

Федеральное агентство по образованию

Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования

**САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫХ И ПИЩЕВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**



Кафедра электротехники и электроники

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЦЕПИ

Методические указания
к лабораторным работам на стенде “Электро–1”
для студентов всех специальностей

Санкт-Петербург
2008

УДК 621.3

Афанасьева Н.А., Ерофеева И.А. Электрические цепи: Метод. указания к лабораторным работам на стенде “Электро–1” для студентов всех специальностей / Под ред. Л.П. Булата. – СПб.: СПбГУНиПТ, 2008. – 50 с.

Методические указания составлены для семи лабораторных работ, выполнение которых предусмотрено программой и охватывает весь материал по разделу “Электрические цепи”.

Описание каждой лабораторной работы содержит цель, схему лабораторной установки, программу работы, порядок ее выполнения, содержание отчета и контрольные вопросы.

.

Рецензент

Канд. техн. наук, доц. Ю.А. Романов

Рекомендованы к изданию редакционно-издательским советом университета

© Санкт-Петербургский государственный
университет низкотемпературных
и пищевых технологий, 2008

ВВЕДЕНИЕ

В методические указания включены следующие лабораторные работы по курсу "Электротехника и электроника", выполнение которых предусматривается на стенде "Электро-1" в лаборатории электрических цепей.

1. Определение параметров R , L и C -элементов.
2. Исследование неразветвленной электрической цепи синусоидального тока. Резонанс напряжений.
3. Исследование разветвленной электрической цепи синусоидального тока. Резонанс токов.
4. Исследование трехфазной цепи при соединении приемников звездой.
5. Исследование трехфазной цепи при соединении приемников треугольником.
6. Измерение активной мощности в трёхфазной цепи.
7. Измерение мощности, коэффициента мощности и энергии в цепях однофазного синусоидального тока.

Методические указания содержат изложение цели лабораторных работ; схему лабораторной установки; программу работы; порядок ее выполнения; план отчета; контрольные вопросы; список рекомендованной литературы. Описания лабораторных работ являются основными методическими документами при проведении опытов. На вводном занятии студенты должны изучить организационно-методические правила и вопросы техники безопасности и только после сдачи зачета по технике безопасности могут быть допущены к работе в лаборатории. При выполнении лабораторных работ на стенде типа "Электро-1" необходимо предварительно изучить его устройство (рис. 1).

В состав стенда входит каркас, в котором размещаются блоки стенда; стол для крепления каркаса; индуктивный и емкостной блоки; переносные электроизмерительные приборы.

В каркасе стенда находятся следующие блоки: блок питания; комплексный блок; блок резисторов; блок измерительных приборов.

Основные правила техники безопасности при работе на стенде "Электро-1"

1. К работе на стенде допускаются люди, прошедшие инструктаж и получившие зачет по технике безопасности для электроустановок до 1000 В.

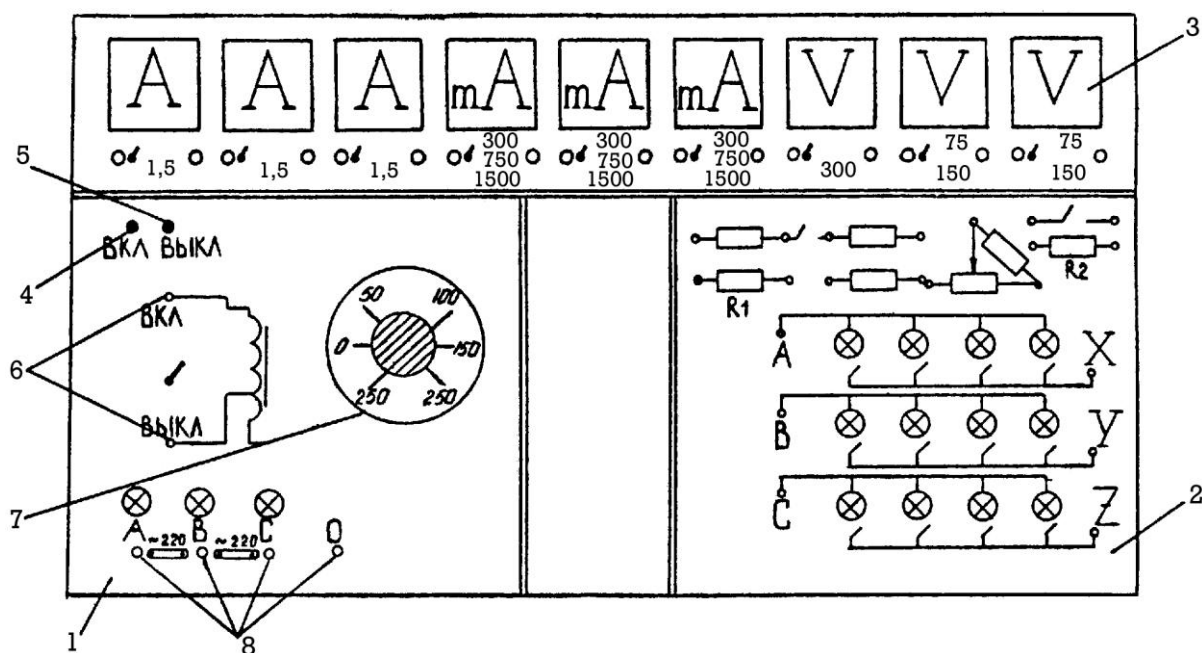


Рис. 1. Стенд типа "Электро-1":

1 – блок питания; 2 – блок ламповых реостатов; 3 – блок измерительных приборов; 4 – кнопка включения питания стенда; 5 – кнопка выключения питания стенда; 6 – клеммы подключения питания на лабораторный автотрансформатор (ЛАТР); 7 – переключатель регулировки ЛАТР; 8 – клеммы подключения питания трехфазным переменным током

2. Инструктаж по технике безопасности проводит преподаватель, ведущий лабораторные занятия в группе, перед каждой лабораторной работой.

3. Напряжение, подводимое к стенду, не должно превышать 220 В. При включении стенда загораются лампы на стенном автомате и на самом стенде.

4. Проверку электрической цепи лабораторной установки перед включением стенда под напряжение проводит инженер. Разрешение на включение стенда под напряжение и проведение опытов дает преподаватель, ведущий занятия.

5. При проведении опытов не допускается превышение номинальных режимов оборудования стенда и переключение проводов в схемах под напряжением.

6. Чтобы не превышать номинальные режимы используемых измерительных приборов, необходимо внимательно ознакомиться с рекомендациями, данными в подрисуночных подписях каждой электрической схемы, и составить таблицу с перечнем тех приборов, которые использовались при проведении конкретной лабораторной работы. Эта таблица должна включать следующие пункты:

- порядковый номер прибора;
- наименование прибора;
- система прибора;
- класс точности прибора;
- предел измерения, на котором производился опыт;
- постоянная прибора (цена деления). Эта таблица вносится в отчет каждой лабораторной работы.

7. После выполнения опытов с разрешения преподавателя следует снять напряжение со стенда, разобрать цепь, привести рабочее место в порядок и предъявить лаборанту.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1

Определение параметров R , L и C -элементов

Цель работы

1. Приобрести практические навыки при работе на стенде “Электро–1”.
2. Исследовать электрическое состояние линейной цепи синусоидального переменного тока при различных потребителях электрической энергии.
3. Научиться опытным путем определять основные электрические параметры элементов, производить построение вольтамперных характеристик.
4. Экспериментально подтвердить теоретические знания, полученные на лекциях и самостоятельных занятиях по электрическим цепям однофазного переменного тока.

Схема лабораторной установки

Лабораторная установка включает в себя контрольно-измерительные приборы, коммутационно-защитные аппараты и потребители электрической энергии.

На рис. 2 приведена электрическая схема лабораторной установки для определения основных электрических параметров R , L и C -элементов.

Питание установки осуществляется от сети переменного тока через регулирующий автотрансформатор ЛАТР.

Программа работы

1. Изучить устройство стенда “Электро-1”.
2. Снять вольтамперные характеристики резистора, катушки индуктивности и конденсатора.
3. Построить вольтамперные характеристики.
4. Построить векторные диаграммы элементов R , L , C .
5. Сделать выводы по работе, сопоставить полученные результаты эксперимента с расчетными данными.

Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с общей компоновкой лабораторного стенда “Электро–1”.
2. Ознакомиться с электрической схемой, приборами, аппаратами, элементами экспериментальной установки для проведения опыта и записать их технические характеристики и данные в отчет.
3. Собрать электрическую схему экспериментальной установки (рис. 2) и предъявить лаборанту для проверки.
4. С разрешения преподавателя провести исследования резистора, катушки индуктивности, конденсатора.

Исследование резистора

1. При включенном питании стенда собрать схему (см. рис. 2) и подключить исследуемый резистор (R_1).

Приборы, используемые при испытании резистора: PV – вольтметр на 150 В; PW – ваттметр на 150 В, 1 А; PA – амперметр на 1500 мА.

2. Нажать кнопку “ВКЛ” на передней панели стенда. Установить нулевое напряжение U на выходе ЛАТР. Поставить выключатель ЛАТР в положение “ВКЛ”.

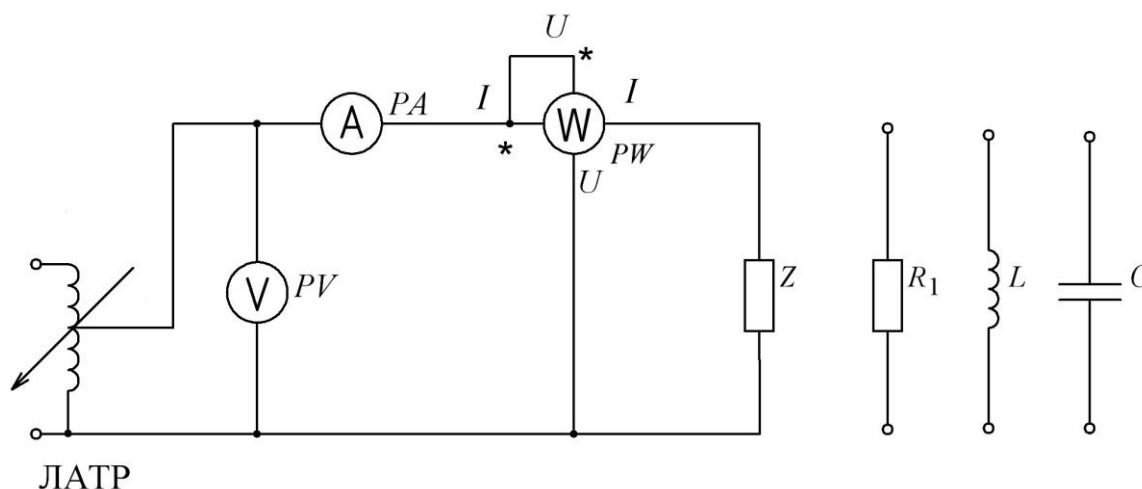


Рис. 2. Электрическая схема для определения параметров R , L и C :
ЛАТР – лабораторный автотрансформатор; PV – вольтметр на 150–300 В;
 PW – ваттметр на 75–300 В, 1 А; PA – амперметр на 1500 мА;
 Z – соответственно включаемые резистор R_1 , катушка L и конденсатор C

3. Постепенно увеличивать напряжение U на выходе ЛАТР. При этом в 4–5 точках фиксируется ток I , напряжение на резисторе U и мощность, потребляемая резистором $R1$. В последней точке ток не должен превышать 1 А.

Результаты измерений заносятся в табл. 1.

Таблица 1

№ опыта	Характеристика резистора					
	Измеряемые величины			Вычисляемые величины		
	U , В	I , А	P , дел	P , Вт	$R1$ факт, Ом	P расч, Вт
1		0				
2		0,3				
3		0,5				
4		0,7				
5		0,9				

$$P = C_w P_{\text{дел}},$$

где C_w – постоянная ваттметра, определяемая по формуле

$C_w = \frac{U_n \cdot I_n}{\alpha_{\max}}$, где U_n и I_n – пределы измерения **ваттметра** по напряжению и току, а $\alpha_{\max}$ – максимальное значение по шкале прибора.

Расчетные значения активного сопротивления определяются по формуле

$$R_{1\text{факт}} = \frac{U}{I}.$$

4. Рассчитать активную мощность резистора по формуле

$$P_{\text{расч}} = I^2 R$$

Исследование катушки индуктивности

1. При выключенном питании стенда подключается исследуемая катушка индуктивности (клеммы А–Х). Включены $L1$ и $L2$, $L3$ – закорочена. Приборы, используемые при испытании катушки индуктивности:

ЛАТР – лабораторный автотрансформатор;

PV – вольтметр на 300 В;

PW – ваттметр на 300 В, 1 А;

PA – амперметр на 1500 мА.

2. Устанавливается нулевое напряжение U на выходе ЛАТР.

3. Постепенно увеличивается напряжение U на выходе ЛАТР.

При этом в 4–5 точках фиксируется ток I , напряжение на катушке U и мощность P , потребляемая катушкой. Ток I в последней точке не должен превышать 1 А. Результаты измерений заносятся в табл. 2.

Таблица 2

№ опыта	Характеристика катушки							
	Измеряемые величины			Вычисляемые величины				
	U , В	I , А	P_k , дел	P_k , Вт	Z , Ом	R_k , Ом	X_L , Ом	L , Гн
1								
2								
...								

П р и м е ч а н и е. При определении параметров катушки используются следующие формулы:

$$P_k = PC_w; \quad C_w = \frac{UI}{\alpha_{\max}}$$

где C_w – постоянная ваттметра, Вт/дел; $\alpha_{\max}$ – максимальное число делений прибора;

$$Z = \frac{U}{I}; \quad R_k = \frac{P_k}{I^2}; \quad X_L = \sqrt{Z^2 - R_k^2}; \quad L = \frac{X_L}{2\pi f}, \quad (1 \text{ Гн} = 10^3 \text{ мГн}).$$

где f – частота питающей сети ($f = 50$ Гц).

Исследование конденсатора

Аналогичным образом снимается вольтамперная характеристика конденсатора при значении емкости $C = 30$ мкФ. Опытные данные заносятся в табл. 3.

Приборы, используемые при испытании конденсатора:

PV – вольтметр на 150 В; PA – амперметр на 1500 мА;

PW = 150 В, 1 А.

Таблица 3

№ опыта	Характеристика конденсатора				
	Измеряемые величины				Вычисляемые величины
	C , мкФ	U , В	I , А	P , Вт	X_C , Ом
1	30				
2	30				
3	30				
4	30				
5	30				

Расчетное значение X_C определяется по формуле

$$X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi f C},$$

где значение C берется в фарадах ($1\text{Ф} = 10^6 \text{мкФ}$).

Следует убедиться, что показания ваттметра почти не отличаются от нуля и уметь объяснить причину этого явления.

Предъявить данные опытов преподавателю для проверки и с его разрешения схему разобрать. Рабочее место привести в исходное состояние и сдать инженеру.

Содержание отчета

1. Номинальные данные электроизмерительных приборов.
2. Электрическая схема лабораторной установки.
3. Программа работы.
4. Таблицы с измеренными и вычисленными величинами.
5. Используемые формулы.
6. Вольтамперные характеристики элементов.
7. Векторные диаграммы цепи с R , L и C .
8. Краткие выводы. Сопоставление результатов с данными из теории.

Контрольные вопросы

При допуске к лабораторной работе

1. В чем состоит цель и программа работы?
2. Каков физический смысл параметра “активное сопротивление”?
3. Каким образом может быть определена величина активного сопротивления?
4. Каков физический смысл параметра “индуктивность”?
5. Какие параметры определяют индуктивность катушки?
6. Каков физический смысл параметра “ёмкость”?
7. Почему при исследовании конденсатора на измерительном стенде ваттметр давал нулевые показания?
8. Какие параметры характеризуют синусоидальную величину?

При защите отчёта по лабораторной работе

1. Что называется угловой частотой (ω), углом начальной фазы (ψ), углом сдвига фаз (φ) между напряжением и током?
2. По каким формулам определяют активное, индуктивное, емкостное и полное сопротивление цепи переменного тока?
3. Что такое постоянная ваттметра и как она определяется?
4. Основные соотношения и векторные диаграммы в цепях с активной, емкостной и индуктивной нагрузкой.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2

Исследование неразветвленной электрической цепи синусоидального тока. Резонанс напряжений

Цель работы

1. Исследовать электрическое состояние линейной неразветвленной цепи синусоидального тока при различных потребителях электрической энергии.
2. Приобрести навыки расчета параметров отдельных элементов электрической цепи при последовательном соединении R , L и C -элементов.
3. Экспериментально подтвердить теоретические знания, полученные на лекциях и самостоятельных занятиях по неразветвленным электрическим цепям синусоидального тока.

Схема лабораторной установки

Лабораторная установка по исследованию неразветвленной электрической цепи включает контрольно-измерительные приборы, коммутационно-защитные аппараты и потребители электрической энергии. Питание установки осуществляется от сети переменного тока через регулирующий автотрансформатор ЛАТР.

На рис. 3 приведена электрическая схема лабораторной установки для исследования линейной неразветвленной электрической цепи синусоидального тока.

Программа работы

1. Ознакомиться с тем, как ведет себя цепь с последовательным соединением R , L и C -элементов.
2. Понять, при каком условии в цепи с последовательным соединением элементов наступает резонанс напряжений.
3. Экспериментально проверить результаты электрического состояния цепи и по данным опытов построить графические зависимости $I = f_1(C)$; $U_K = f_2(C)$; $U_C = f_3(C)$.
4. Построить векторные диаграммы.

5. Сделать выводы по работе. Сопоставить полученные результаты опытов с теоретическими зависимостями по линейным неразветвленным цепям синусоидального тока.

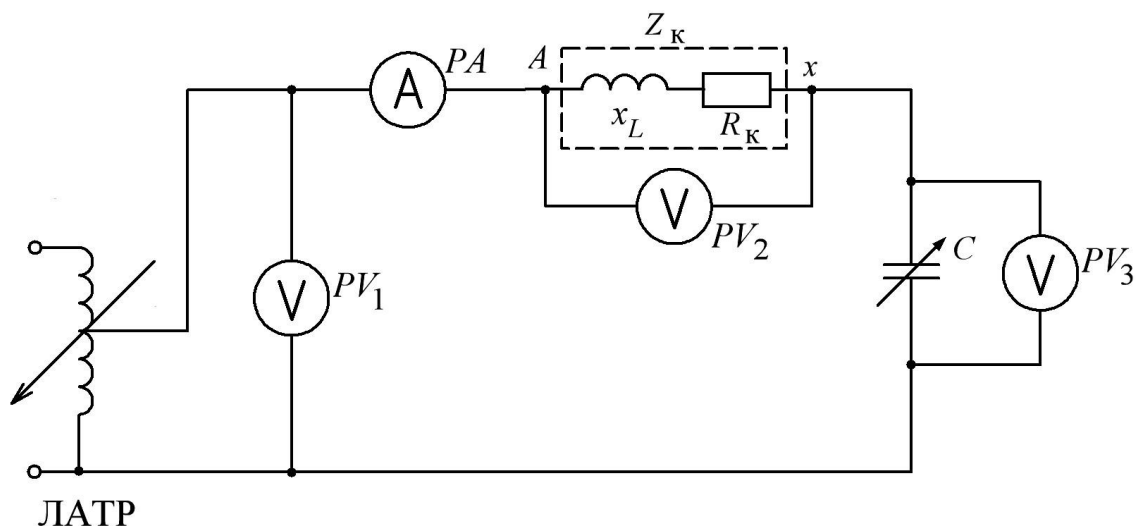


Рис. 3. Электрическая схема неразветвленной электрической цепи:
ЛАТР – лабораторный автотрансформатор; PV_1 – вольтметр на 30 В;
 PV_2 ; PV_3 – вольтметры на 75 В; PA – амперметр на 300 мА; Z_K – катушка
индуктивности; C – магазин емкостей

Порядок выполнения работы

1. Собрать электрическую схему экспериментальной установки (см. рис. 3) для проведения исследований резонанса напряжений и предъявить её для проверки инженеру.

2. С разрешения преподавателя установить с помощью регулирующего автотрансформатора ЛАТР требуемую величину напряжения и в процессе опыта поддерживать ее постоянной ($U = 20$ В).

3. Изменяя емкость магазина от 5 до 25 мкФ, измерять с помощью вольтметров PV_2 и PV_3 величины напряжения U_K , U_C , а также ток I с помощью амперметра PA .

Данные наблюдений занести в табл. 4.

Таблица 4

№ опыта	Измеряемые величины				Вычисляемые величины		
	C , мкФ	I , мА	U_K , В	U_C , В	X_C , Ом	Z , Ом	$\cos \varphi$
1	5						
2	–						
3	–						
4	–						
5	25						

$$Z = \frac{U}{I}; \quad \cos \varphi_K = \frac{R_K}{Z}; \quad \cos \varphi_K = \frac{R_K}{Z_K} = \frac{R_K}{\sqrt{R_K^2 + X_L^2}};$$

Значения емкостного сопротивления X_C для различных значений емкости определяются по формуле:

$$X_C = \frac{1}{2\pi f C},$$

где f – стандартная частота тока в сети ($f = 50$ Гц); C – значение емкости берется в фарадах ($1\text{мкФ} = 10^{-6}\text{Ф}$).

4. Для определения угла сдвига фаз между током и напряжением катушки необходимо знать значения X_L и R_K . Эти значения определяются из точки резонанса.

Действительно, если учесть, что при резонансе $X_L = X_C$, то значение X_L надо взять равным вычисленному значению X_C для точки резонанса. Кроме того, в точке резонанса $R_K = Z$, где

$$Z = \frac{U}{I_{\text{рез}}}; \quad U = 20\text{В}.$$

По опытным данным подсчитывают Z , $\cos \varphi$ и строят:
– график зависимостей

$$U_K = f_1(C); \quad U_C = f_2(C); \quad I = f_3(C);$$

– три векторные диаграммы исследуемой последовательной цепи при $X_L < X_C$; $X_L = X_C$; $X_L > X_C$.

5. Предъявить данные опытов для проверки преподавателю и с его разрешения схему разобрать. Рабочее место привести в исходное состояние и сдать инженеру.

Содержание отчета

1. Номинальные данные используемых электроизмерительных приборов и оборудования.
2. Электрическая схема экспериментальной установки.
3. Программа работы.
4. Таблицы с вычисленными и измеренными величинами.
5. Теоретические и экспериментальные характеристики.
6. Векторные диаграммы.
7. Используемые формулы.
8. Краткие выводы. Сопоставление экспериментальных характеристик с известными характеристиками из теории.

Контрольные вопросы

При допуске к лабораторной работе

1. В чем состоит цель работы?
2. Что называется резонансом напряжений?
3. Почему при резонансе напряжений ток в цепи достигает своего наибольшего значения?
4. При каком условии в цепи наступает резонанс напряжений?
5. Как рассчитать действующий ток в неразветвленной цепи синусоидального тока с потребителями электрической энергии, характеризующимися сосредоточенными параметрами R , L и C ?
6. От каких величин зависит полное сопротивление электрической цепи при последовательном соединении R , L и C ?
7. Как записывается закон Ома для цепи с последовательным соединением разных по характеру нагрузок?

При защите лабораторной работы

1. Как определить коэффициент мощности в цепи, и чему он равен при резонансе напряжений?
2. От каких величин зависит значение угла сдвига фаз между напряжением и током?

3. По какой формуле рассчитывают активную, реактивную и полную мощность в линейной электрической цепи синусоидального тока?

4. Как строятся векторные диаграммы для цепи с последовательным соединением катушки индуктивности и емкости?

5. Как из векторных диаграмм можно получить треугольники сопротивлений и напряжений?

6. Чему равно полное сопротивление цепи при резонансе напряжений?

7. Какой характер (по нагрузке) несет в себе цепь с последовательным соединением катушки индуктивности и емкости при резонансе напряжений?

8. Пользуясь какой формулой, можно определить значение индуктивности (L), если в цепи наступил резонанс напряжений?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3

Исследование разветвленной электрической цепи синусоидального тока. Резонанс токов

Цель работы

1. Исследовать электрическое состояние линейной разветвленной цепи синусоидального тока при различных условиях.
2. Приобрести навыки расчета электрической цепи при параллельном соединении R , L и C -элементов.
3. Экспериментально подтвердить теоретические знания по разветвленным электрическим цепям синусоидального тока.

Схема лабораторной установки

Лабораторная установка по исследованию разветвленной электрической цепи включает в себя контрольно-измерительные приборы, коммутационно-защитные аппараты и потребители электрической энергии. Питание установки осуществляется от сети переменного тока через регулирующий автотрансформатор ЛАТР.

На рис. 4 приведена электрическая схема лабораторной установки для исследования линейной разветвленной электрической цепи синусоидального тока.

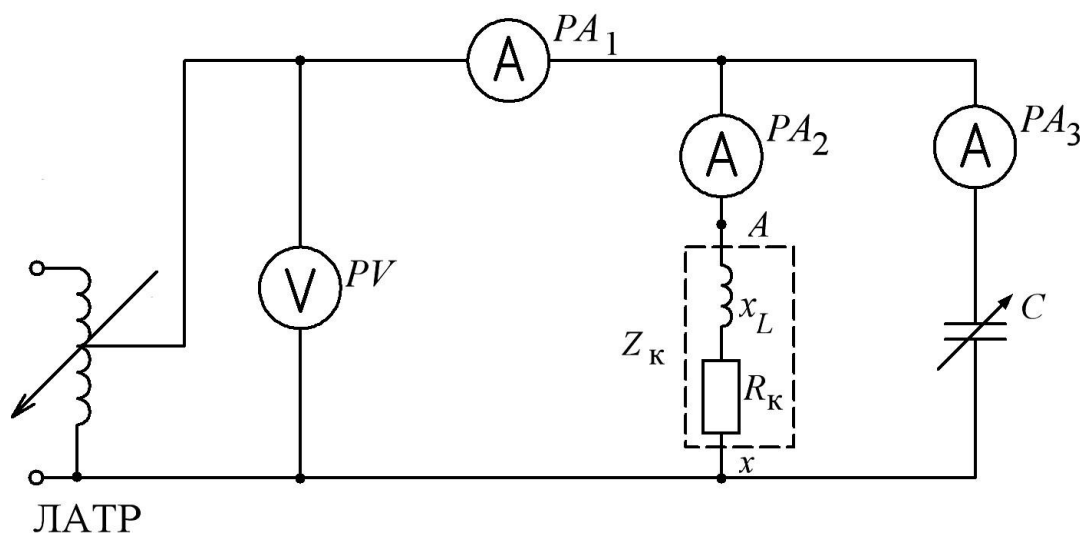


Рис. 4. Электрическая схема разветвленной электрической цепи:
ЛАТР – лабораторный автотрансформатор; PV – вольтметр на 150 В;
 Z_k – катушка индуктивности; C – магазин емкостей; PA_1 – амперметр на 750 мА;
 PA_2 – амперметр на 750 мА; PA_3 – амперметр на 750 мА.

Программа работы

1. Ознакомиться с тем, как ведет себя цепь с параллельным соединением R , L и C -элементов.
2. Понять, при каком условии в цепи с параллельным соединением элементов, наступает резонанс токов.
3. Экспериментально проверить результаты электрического состояния цепи и по данным опытов построить графические зависимости $I = f_1(C)$; $I_K = f_2(C)$; $I_C = f_3(C)$.
4. Построить векторные диаграммы.
5. Сделать выводы по работе. Сопоставить полученные результаты опытов с теоретическими зависимостями по линейным разветвленным цепям синусоидального тока.

Порядок выполнения работы

1. Собрать электрическую схему экспериментальной установки (см. рис. 4) для проведения исследований резонанса токов и предъявить для проверки инженеру.
2. С разрешения преподавателя установить с помощью регулирующего автотрансформатора ЛАТР требуемую величину напряжения и в процессе опыта поддерживать ее постоянной ($U = 100 \text{ В}$).
3. Изменяя емкость магазина от 5 до 25 мкФ, измерять с помощью амперметров PA_1 , PA_2 и PA_3 величины токов I , I_K , и I_C , а также напряжение U с помощью вольтметра PV .
Данные наблюдений занести в табл. 5.

Таблица 5

№ опыта	Измеряемые величины				Вычисляемые величины		
	C , мкФ	I , мА	I_K , мА	I_C , мА	b_C , См	Y , См	$\cos \varphi$
1	5						
2	—						
3	—						
4	—						
5	25						

$$Y = \frac{I}{U}; \quad U = 100 \text{ В}; \quad \cos \varphi = \frac{g_K}{Y}; \quad \cos \varphi_K = \frac{g_K}{Y_K} = \frac{g_K}{\sqrt{g_K^2 + b_L^2}}$$

Значения емкостной проводимости b_C для различных значений емкости определяются по формуле:

$$b_C = 2\pi f C$$

где f – стандартная частота тока в сети ($f = 50$ Гц); C – значение емкости, которое берется в фарадах ($1 \text{ мкФ} = 10^{-6} \text{ Ф}$).

4. Для определения угла сдвига фаз между током и напряжением катушки (φ_K), необходимо знать значения b_L и g_K . Эти значения определяются из точки резонанса.

Действительно, если учесть, что условие резонанса токов $b_L = b_C$, то значение b_L надо взять равным вычисленному значению b_C для точки резонанса. Кроме того, в точке резонанса $Y = g_K$, где

$$Y = \frac{I_{\text{рез}}}{U}; \quad U = 100 \text{ В}.$$

По опытным данным подсчитывают Y , $\cos \varphi$ и строят:
– график зависимостей

$$I_K = f_1(C); \quad I_C = f_2(C); \quad I = f_3(C);$$

– три векторные диаграммы исследуемой параллельной цепи при $b_L < b_C$; $b_L = b_C$; $b_L > b_C$.

5. Предъявить данные опытов для проверки преподавателю и с его разрешения схему разобрать. Рабочее место привести в исходное состояние и сдать инженеру.

Содержание отчета

1. Номинальные данные используемых электроизмерительных приборов и оборудования.
2. Электрическая схема экспериментальной установки.
3. Программа работы.
4. Таблицы с вычисленными и измеренными величинами.
5. Экспериментальные характеристики.
6. Векторные диаграммы.

7. Используемые формулы.
8. Краткие выводы. Сопоставление теоретических и экспериментальных характеристик с известными характеристиками из теории.

Контрольные вопросы

При допуске к лабораторной работе

1. В какой электрической цепи и при каких условиях может возникнуть резонанс токов?
2. Почему при резонансе токов ток в неразветвленной части цепи достигает своего минимального значения?
3. Как можно добиться резонанса токов в цепи?
4. Как определить полную проводимость электрической цепи синусоидального тока?
5. Как определить активную и реактивную проводимости цепи?
6. Как рассчитать действующее значение тока в неразветвленной части электрической цепи синусоидального тока?
7. Могут ли действующие значения токов в ветвях электрической цепи превышать действующие значения токов в неразветвленной части цепи?
8. Какое выражение является условием резонанса токов?
9. Выражение для закона Ома, соответствующее цепи с параллельным соединением катушки индуктивности и конденсатора.

При защите лабораторной работы

1. Как ведут себя цепи с параллельным соединением катушки индуктивности и емкости в момент резонанса?
2. Как определить коэффициент мощности цепи и чему он равен при резонансе токов?
3. Каким образом рассчитать емкость конденсаторной батареи, обеспечивающей повышение коэффициента мощности до заданного значения?
4. До какого значения целесообразно повышать коэффициент мощности?
5. Векторные диаграммы для параллельного соединения катушки индуктивности и емкости.
6. Треугольники токов и проводимостей.
7. Чем различаются резонансы токов и напряжений по протекающим процессам и в векторном их изображении?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4

Исследование трехфазной цепи при соединении приемников звездой

Цель работы

1. Опытным путем найти соотношение между действующими фазными и линейными напряжениями и токами при равномерной и неравномерной нагрузке.
2. Установить роль нулевого провода в работе трехфазной установки при различных нагрузках.
3. Экспериментально подтвердить теоретические знания, полученные на лекциях и самостоятельных занятиях по трехфазным электрическим цепям при соединении звездой.

Схема лабораторной установки

Лабораторная работа по исследованию трехфазных электрических цепей включает контрольно-измерительные приборы, коммутационно-защитные аппараты и потребители электрической энергии.

Питание установки осуществляется от сети переменного трехфазного тока.

На рис. 5 приведена электрическая схема лабораторной установки для исследования трехфазной цепи при соединении приемников звездой. В качестве приемников используются три ламповых реостата, соединенных как показано на схеме рис. 5.

Программа работы

1. Экспериментально установить соотношения между фазными и линейными напряжениями и токами.
2. Исследовать трехфазную систему переменного тока при соединении приемников звездой в различных режимах нагрузки фаз.
3. Построить векторные диаграммы напряжений и токов трехфазной цепи при симметричной и несимметричной нагрузках фаз.
4. Сделать выводы по работе; сопоставить полученные результаты с известными данными из теоретического курса.

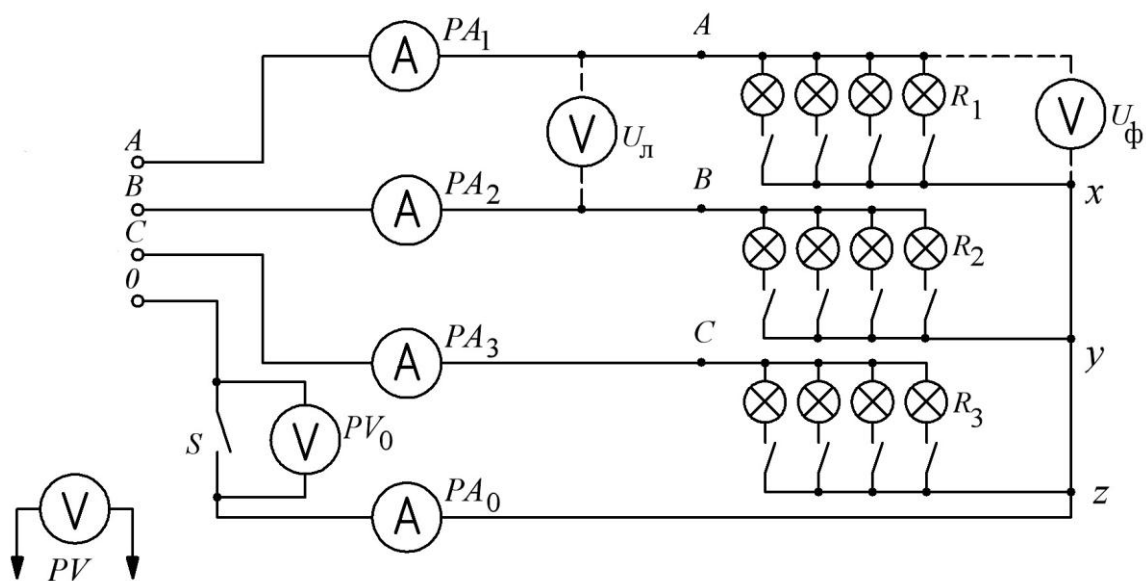


Рис. 5. Электрическая схема при соединении приемников звездой:
 амперметры PA_1 , PA_2 , PA_3 на 300 мА; амперметр PA_0 на 0,25 А – переносной прибор; вольтметр PV_1 на 150 – 300 В; вольтметр PV_0 на 75 В; R_1 , R_2 , R_3 – ламповые реостаты

Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с электрической схемой, приборами, аппаратами, элементами экспериментальной установки для проведения опыта и записать их технические характеристики в отчет.

2. Собрать электрическую схему экспериментальной установки (см. рис. 5) и предъявить для проверки инженеру. С разрешения преподавателя провести опыты.

П р и м е ч а н и е . Действующие значения линейных токов, равные фазным токам, определяются по амперметрам PA_1 , PA_2 , PA_3 , а ток в нулевом проводе – по амперметру PA_0 . Линейные и фазные напряжения измеряются одним вольтметром путем касания его щупами начал и концов фазы при измерении фазных напряжений, а также начал двух фаз при измерении линейных напряжений. Напряжение U_0 измеряется на выключателе S.

3. При всех отключенных лампах в фазах (проверяется по состоянию их выключателей) и разомкнутом выключателе S в нулевом проводе подать напряжение на схему нажатием кнопки "ВКЛ".

4. Последовательно установить различные режимы работы приемников, соединенных звездой, изменяя количество включенных в фазе ламп.

Режимы работы, подлежащие рассмотрению:

1) максимальная симметричная (равномерная) нагрузка трех фаз ($R_1 = R_2 = R_3$) **без нулевого провода** (все лампы в каждой фазе включены);

2) то же **с нулевым проводом**;

3) несимметричная неравномерная нагрузка фаз ($R_1 \neq R_2 \neq R_3$) **без нулевого провода** (включены 4; 3; 2 лампы);

4) то же **с нулевым проводом**;

5) несимметричная неравномерная нагрузка фаз ($R_1 = R_2; R_3 = \infty$) **без нулевого провода** (включены 4; 4; 0 ламп – обрыв фазы C);

6) то же **с нулевым проводом**;

7) короткое замыкание одной из фаз при равномерной нагрузке двух других фаз ($R_2 = R_3; R_1 = 0$) **без нулевого провода (выключатель S разомкнут)**.

Для проведения опыта короткого замыкания необходимо отключить схему, замкнуть накоротко фазу *A*, **разомкнуть** выключатель **в нулевом проводе** и предъявить схему для проверки инженеру. После проверки схемы с разрешения преподавателя провести опыт. Показания приборов записываются в табл. 6.

Следует иметь в виду, что вольтметр PV_0 будет давать показания, отличные от нуля, только в случае неравномерной нагрузки фаз и **отключенном** выключателе *S*. Амперметр PA_0 будет давать показания, отличные от нуля, в случае неравномерной нагрузки фаз и **включенном** выключателе *S*. Соотношение между линейными и фазными напряжениями рассчитывается только для равномерной нагрузки фаз.

Мощности нагрузки фаз рассчитываются по формулам:

$$P_a = U_a I_a; \quad P_b = U_b I_b; \quad P_c = U_c I_c;$$

$$P = P_a + P_b + P_c.$$

Сопротивления нагрузки фаз определяются по закону Ома:

$$R_a = \frac{U_a}{I_a}; \quad R_b = \frac{U_b}{I_b}; \quad R_c = \frac{U_c}{I_c}.$$

Таблица 6

№ опы- та	Соеди- нение фаз	Состояние нагрузки	Число ламп в фазе			Измеряемые величины											Вычисляемые величины								
			A	B	C	$I_A,$ мА	$I_B,$ мА	$I_C,$ мА	$I_0,$ мА	$U_a,$ В	$U_b,$ В	$U_c,$ В	$U_{AB},$ В	$U_{BC},$ В	$U_{CA},$ В	$U_0,$ В	$\frac{U_{\text{Л}}}{U_{\text{Ф}}}$	$P_a,$ Вт	$P_b',$ Вт	$P_c,$ Вт	$P,$ Вт	$R_a,$ Ом	$R_b,$ Ом	$R_c,$ Ом	
1	Y	$R1=R2=R3$	4	4	4																				
2	Y_0	$R1=R2=R3$	4	4	4																				
3	Y	$R1 \neq R2 \neq R3$	4	3	2												—								
4	Y_0	$R1 \neq R2 \neq R3$	4	3	2																				
5	Y	$R1=R2,$ $R3=\infty$	4	4	0												—								
6	Y_0	$R1=R2,$ $R3=\infty$	4	4	0												—								
7	Ко- роткое замы- кание	$R1=0; R2=R3$	—	2	2												—								

5. Предъявить данные опытов для проверки преподавателю и с его разрешения схему разобрать. Рабочее место привести в исходное состояние и предъявить инженеру.

6. Построить векторные диаграммы напряжений и токов для всех исследованных режимов работы.

Содержание отчета

1. Номинальные данные электроизмерительных приборов.
2. Электрическая схема лабораторной установки.
3. Программа работы.
4. Таблицы с измеренными и вычисленными величинами.
5. Используемые формулы.
6. Векторные диаграммы напряжений и токов.
7. Краткие выводы. Сопоставление опытных и расчетных данных с известными положениями из теории.

Контрольные вопросы

При допуске к лабораторной работе

1. Программа работы.
2. Какое соединение трехфазной цепи называется соединением звездой?
3. Как называются провода, отходящие от трехфазного генератора?
4. Какая нагрузка фаз называется симметричной?
5. Какие соотношения между действующими фазными и линейными напряжениями можно получить и для каких режимов работы они справедливы?
6. Для какой нагрузки целесообразно включение нулевого провода?
7. При какой нагрузке фаз применяется четырехпроводная система?
8. В каком соотношении находятся линейные и фазные токи при соединении звездой?
9. Как находится активная мощность каждой фазы и всей цепи?

При защите лабораторной работы

1. Что произойдет, если нагрузка фаз будет неравномерной, а нулевой провод не подключен?
2. Как сказывается обрыв нейтрального провода на работе трехфазной установки при различных режимах?
3. К чему приводит обрыв линейного провода в трехфазной установке?
4. Чему равен ток в нулевом проводе?
5. Уметь построить векторные диаграммы токов и напряжений соединения звездой для всех указанных режимов.
6. Как найти фазные напряжения, если нагрузка фаз несимметричная?
7. В каком соотношении находятся линейные напряжения при несимметричной нагрузке?
8. По какой формуле определяется напряжение U_{Nn} на нулевом проводе?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5

Исследование трехфазной цепи при соединении приемников треугольником

Цель работы

1. Опытным путем найти соотношения между действующими фазными и линейными напряжениями и токами при симметричном режиме.
2. Ознакомиться с режимами работы при равномерной и неравномерной нагрузках фаз и по опытным данным построить векторные диаграммы.
3. Экспериментально подтвердить теоретические знания, полученные на лекциях и самостоятельных занятиях по трехфазным электрическим цепям.

Схема лабораторной установки

Лабораторная установка включает контрольно-измерительные приборы, коммутационно-защитные аппараты и потребители электрической энергии. Питание установки осуществляется от сети переменного трехфазного тока.

На рис. 6 приведена электрическая схема лабораторной установки при соединении приемников треугольником.

В качестве приемников используются три ламповых реостата, соединенных, как показано на схеме.

Программа работы

1. Найти соотношение между фазными и линейными напряжениями и токами.
2. Исследовать трехфазную систему переменного тока при соединении приемников треугольником в различных режимах нагрузки фаз.
3. Построить векторные диаграммы для различных режимов работы системы.
4. Сделать выводы по работе. Сопоставить полученные результаты с известными данными из теоретического курса.

Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с электрической схемой, приборами, аппаратами, элементами экспериментальной установки для проведения опыта и записать их технические характеристики и данные в отчет.

2. Собрать электрическую схему экспериментальной установки (рис.6) и предъявить для проверки инженеру. С разрешения преподавателя провести опыты.

Пр и м е ч а н и е . В схеме амперметрами PA_1 , PA_2 , PA_3 определяются линейные токи I_A , I_B , I_C , а амперметрами PA_4 , PA_5 , PA_6 – фазные токи I_{ab} , I_{bc} , I_{ca} .

Напряжение измеряется вольтметром PV путем касания его щупами соответствующих точек цепи.

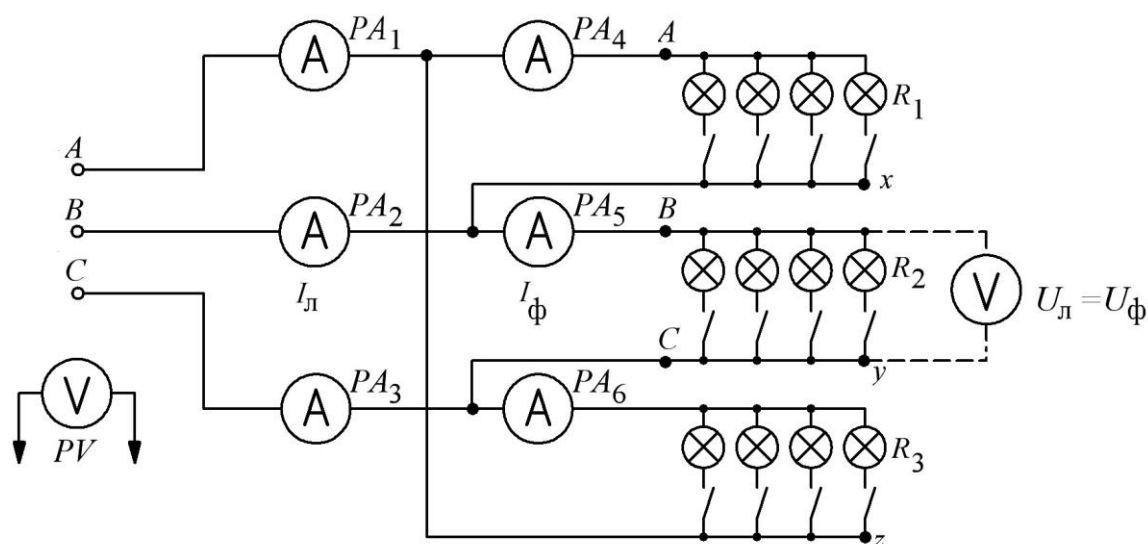


Рис. 6. Электрическая схема при соединении приемников треугольником: амперметры PA_1 , PA_2 , PA_3 – на 1,5 А; амперметры PA_4 , PA_5 , PA_6 – на 750 мА; вольтметр PV – на 300 В; R_1 , R_2 , R_3 – ламповые реостаты

3. При всех отключенных лампах в фазах (проверяется по положению выключателей) подать на схему напряжение нажатием кнопки ВКЛ.

4. Последовательно установить различные режимы работы приемников, соединенных треугольником, изменяя количество включенных в фазе ламп.

Режимы работы, подлежащие рассмотрению:

– симметричная (равномерная) нагрузка фаз ($R_1 = R_2 = R_3$, включены 4 лампы в каждую фазу);

- несимметричная (неравномерная) нагрузка фаз ($R_1 \neq R_2 \neq R_3$, включены 4, 3, 2 лампы в соответствующие фазы);
- несимметричная (неравномерная) нагрузка фаз ($R_1 \neq R_2$; $R_3 = \infty$ – обрыв фазы C);
- несимметричная (неравномерная) нагрузка фаз ($R_1, R_2 = \infty$; $R_3 = \infty$ – обрыв фазы B и C);
- несимметричная (неравномерная) нагрузка фаз ($R_1 \neq R_2 \neq R_3$, включены 4, 3, 2 лампы в соответствующие фазы) с обрывом **линейного** провода фазы C .

П р и м е ч а н и е. Обрыв линейного провода осуществляется отключением провода от питающей клеммы фазы C . При каждом новом состоянии нагрузки измеряют линейные и фазные напряжения и токи. Показания приборов записываются в табл. 7.

5. Построить векторные диаграммы напряжений и токов для всех исследованных режимов работы.

6. Предъявить данные опытов для проверки преподавателю и с его разрешения схему разобрать. Рабочее место привести в исходное состояние и предъявить инженеру.

Содержание отчета

1. Данные электроизмерительных приборов.
2. Электрическая схема лабораторной установки.
3. Программа работы.
4. Таблица с измеренными и вычисленными величинами.
5. Используемые формулы.
6. Векторные диаграммы напряжений и токов.
7. Краткие выводы.

Контрольные вопросы

При допуске к лабораторной работе

1. Программа и порядок выполнения работы.
2. Какое соединение трехфазной цепи называется треугольником?
3. Какая нагрузка фаз называется симметричной?
4. Какие существуют соотношения между фазными и линейными токами и для каких режимов работы они справедливы?

5. В каком соотношении находятся линейные напряжения при несимметричной нагрузке фаз, соединенных треугольником?

6. Какое существует соотношение между фазными и линейными напряжениями при соединении треугольником?

7. Как определить мощность одной фазы и всей цепи?

При защите лабораторной работы

1. Как влияет на линейный ток переключение приемников со звезды на треугольник?

2. Как работают приемники, если при неравномерной нагрузке фаз выйдет из строя один из линейных проводов?

3. Как строятся векторные диаграммы при соединении треугольником для всех режимов указанных в табл. 7?

4. Уметь определять линейные токи, зная фазные токи при несимметричной нагрузке фаз.

5. Уметь построить векторные диаграммы токов и напряжений при соединении фаз треугольником, если нагрузка в фазах разная по характеру (активная, индуктивная, емкостная).

Таблица 7

№ опы- та	Состояние нагрузки	Число ламп в фазе			Измеряемые величины									Вычисляемые величины				
		A	B	C	$I_A,$ мА	$I_B,$ мА	$I_C,$ мА	$I_{ab},$ мА	$I_{bc},$ мА	$I_{ca},$ мА	$U_{AB},$ В	$U_{BC},$ В	$U_{CA},$ В	$\frac{I_L}{I_\Phi}$	$P_{ab},$ Вт	$P_{bc},$ Вт	$P_{ca},$ Вт	$P_{\text{цепи}},$ Вт
1	$R1 = R2 = R3$	4	4	4														
2	$R1 \neq R2 \neq R3$	4	3	2														
3	$R1 \neq R2, R3 = \infty$	4	3	0														
4	$R1, R2 = \infty, R3 = \infty$	4	0	0														
5	$R1 \neq R2 \neq R3$ (при обрыве линейного провода фазы C)	4	3	2														

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 6

Измерение активной мощности в трехфазной цепи

Цель работы

1. Изучить методы измерения активной мощности в трехфазных цепях.
2. Приобрести практические навыки включения ваттметров для измерения мощности в трехфазной цепи различными методами.
3. Научиться опытным путем определять основные параметры трехфазной цепи.
4. Экспериментально подтвердить теоретические знания, полученные на лекциях и самостоятельных занятиях по измерению мощности.

Схема лабораторной установки

Электрическая схема измерения мощности в трехфазной цепи приведена на рис. 7.

При проведении опыта используются следующие приборы: амперметры на 300–1500 мА; вольтметр на 300 В; ваттметры на 300 В, 1 А; 300 В, 2,5 А; фазометр на 5 А, 127 В.

Программа работы

1. Изучить устройство и принцип действия ваттметра, фазометра.
2. Изучить методы измерения активной мощности в трехфазной цепи.
3. Провести измерение активной мощности в трехфазной цепи методом одного и двух ваттметров при активной и смешанной нагрузках.
4. Сделать выводы по работе; сопоставить полученные результаты по определению мощности различными методами.

Порядок выполнения работы

1. Изучить устройство ваттметра, фазометра и правила включения их в цепь.
2. Ознакомиться с электрической схемой установки и оборудования, записать их данные в отчет.

3. Собрать электрическую схему установки и предъявить ее для проверки инженеру.

П р и м е ч а н и е. Конденсаторы в каждую фазу набираются емкостью по 20 мкФ.

4. Перед включением автомата на щитке и кнопки ВКЛ на стенде установить наименьшую нагрузку, т. е. включить конденсаторы и лампы (по одной лампе в каждой фазе).

5. После включения схемы на напряжение проверить правильность отклонения стрелок у ваттметров при активной нагрузке (включены лампы).

При смешанной нагрузке (включены лампы и конденсаторы) стрелка одного из ваттметров может отклоняться в обратную сторону (при измерении по методу двух ваттметров).

Для отсчета показаний необходимо нажать на ваттметре черную клавишу и показание ваттметра взять со знаком "минус".

6. Установить равномерную активную нагрузку в фазах (по 4 лампы в каждой фазе). **Конденсаторы не включены.**

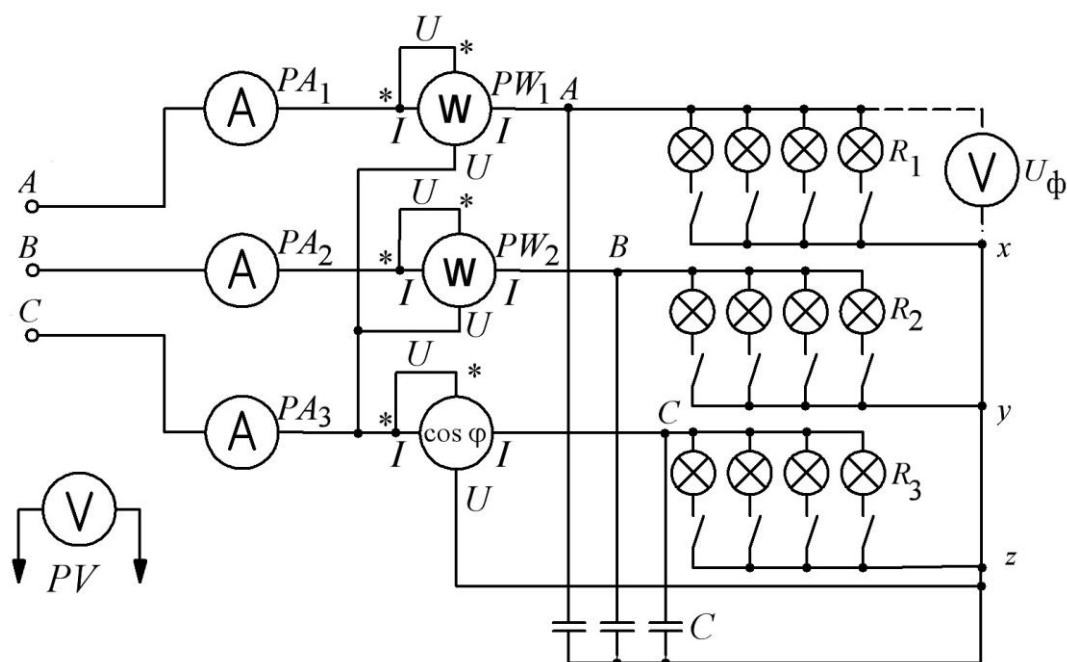


Рис. 7. Электрическая схема измерения активной мощности в трехфазной цепи (метод двух ваттметров):

амперметры PA_1 , PA_2 , PA_3 – на 300–500 мА; вольтметр PV – на 300 В; ваттметры PW_1 , PW_2 – на 300 В, 1–2,5 А; фазометр – на 127 В, 5 А.

Провести измерение фазных напряжений, токов, мощности (по методу двух ваттметров), коэффициента мощности.

Данные наблюдений записать в табл. 8.

Для измерения фазных напряжений необходимо касаться концами (щупами) проводов вольтметра между началами и концами активной нагрузки в каждой фазе ($A-X$, $B-Y$, $C-Z$).

Для измерения мощности по методу двух ваттметров (P_1 и P_2) показания снимаются с ваттметров PW_1 и PW_2 , включенных согласно приведенной электрической схеме (рис. 7). При этом вольтовые обмотки ваттметров будут включены на линейные напряжения U_{AC} и U_{BC} .

Для измерения мощности по методу одного ваттметра (мощность в одной фазе P_A или P_B) переключить вольтметровые обмотки ваттметров (без звездочек) к нулевой точке нагрузки согласно схеме рис. 8. Вольтметровые обмотки ваттметров при этом будут включены на фазное напряжение.

П р и м е ч а н и е. При симметричной нагрузке показания ваттметра в фазе A и ваттметра в фазе B должны быть равны, поэтому в опыте можно ограничиться показаниями одного из ваттметров.

7. Установить неравномерную активную нагрузку в фазах (число ламп 4, 2, 1). Измерить мощность системы только по методу двух ваттметров.

8. Включить конденсаторы (блок емкостей подключить к точкам A , B и C согласно схеме рис. 7; при этом амперметры включаются на 1500 мА) и произвести те же измерения, что и в п. 6 для одного значения смешанной (активно-емкостной) равномерной нагрузки.

9. Произвести измерение мощности по методу двух ваттметров при неравномерной смешанной нагрузке в фазах (амперметры переключить на 750 мА).

10. Предъявить данные опытов для проверки преподавателю и с его разрешения схему разобрать. Рабочее место привести в исходное состояние.

11. Параметры цепи определяются по данным метода двух ваттметров, амперметра и вольтметра.

Расчетные данные приводятся для двух значений нагрузок: для активной и активно-емкостной (табл. 8).

Таблица 8

№ опыта	P , Вт	Q , вар	S , ВА	$\operatorname{tg} \varphi$	φ	$\cos \varphi$	Z_{ϕ} , Ом	R_{ϕ} , Ом	X_{ϕ} , Ом
1									
2									

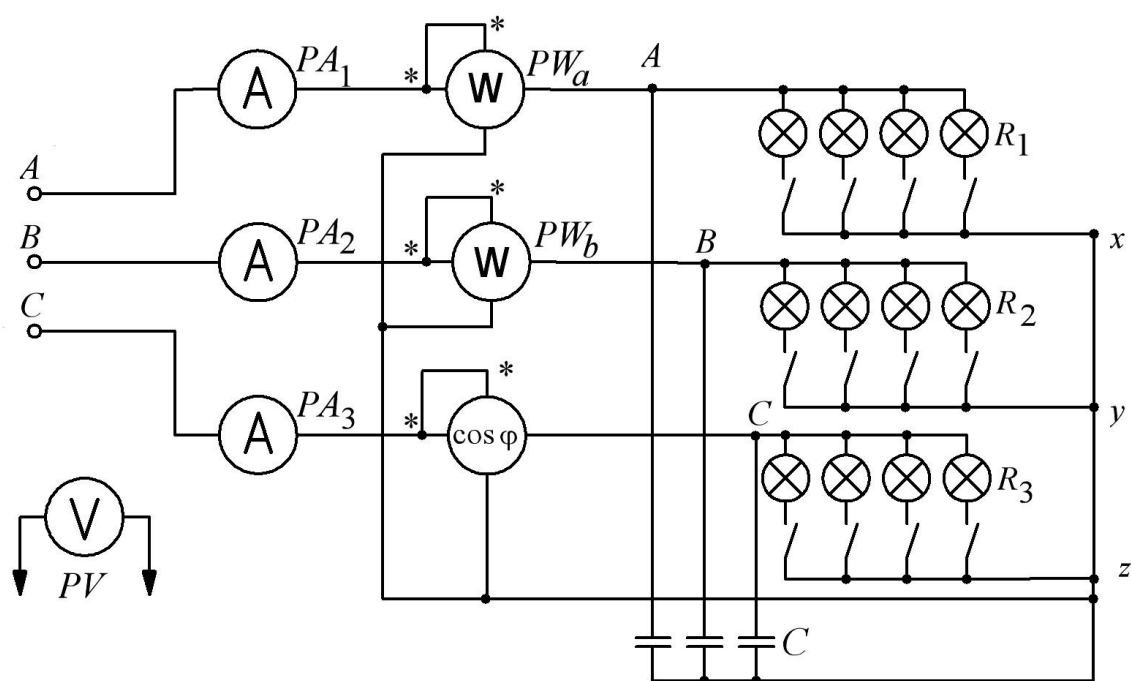


Рис. 8. Электрическая схема измерения мощности в трехфазной цепи (метод одного ваттметра).

Таблица 9

№ опы- та	Характер нагрузки	Число ламп в фазе			Емкость конден- саторов в фазе, мкФ			Измеряемые величины										Вычисляемые величины				
								$U_{\dot{A}},$ В	$U_{\dot{B}},$ В	$U_{\dot{C}},$ В	$I_{\dot{A}},$ мА	$I_{\dot{B}},$ мА	$I_{\dot{C}},$ мА	P_1 Вт	P_2 Вт	$P_{\dot{A}},$ Вт	$P_{\dot{B}},$ Вт	cos φ	φ	$3P_{\dot{A}},$ Вт	$3P_{\dot{B}},$ Вт	$(P_1+P_2),$ Вт
1	Активная	4	4	4	0	0	0															
2	Активная	4	2	1	0	0	0								–	–						
3	Смешанная	4	4	4	20	20	20															
4	Смешанная	4	2	1	20	10	4								–	–						

Расчетные формулы

1. Цена деления ваттметра, Вт/дел.,

$$C_{\text{нв}} = \frac{U_{\text{нв}} I_{\text{нв}}}{\alpha}$$

где $U_{\text{нв}}$ и $I_{\text{нв}}$ – номинальные значения ваттметра по напряжению и току, на которые он включен; α – число делений **всей** шкалы.

2. Активную мощность, потребляемую трехфазным приемником, можно определить:

1) по методу трех ваттметров:

$$P = P_A + P_B + P_C;$$

2) по методу двух ваттметров

$$P = P_1 + P_2.$$

Если стрелка одного из ваттметров отклонялась в обратную сторону, то после переключения показания ваттметров с меньшими значениями берутся со знаком "минус", т. е.

$$P_1 > P_2, \quad P = P_1 - P_2;$$

3) по методу одного ваттметра при симметричной нагрузке:

$$P = 3P_A, \quad P = 3P_B;$$

4) по показаниям приборов (при симметричной нагрузке):

$$P = 3U_{\phi} I_{\phi} \cos \varphi$$

3. Параметры цепи:

– полное сопротивление фазы

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

– угол сдвига фаз φ и $\cos \varphi$ определяется через $\operatorname{tg} \varphi$

$$\operatorname{tg} \varphi = \sqrt{3} \frac{P_1 - P_2}{P_1 + P_2};$$

– активное сопротивление фазы

$$R_{\phi} = Z_{\phi} \cdot \cos \varphi;$$

– реактивное (емкостное) сопротивление фазы

$$X_{\phi} = \sqrt{Z_{\phi}^2 - R_{\phi}^2}.$$

– реактивная мощность приемника

$$Q = \sqrt{3}(P_1 - P_2);$$

– полная мощность приемника

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

Содержание отчета

1. Перечень приборов и их номинальные данные.
2. Электрическая схема лабораторной установки.
3. Программа работы.
4. Таблицы с измеренными и вычисленными величинами.
5. Расчетные формулы.
6. Векторные диаграммы для активной и активно-емкостной нагрузок.
7. Краткие выводы. Сопоставление опытных и расчетных данных с известными положениями из теории.

Контрольные вопросы

При допуске к лабораторной работе

1. Цель и программа работы.
2. Устройство и принцип действия ваттметра, цена деления ваттметра.
3. Устройство и принцип действия фазометра.
4. Включение в схему ваттметра, фазометра.
5. Включение в схему ваттметра по методу одного ваттметра.
6. Включение в схему ваттметров по методу двух ваттметров.

При защите лабораторной работы

1. Как определить активную мощность по показаниям двух ваттметров при активной и комплексной нагрузках?
2. Как определить реактивную мощность по показаниям двух ваттметров?
3. Как определить угол сдвига фаз по показаниям двух ваттметров?
4. Как включить ваттметр для измерения мощности по методу одного ваттметра при соединении нагрузки в звезду и в треугольник?
5. Когда нельзя применять метод двух ваттметров?
6. Как строятся векторные диаграммы для активной и смешанной нагрузок?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 7

Измерение мощности, коэффициента мощности и энергии в цепях однофазного синусоидального тока

Цель работы

1. Изучить методы измерения мощности, коэффициента мощности и энергии в цепях однофазного синусоидального тока.
2. Ознакомиться с ваттметрами и фазометрами электродинамической системы.
3. Ознакомиться с методом измерения энергии в однофазных цепях синусоидального тока.
4. Ознакомиться с методами определения погрешностей при измерении мощности различными способами и при различном характере нагрузки.
5. Экспериментально подтвердить теоретические знания, полученные на лекциях и самостоятельных занятиях.

Схема лабораторной установки

Лабораторная установка монтируется на лабораторном стенде (типа УСОЭ –1) в соответствии со схемой, приведенной на рис. 9.

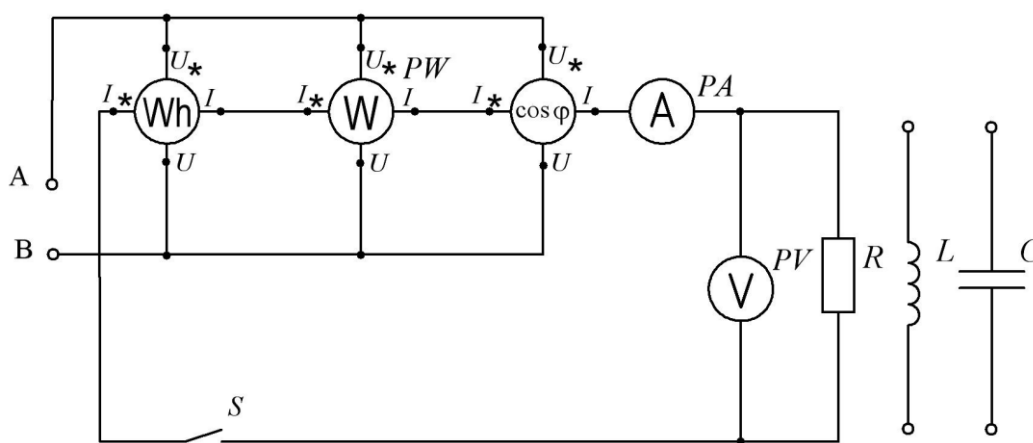


Рис. 9. Электрическая схема:

PV – вольтметр; PA – амперметр; PW – ваттметр; Wh – электронный счетчик; “ $\cos \varphi$ ” – фазометр; S – выключатель; R, L, C – активная, индуктивная, емкостная нагрузки

Программа работы

1. Изучить устройство стенда УСОЭ – 1 и схему лабораторной установки.
2. Записать основные технические данные измерительных приборов (табл. 10).
3. Собрать схему лабораторной установки в соответствии с рис. 9.

Таблица 10

Наименование прибора	Условное обозначение	Система прибора	Постоянная прибора	Пределы измерения	Класс точности
Ваттметр					
Фазометр					
Электронный счетчик					

4. Определить с помощью электронного счетчика энергию в цепях однофазного тока, содержащих активную и индуктивную нагрузки (R и L).
5. Определить полную и активную мощности для различных по характеру нагрузок (R , L и C) с помощью амперметра, вольтметра и ваттметра.
6. Определить коэффициент мощности для различных по характеру нагрузок (R , L и C) по фазометру.
7. Рассчитать коэффициент мощности, пользуясь показаниями амперметра, вольтметра и ваттметра, и сравнить его с экспериментальным, найденным из п. 6.
8. Рассчитать погрешности при определении активной мощности, коэффициента мощности, энергии для различных по характеру нагрузок.

Порядок выполнения работы

1. Собрать электрическую схему согласно рис. 9, предъявить ее для проверки инженеру и получить разрешение преподавателя на проведение опытов.

2. Подключить в качестве нагрузки активное сопротивление (три ряда ламповых реостатов, соединенных параллельно). При этом установить следующие пределы измерения на приборах: $PA - 5 \text{ А}$; $PV - 250 \text{ В}$; $PW - 300 \text{ В}, 5 \text{ А}$; фазометр – $220 \text{ В}, 5 \text{ А}$. Ручку переключения фазометра перевести в положение «генератор».

3. Подать на схему номинальное напряжение 220 В (клеммы **A** и **B** на стенде подключаются с помощью пакетного выключателя), электронный жидкокристаллический индикатор (ЖКИ) счетчика загорится.

Определить номинальную постоянную счетчика. На дисплее счетчика указывается величина, обратная номинальной постоянной – передаточное число, равное числу импульсов, соответствующее единице измеряемой энергии. Номинальная постоянная подсчитывается по формуле:

$$C_n = \frac{P_n t_n}{N} \text{ (Вт} \cdot \text{с/имп.)},$$

где $P_n t_n = W_n$ – номинальная энергия, указанная на дисплее счетчика; N – номинальное число импульсов, соответствующее единице измеряемой энергии.

Убедиться в отсутствии самохода счетчика: **выключатель S разомкнут** (ток в последовательной обмотке счетчика отсутствует).

Если при этом счетчик показывает мощность (P), равную **нулю**, а значение ранее измеренной **энергии** (нарастающим итогом) не меняется (остается определенным фиксированным числом), то он не имеет самохода.

4. Замкнуть токовую цепь (**выключатель S замкнут**), снять показания амперметра, вольтметра, ваттметра и фазометра.

5. По показаниям амперметра и вольтметра подсчитать полную мощность цепи ($S = IU$), по показаниям фазометра определить коэффициент мощности ($\cos \varphi$) и угол φ .

6. Подсчитать значение активной мощности $P = \alpha C_w$, где α – показание ваттметра в делениях, а C_w – его постоянная, подсчитываемая по формуле:

$$C_w = \frac{U_n I_n}{\alpha_{\max}},$$

где U_n и I_n – пределы измерения по напряжению и току, поставленные на ваттметре, $\alpha_{\max}$ – максимальное число делений по шкале ваттметра.

7. Подсчитать значение $\cos \varphi$ по формуле: $\cos \varphi = \frac{P}{S}$ и сравнить его со значением $\cos \varphi$, снятым по фазометру.

Все вычисленные значения записать в соответствующие графы табл. 12.

8. Произвести измерение электрической энергии с помощью однофазного электронного счетчика. Для этого нужно определить действительную постоянную счетчика, предварительно записав значение энергии – $W_{\text{нач.}}$ в графу 10 табл. 11. Подсчитать с помощью секундомера (секундной стрелки часов) количество импульсов N за время, равное **двум** минутам, (один импульс соответствует одному загоранию индикатора-лампочки на дисплее счетчика). Записать значение энергии (по истечении двух минут) – $W_{\text{конечн}}$ в графу 10 табл. 11. Подсчитать значение энергии, измеренное счетчиком: $W = W_{\text{конечн}} - W_{\text{нач.}}$. Это значение фиксируется электронным счетчиком в *киловатт в час*; Это значение нужно перевести в *ватт в секунду* следующим образом:

$$W_{\text{Вт·с}} = W_{\text{кВт·ч}} \cdot 1000 \cdot 3600.$$

Снять показание активной мощности P , указанное на счетчике, и записать его в графу 11 табл. 11. Если мощность, показанная на дисплее счетчика, немного меняется, то надо взять её среднее значение. Значение мощности счетчик выдает в ваттах.

$$C_d = \frac{P t}{N} \text{ (Вт} \cdot \text{с/имп),}$$

где P – активная мощность, определяемая счетчиком; t – время за которое счетчик «выдаст» N импульсов.

9. Рассчитать потребляемую энергию счетчика и его относительную погрешность. Энергия, израсходованная в цепи за 2 мин (120 с).

$$W = C_d N$$

Записать это показание в графу 6 табл. 12. Сравнить полученное значение энергии со значением, снятым непосредственно со счетчика в п. 8.

Погрешность счетчика при указанной нагрузке определяется по формуле

$$\gamma = \frac{C_n - C_d}{C_n} 100 \%.$$

Определить, удовлетворяет ли счетчик требованиям стандарта в отношении его погрешности, учитывая, что класс точности, указанный на дисплее счетчика, должен по стандарту соответствовать его погрешности.

Разомкнуть выключатель S в токовой цепи и отключить фазы **A** и **B** в схеме (снять питающее напряжение).

10. Подключить в качестве реактивной нагрузки катушку индуктивности. При этом установить следующие пределы измерения на приборах: *PA*–5 А; *PV*–250 В; *PW* –5 А, 300 В; фазометр – 5 А, 220 В.

11. Установить напряжение 220 В, **замкнуть выключатель S** в схеме и снять показания амперметра, вольтметра, ваттметра, фазометра.

12. Повторить для индуктивной нагрузки расчеты по п.п. 5, 6, 7.

13. Определить потребляемую энергию счетчика. Для этого подсчитать количество импульсов (по загоранию контрольной лампочки на дисплее счетчика) за **две** минуты, пользуясь секундомером, определить его действительную постоянную и энергию:

$$C_d = \frac{P t}{N}, \quad W = C_d N.$$

Данные опыта занести в табл. 11, а расчетные данные – в табл. 12.

14. **Разомкнуть выключатель S** в токовой цепи схемы и снять питающее напряжение.

15. Подключить в качестве реактивной нагрузки блок конденсаторов ($C = 34,75$ мкФ), имеющийся на стенде. При этом установить следующие пределы измерения на приборах: *PA*–5 А, *PV*–250 В, *PW*–5 А, 300 В; фазометр –5А, 220 В.

Включить пакетный выключатель на стенде (подать питающее напряжение на фазы **A** и **B**), **замкнуть выключатель S** в токовой цепи схемы.

Таблица 11

Измеряемые величины											
Тип нагрузки	По вольтметру PV и амперметру PA		По ваттметру PW			По фазометру “cos φ”		По счетчику Wh			
Порядковый номер нагрузочных элементов	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
	U , В	I , А	P_w , дел	C_w , $\frac{Вт}{дел}$	P_w , Вт	cos φ	$\pm \varphi^\circ$	t , с	N , имп	W , (кВт·ч)	$P_{ср}$, Вт
1. Активная R										$W_{нач} = \dots$ $W_{конеч} = \dots$ $W = W_{конеч} - W_{нач} = ..$	
2. Индуктивная L										-----	
3. Емкостная C								0	0	0	0

16. Повторить для емкостной нагрузки измерения и расчеты по п.п. 4, 5, 6, 7.

17. Данные опытов занести в табл. 11, вычисления – в табл. 12.

18. Сравнить коэффициент мощности ($\cos \varphi$) и знак угла φ для индуктивной и емкостной нагрузок.

19. Результаты всех измерений предъявить преподавателю и с его разрешения схему разобрать, а рабочее место привести в исходное состояние.

Общие сведения об электронных счетчиках

Принцип действия счетчика заключается в непрерывном преобразовании текущих значений тока и напряжения с помощью АЦП (аналого-цифрового преобразователя) через малые интервалы времени, задаваемые процессором, в числовые эквиваленты и последующем вычислении процессором активной мощности и энергии, а также получении результатов вычислений с помощью ЖКИ индикаторов.

Электронный счетчик не содержит подвижных частей, а программирование процессора позволяет эффективно использовать его в автоматизированных системах комплексного учета электроэнергии для анализа суточных графиков нагрузки, многотарифного учета электроэнергии и т. п.

Электронный счетчик применим и для измерения энергии в цепях постоянного тока при наличии датчиков постоянного тока и напряжения и соответствующем программировании процессора.

Таблица 12

Тип нагрузки	Вычисляемые величины					
	1	2	3	4	5	6
Порядковый номер	S ВА	$\cos \varphi = \frac{P}{S}$	C_n , $\frac{\text{Вт} \cdot \text{с}}{\text{имп}}$	C_d , $\frac{\text{Вт} \cdot \text{с}}{\text{имп}}$	γ , %	W , $\text{Вт} \cdot \text{с}$ $W = C_d N$
1. Активная R						
2. Индуктивная L					—	
3. Емкостная C				—	—	—

Содержание отчета

1. Электрическая схема экспериментальной установки.
2. Номинальные данные электроизмерительных приборов, ваттметра, фазометра, счетчика, амперметра, вольтметра.
3. Программа работы.
4. Таблицы с измеренными и вычисленными величинами.
5. Используемые формулы.
6. Краткие выводы по работе.

Контрольные вопросы

При допуске к лабораторной работе

1. Цель и программа работы.
2. По каким электроизмерительным приборам определяется мощность, коэффициент мощности ($\cos \varphi$) и энергия в цепях однофазного синусоидального переменного тока?
3. Как обозначаются на схемах ваттметр, фазометр, однофазный счетчик?
4. Уметь вычертить схемы включения ваттметра, счетчика и фазометра в электрические цепи.
5. Что такое постоянная ваттметра и как ее определить?
6. Что такое номинальная и действительная постоянная счетчика и почему они могут отличаться друг от друга?
7. По какой формуле определяется коэффициент мощности ($\cos \varphi$)?
8. От чего зависит знак угла φ , показанного на фазометре?
9. Что такое активная, реактивная и полная мощности в цепях переменного тока, по каким формулам они определяются и в каких единицах измеряются?
10. Что называется относительной погрешностью счетчика?
11. Что называется абсолютной, относительной и приведенной погрешностью, по какой из них определяется класс точности прибора?

При защите лабораторной работы

1. Каков принцип действия и устройство электродинамического ваттметра и электронного счетчика?
2. Что такое коэффициент мощности, его физический смысл?

3. Как изменяется коэффициент мощности цепи в зависимости от **характера** нагрузки?

4. Для чего определяют действительную постоянную счетчика?

5. В каких цепях постоянного или переменного тока применяются приборы электродинамической системы?

6. Какую (активную, реактивную или полную) мощность можно определить с помощью ваттметра?

7. Почему при подключении емкостной нагрузки ваттметр дает показания, близкие к нулю, а счетчик электрической энергии дает нулевые показания?

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Афанасьева Н.А., Булат Л.П.** Электротехника и электроника: Учеб. пособие. – СПб.: СПбГУНиПТ, 2006. – 177 с.

2. **Иванов И.И., Соловьев Г.И.** Электротехника. – СПб.: Лань, 2008. – 495 с.

3. **Касаткин А.С., Немцов М.В.** Электротехника. – М.: Высш. шк., 2002 – 542 с.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
Основные правила техники безопасности при работе на стенде "Электро–1"	6
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1 Определение параметров R , L и C -элементов	8
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2 Исследование неразветвленной электрической цепи синусоидального тока. Резонанс напряжений	14
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3 Исследование разветвленной электрической цепи синусоидального тока. Резонанс токов	19
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4 Исследование трехфазной цепи при соединении приемников звездой	23
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5 Исследование трехфазной цепи при соединении приемников треугольником	29
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 6 Измерение активной мощности в трехфазной цепи	34
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 7 Измерение мощности, коэффициента мощности и энергии в цепях однофазного синусоидального тока	42
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	50

Афанасьева Наталия Александровна
Ерофеева Ирина Александровна

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЦЕПИ

Методические указания
к лабораторным работам на стенде “Электро–1”
для студентов всех специальностей

Редактор

Л.Г. Лебедева

Корректор

Н.И. Михайлова

Компьютерная верстка

Н.В. Гуральник

Подписано в печать 27.06.2008. Формат 60×84 1/16

Усл. печ. л. 3,02. Печ. л. 3,25. Уч.-изд. л. 3,0

Тираж 500 экз. Заказ № С 167

СПбГУНиПТ. 191002, Санкт-Петербург, ул. Ломоносова, 9
ИИК СПбГУНиПТ. 191002, Санкт-Петербург, ул. Ломоносова, 9

Мизин Валерий Михайлович
Малышев Александр Александрович

ТЕПЛООБМЕННЫЕ АППАРАТЫ ДЛЯ ХОЛОДИЛЬНЫХ МАШИН И ТЕПЛОВЫХ НАСОСОВ

Рабочая программа,
методические указания и контрольная работа
для студентов специальности 140504
факультета заочного обучения и экстерната

Редактор
Р.А. Сафарова

Корректор
Н.И. Михайлова

Компьютерная верстка
Н.В. Гуральник

Подписано в печать 27.10.2008. Формат 60×84 1/16

Усл. печ. л. 1,16. Печ. л. 125. Уч.-изд. л. 0,94

Тираж 500 экз. Заказ № С 168

СПбГУНиПТ. 191002, Санкт-Петербург, ул. Ломоносова, 9
ИИК СПбГУНиПТ. 191002, Санкт-Петербург, ул. Ломоносова, 9