения	$U_{CA}$	В					
	$U_{BC}$	В					
	$U_{AB}$	В					
	$I_C$	А					
	$I_B$	А					
	$I_A$	А					
	$I_{CA}$	А					
	$I_{BC}$	А					
	$I_{AB}$	А					
ХАРАКТЕР НАГРУЗКИ							
СИММЕТРИЧНАЯ							
НЕСИММЕТРИЧ- НАЯ							
ОБРИВ ОДНУ ФАЗ							
ОБРИВ ДВУХ ФАЗ							
ОБРИВ ЛИНЕЙНОГО ПРОВОД							



После этого построить векторы линейных токов, исходя из приведённых выше в пояснениях к данной работе геометрических соотношений, составленных на основании первого закона Кирхгофа, которые для удобства построения диаграммы можно переписать следующим образом:

$$\bar{I}_A = \bar{I}_{AB} + (-\bar{I}_{CA}) \quad \bar{I}_B = \bar{I}_{BC} + (-\bar{I}_{AB}) \quad \bar{I}_C = \bar{I}_{BC} + (-\bar{I}_{BC})$$

Таким образом, построение векторов линейных токов сводится к геометрическому сложению векторов фазных токов. При этом очевидно, что стоящие в этих выражениях со знаком минус вектора фазных токов по величине равны соответствующим положительным фазным токам, а по направлению прямо противоположны им.

б) Неравномерная нагрузка (рис.11.3).

Векторная диаграмма для этого случая строится так же, как и для случая равномерной нагрузки, только величины векторов фазных и линейных токов будут различны.

в) Отключение одной фазы (рис.11.4).

При отключении одной фазы, например, фазы АВ ток в этой фазе  $I_{AB}=0$

Построение векторной диаграммы производится так же, как и в предыдущих случаях, но только векторы линейных токов определяются из соотношений

$$\bar{I}_A = 0 + (-\bar{I}_{CA}) = -\bar{I}_{CA} \quad \bar{I}_B = \bar{I}_{BC} + 0 = \bar{I}_{BC} \quad \bar{I}_C = \bar{I}_{CA} + (-\bar{I}_{BC})$$

г) Отключение двух фаз (Рис.11.5)

При отключении двух фаз, например, фазы АВ фазы ВС, токи этих фаз

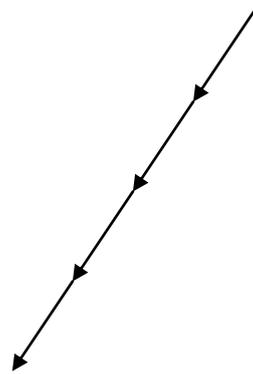
$$I_{AB} = 0 \quad I_{BC} = 0$$

А векторы линейных токов определяются из следующих выражений

$$\bar{I}_A = 0 + (-\bar{I}_{CA}) = -\bar{I}_{CA} \quad \bar{I}_B = 0 \quad \bar{I}_C = \bar{I}_{CA}$$

д) Обрыв линейного провода (рис.11.6).

Рассмотрим обрыв линейного провода В.



$$I_B = 0$$

Из выражений, определяющих соотношения между фазными и линейными токами, приведённых выше в пояснениях к данной работе, можно показать, что

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

Векторы токов  $\bar{I}_{AB} = \bar{I}_{BC}$ ,  $\bar{I}_{CA}$ ,  $\bar{I}_A = -\bar{I}_C$  на векторной диаграмме отложить по направлению вектора напряжения  $U_{CA}$ , т.к. нагрузка активная.

В этом случае в трёх фазной цепи сохранится только одно линейное напряжение между оставшимися в работе проводами, т.е.  $U_{CA}$ , которое надо отложить на векторной диаграмме так же, как оно откладывалось на всех предыдущих диаграммах. Этот случай аналогичен рассмотренному выше отключению двух фаз (п.г.) с той разницей, что здесь между проводами будут включены две параллельные ветви (фазы АВ и ВС, соединённые последовательно и фаза СА). Как и при отключении двух фаз, при обрыве линейного провода получаем одно фазную цепь переменного тока. При обрыве линейного провода В ток в нём будет равен нулю, т.е.

5. Домашняя подготовка к работе.

Построить теоретический материал по учебнику 6.3-6.9. или 7.1;7.2.

Сделать вывод о преимуществах трёхфазных систем.

Разобраться с расчетами трёхфазных цепей символическим методом.

Научиться строить векторные и топографические диаграммы трёхфазных цепей.

6. Указания к выполнению работы в лаборатории.

Питание на стенд подаётся через автомат питания АП с индикацией о включении лампой «Сеть». Включение ЭДС источников производится с помощью тумблеров  $E_1$ ,  $E_2$ ,  $E_3$ . Индикация о включённых источниках производится соответствующими сигнальными лампами.

Линии связи представлены клеммами.

Размыкание нейтрального провода производится тумблером  $T_N$ .

Нагрузка в каждой из фаз может через соответствующие тумблера  $T_4$ - $T_{21}$  набираться в виде R, L, C элементов, при этом активные сопротивления могут варьироваться количеством включённых в цепь ламп накаливания.

Все измерения производятся с помощью пяти вольтметров и семи амперметров, смонтированных на вертикальной панели стенда и включённых в соответствии с мнемосхемой.

Необходимые электрические соединения при сборке электрических схем производятся с помощью штепсельных штырьков с проводниками и гнезд на мнемосхеме.

7. Требования к отчёту.

Обязательно представление в отчёте всех исследованных электрических схем.

Результаты опытов необходимо представить в виде таблиц и векторных диаграмм.

По лабораторной работе сделать заключение относительно:

9. соотношение между линейными и фазными напряжениями на источнике и нагрузке, при этом для нагрузки сделать вывод о влиянии её несимметрии.

10. соотношений между фазными и линейными токами нагрузки;

11. целесообразности нейтрального провода при обрыве линейного провода;

12. роли нейтрального провода при обрыве линейного провода;

13. причин неполного совпадения опытных результатов с теоретическими;

14. о практической ценности сопровождения аналитических расчетов векторными диаграммами.

9. Вопросы для самопроверки.

1. Что называется соединением в треугольник?

2. Каковы соотношения между линейными и фазными напряжениями, а также между линейными и фазными токами при соединении треугольником и равномерной нагрузке фаз?

3. Как на векторной диаграмме определяются линейные токи?.

4. Какие соотношения между линейными и фазными токами и напряжениями при соединениях нагрузки в треугольник?

6. Как рассчитываются мощности?

7. От чего зависит угол сдвига между фазными напряжением и током?

8. Изобразить векторную диаграмму напряжений и токов для симметричных нагрузок, соединённых в треугольник.

9. Как влияет обрыв линейного провода на работу трёхфазного потребителя, соединённого в треугольник?