



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ
СЕВАСТОПОЛЬСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
к выполнению лабораторных работ
по электротехническим дисциплинам
Часть 1**

для студентов дневной и заочной форм обучения
направлений

6.0902 – Инженерная механика,
6.0915 – Компьютерная инженерия,
6.0909 – Приборы,
6.0708 - Экология

Севастополь
2005

Методические указания к выполнению лабораторных работ по электротехническим дисциплинам для студентов дневной и заочной форм обучения направлений 6.0902 – Инженерная механика, 6.0915 – Компьютерная инженерия, 6.0909 – Приборы, 6.0708 - Экология. – Ч. 1/Е.Б. Башук, Г.Ф. Косова, В.Н. Мирянова. – Севастополь: Изд-во СевНТУ, 2005. – 46с.

Целью методических указаний является привитие навыков исследования свойств и расчета электрических цепей. Лабораторные работы предполагают изучение основных свойств элементов цепей, их последовательного, параллельного, смешанного соединений; резонанса напряжений и токов; трехфазных цепей при соединении потребителей звездой и треугольником; мощности цепи переменного тока. Каждая лабораторная работа кроме кратких теоретических сведений и указаний по её выполнению содержит требования к оформлению и содержанию отчета, а также перечень контрольных вопросов.

Методические указания рассмотрены и утверждены на заседании кафедры СПЭМС (протокол № 7 от 4 марта 2005г.)

Допущено учебно-методическим центром СевНТУ в качестве методических указаний.

Рецензент: Олейников А.М., д-р. техн. наук, заведующий кафедрой СПЭМС СевНТУ

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр
ВВЕДЕНИЕ	4
Принятые обозначения	4
1. Лабораторная работа №1. Исследование электрической цепи постоянного тока с одним источником	6
2. Лабораторная работа №2. Исследование линейных элементов электрических цепей	12
3. Лабораторная работа №3. Исследование цепи переменного тока с последовательным соединением элементов.....	20
4. Лабораторная работа №4. Исследование цепи переменного тока с параллельным соединением элементов.....	25
5. Лабораторная работа №5. Исследование цепи переменного тока со смешанным соединением элементов.....	29
6. Лабораторная работа №6. Исследование трехфазной цепи. Соединение звездой	34
7. Лабораторная работа №7. Исследование трехфазной цепи. Соединение треугольником	42
8. Лабораторная работа №8. Измерение мощности электрической цепи переменного тока	46
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	49

ВВЕДЕНИЕ

Настоящие методические указания являются переработанным и дополненным изданием предыдущей методической разработки тех же авторов.

Лабораторный практикум (первая часть) включает восемь лабораторных работ, охватывающих основные разделы изучаемых дисциплин. Каждая лабораторная работа выполняется в течение двух академических часов. В процессе подготовки к выполнению студент должен ознакомиться с основными теоретическими положениями и описанием лабораторно установки и выполнить предварительные теоретические расчеты.

Принятые обозначения

- I – действующее значение тока;
- U – действующее значение напряжения;
- I_m – амплитудное значение тока;
- U_m – амплитудное значение напряжения;
- E – действующее значение ЭДС;
- E_m – амплитудное значение ЭДС;
- R – сопротивление резистора;
- L – индуктивность катушки индуктивности;
- C – емкость конденсатора;
- r – активное сопротивление;
- G – проводимость;
- g – активная проводимость;
- Z – комплексное полное сопротивление;
- Y – комплексная полная проводимость;
- x – реактивное сопротивление;
- x_L – индуктивное сопротивление катушки индуктивности;
- x_C – емкостное сопротивление конденсатора;
- b – реактивная проводимость;
- b_L – индуктивная проводимость катушки индуктивности;
- b_C – емкостная проводимость конденсатора;
- P – активная мощность;

S – полная мощность;
 Q – реактивная мощность;
 Q_L – реактивная мощность катушки индуктивности;
 Q_C – реактивная мощность конденсатора;
 i – мгновенное значение тока;
 u – мгновенное значение напряжения;
 e – мгновенное значение ЭДС;
 p – мгновенное значение мощности;
 φ – угол сдвига фаз между напряжением и током;
 ω – угловая частота.

1. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №1

ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ЦЕПЬ ПОСТОЯННОГО ТОКА С ОДНИМ ИСТОЧНИКОМ

1.1. Цель работы: экспериментальная проверка соотношений между напряжениями и токами цепи постоянного тока с одним источником.

1.2. Теоретические сведения

Основными законами линейных электрических цепей являются законы Ома и Кирхгофа.

Закон Ома для участка цепи (рисунок 1.1):

$$I = \frac{U_{ab} \pm E}{R}, \quad (1.1)$$

где I – ток в цепи; U_{ab} – напряжение на участке цепи; E – ЭДС источника; R – сопротивление участка.

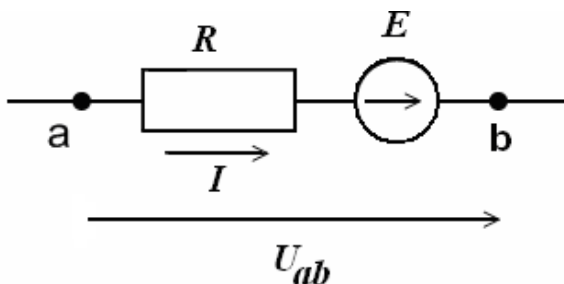


Рисунок 1.1 – Участок электрической цепи

Знак «+» в (1.1) ставится, если направление тока совпадает с направлением ЭДС, знак «-», если не совпадает.

Первый закон Кирхгофа гласит: сумма входящих в узел токов равна сумме токов, выходящих из узла.

Второй закон Кирхгофа: алгебраическая сумма падений напряжений в контуре равна алгебраической сумме ЭДС вдоль того же контура.

$$\sum IR = \sum E \quad (1.2)$$

Электрическая цепь может содержать любое количество резисторов, соединенных между собой последовательно, либо параллельно.

При последовательном соединении n элементов их эквивалентное сопротивление равно

$$R_{\Sigma} = R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n. \quad (1.3)$$

При параллельном соединении эквивалентное сопротивление определяется по формуле

$$\frac{1}{R_{\Sigma}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots + \frac{1}{R_n} \quad (1.4)$$

На основании законов Ома, Кирхгофа и эквивалентных преобразований производится расчет электрических цепей.

Рассчитаем электрическую цепь, изображенную на рисунке 1.2, методом эквивалентных преобразований, считая известными значения э.д.с. и сопротивлений.

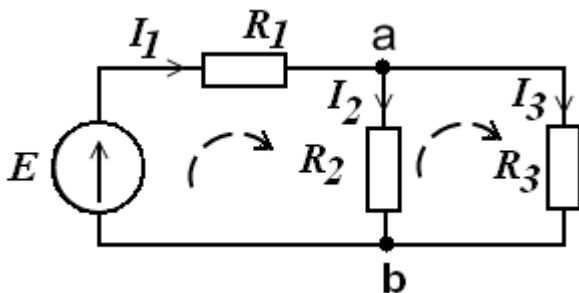


Рисунок 1.2 – Схема электрической цепи с одним источником ЭДС

Найдем эквивалентное сопротивление цепи

$$R_{\Sigma} = R_1 + R_{23}, \quad (1.5)$$

где $R_{23} = \frac{R_2 R_3}{R_2 + R_3}$.

Входной ток в цепи определяется по закону Ома:

$$I_1 = \frac{E}{R_{\Sigma}}, \quad (1.6)$$

Определим напряжение на участке ab :

$$U_{ab} = I_1 R_{23}. \quad (1.7)$$

Токи ветвей находятся по закону Ома:

$$I_2 = \frac{U_{ab}}{R_2}, \quad I_3 = \frac{U_{ab}}{R_3}. \quad (1.8)$$

Полученные результаты легко проверить с помощью законов Кирхгофа:

$$\begin{cases} I_1 = I_2 + I_3 \\ I_1 R_1 + I_2 R_2 = E \\ I_3 R_3 - I_2 R_2 = 0. \end{cases} \quad (1.9)$$

1.3. Порядок выполнения работы

1. Собрать цепь согласно рисунку 1.3. Включить источник постоянного напряжения, установить регулятором значение напряжения источника, равное 220 В. Поочередно включая резисторы, произвести измерение тока в каждом из них. Записать показания приборов в таблицу 1.1.

2. Используя закон Ома, рассчитать сопротивление резисторов $R_1 - R_6$, результаты расчетов также занести в таблицу 1.1.

Таблица 1.1 - Экспериментальные и расчетные данные

№ резистора	R_1	R_2	R_3	R_4	R_5	R_6	Примечание
U , В							Измерено
I , А							
R , Ом							Вычислено

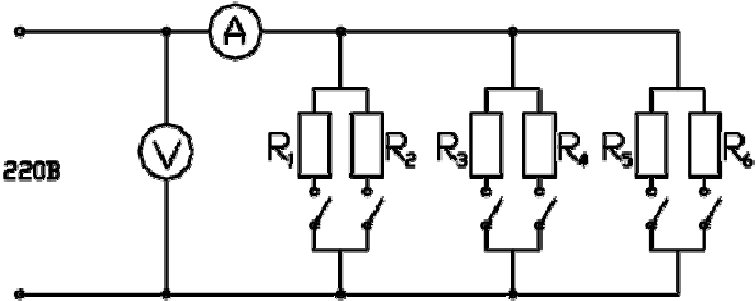


Рисунок 1.3 – Схема экспериментальной установки

3. Собрать схему в соответствии с рисунком 1.4. Установить регулятором значение напряжения источника, равное 220 В. Измерить токи I , I_1 , I_3 и напряжения на указанных участках цепи. Полученные результаты занести в таблицу 1.2.
4. Рассчитать ток и напряжение на участках цепи (рисунок 1.4). Величину сопротивлений резисторов взять из пункта 2. Результаты расчетов занести в таблицу 1.2.

Таблица 1.2 - Экспериментальные и расчетные данные

Способ получения результата	Значения величин					
	U , В	I , А	U_{I3} , В	U_5 , В	I_1 , А	I_3 , А
Расчет						
Эксперимент						

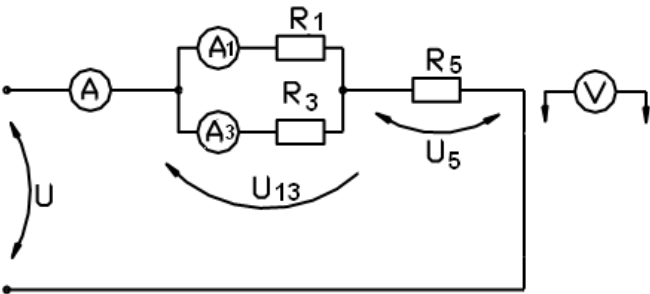


Рисунок 1.4 – Схема экспериментальной установки

5. Собрать схему согласно рисунку 1.5а. Установить регулятором значение напряжения источника, равное 110 В. Измерить токи и на-

пряжения на участках цепи. Результаты измерений занести в таблицу 1.3. Прodelать аналогичные действия со схемой, приведенной на рисунке 1.5б, установив напряжение источника питания, равное 220 В. Результаты измерений также занести в таблицу 1.3.

6. Рассчитать токи и напряжения U_{ab} , U_{bc} , U_{bd} на участках цепи, указанных на рисунках 1.5а и 1.5б, с использованием законов Ома и Кирхгофа. Данные расчетов занести в таблицу 1.3.

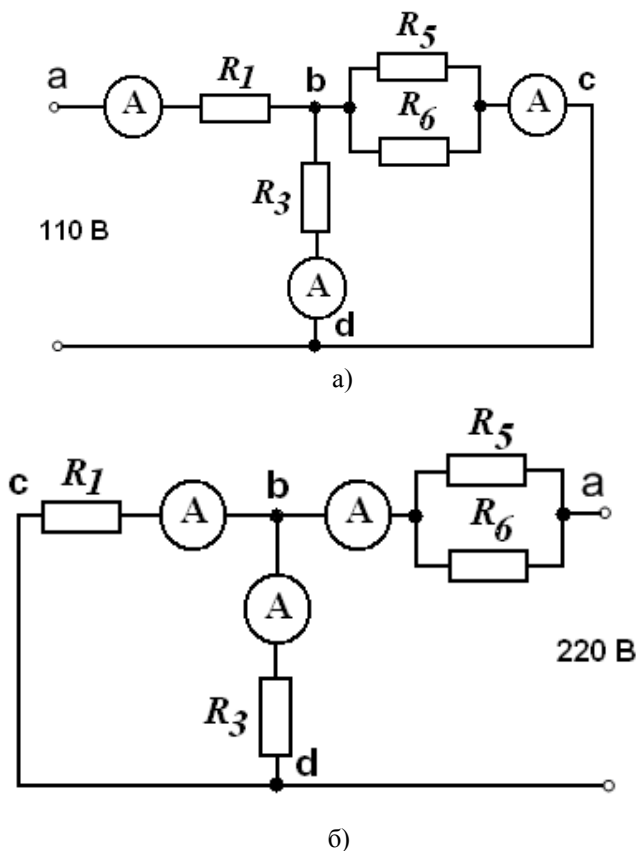


Рисунок 1.5 - Схемы экспериментальной установки

Таблица 1.3 - Экспериментальные и расчетные данные

Способ получения результата	Значение величин						Рисунок
	$U_{ab},$ В	$U_{bc},$ В	$U_{bd},$ В	$I_{ab},$ А	$I_{bc},$ А	$I_{bd},$ А	
Расчет							1.5а
Эксперимент							
Расчет							1.5б
Эксперимент							

1.4. Содержание отчета

1. Схема экспериментальной установки.
2. Расчеты исследуемых цепей на основании формул (1.1) – (1.9).
3. Результаты экспериментальных и расчетных данных (заполненные таблицы 1.1, 1.2, 1.3).
4. Выводы.

1.5. Контрольные вопросы

1. Какие эквивалентные преобразования в резистивных цепях с одним источником энергии вы знаете?
2. Чему равно общее сопротивление электрической цепи при параллельном соединении четырех резисторов, если их сопротивления одинаковы? Если различны?
3. Сформулируйте законы Кирхгофа и закон Ома для участка цепи.
4. Запишите уравнение баланса мощностей в электрических цепях.
5. Влияют ли на состояние цепи измерительные приборы (амперметр, вольтметр)? Как следует их включать в цепь?
6. Опишите понятие идеального источника напряжения и идеального источника тока. Изобразите их вольтамперные характеристики.
7. Прокомментируйте результаты расчетов.
8. Чему равно общее сопротивление электрической цепи, если последовательно с резистором 10 Ом включены два параллельно соединенных резистора по 20 Ом каждый?

2. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №2

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЙ ЛИНЕЙНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ

2.1. Цель работы.

1. Экспериментальное исследование основных свойств линейных элементов электрических цепей: сопротивления, индуктивности и емкости.

2. Изучение соотношений, связывающих напряжения и токи в пассивных элементах схем замещения.

2.2. Теоретические сведения

В работе рассматриваются в качестве линейных элементов электрических цепей резистор, катушка индуктивности и конденсатор, работающие на промышленной частоте.

Схема замещения резистора состоит из одного резистивного элемента. Напряжение и ток на нем совпадают по фазе, реактивное сопротивление равно нулю. Векторная и временная диаграммы тока и напряжения цепи с резистивным элементом изображены на рисунке 2.1.

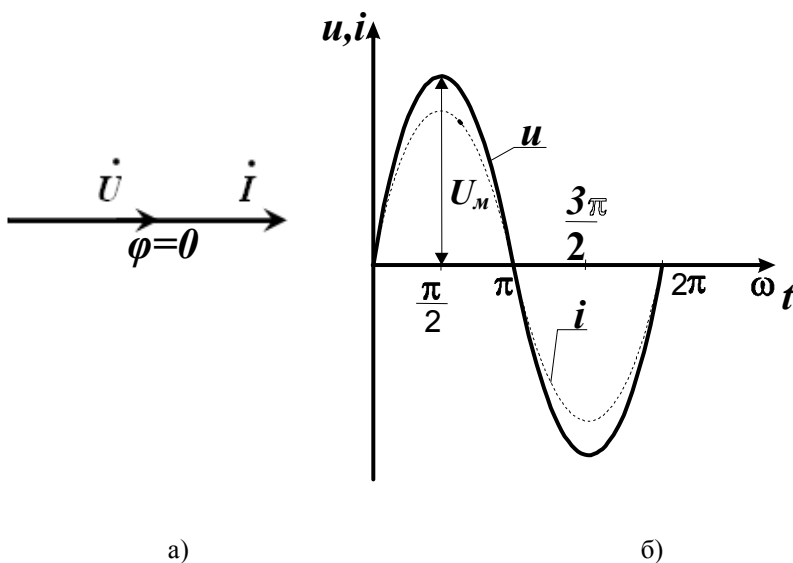


Рисунок 2.1 – Векторная (а) и временная (б) диаграммы тока и напряжения цепи с резистивным элементом

Величину сопротивления резистора легко определить по закону Ома

$$R = \frac{U}{I}, \quad (2.1)$$

где U – напряжение на зажимах резистора; I – ток через резистор. Для линейного резистора можно построить вольтамперную характеристику (ВАХ) по двум значениям напряжения и тока. Так как сопротивление резистора – постоянная величина, то его ВАХ является прямой линией. По ВАХ резистора, взяв любую точку, можно определить его сопротивление по закону Ома.

В конденсаторе при синусоидальном воздействии ток опережает напряжение на угол 90° . Векторная и временная диаграммы тока и напряжения цепи с идеальным конденсатором представлены на рисунке 2.2.

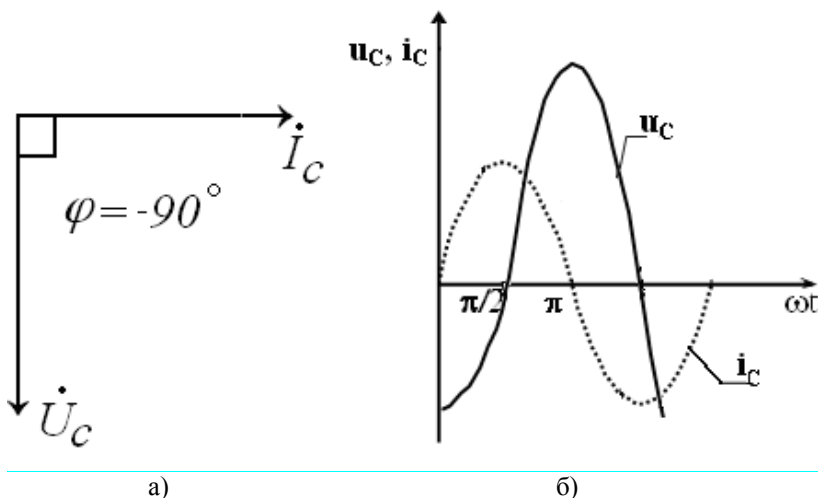


Рисунок 2.2 – Векторная (а) и временная (б) диаграммы цепи с идеальным конденсатором

Соотношение, связывающее ток и напряжение на конденсаторе, определяется формулой

$$i_C = C \frac{du_C}{dt}, \quad (2.2)$$

где C – емкость конденсатора; i_c – мгновенное значение тока; u_c – мгновенное значение напряжения. Действующие значения тока и напряжения связываются соотношением

$$U = X_C I, \quad (2.3)$$

где $X_C = \frac{1}{\omega C}$ – емкостное сопротивление конденсатора.

Измеряя действующее значение тока и напряжения на конденсаторе и считая его идеальным, можно определить его емкость по формуле

$$C = \frac{I}{U \omega}, \quad (2.4)$$

На катушке индуктивности напряжение опережает ток на угол 90° . Векторная и временная диаграммы цепи с идеальной катушкой показаны на рисунке 2.3.

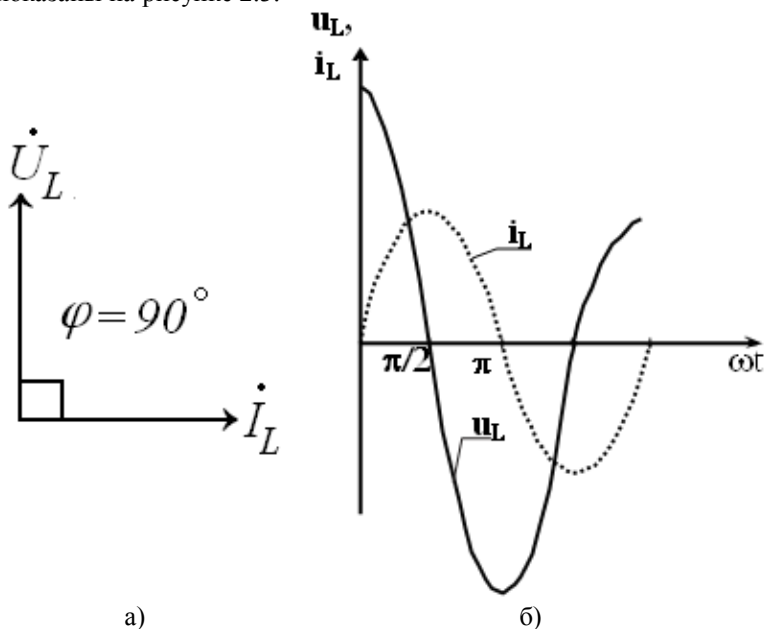


Рисунок 2.3 – Векторная (а) и временная (б) диаграммы цепи с идеальной катушкой индуктивности

В реальном случае этот угол меньше 90° , так как катушка индуктивности обладает внутренним активным сопротивлением обмотки R_L . Схема замещения реальной катушки индуктивности выглядит, как показано на рисунке 2.4.

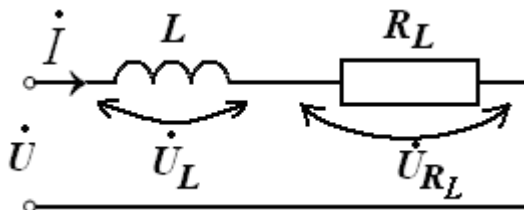


Рисунок 2.4 – Схема замещения реальной катушки индуктивности

Векторная диаграмма токов и напряжений для реальной катушки (рисунок 2.4) строится с учетом сдвигов фаз между напряжением и током в индуктивном и резистивном элементах (рисунок 2.5)

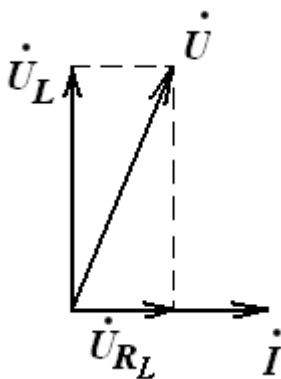


Рисунок 2.5 – Векторная диаграмма тока и напряжений реальной катушки индуктивности

Соотношение между током и напряжением на идеальной катушке определяется формулой

$$u_L = L \frac{di_L}{dt}, \quad (2.5)$$

где u_L – мгновенное напряжение на катушке; i_l – мгновенное значение тока в катушке.

Катушка обладает реактивным сопротивлением

$$X_L = \omega L, \quad (2.6)$$

где L – индуктивность катушки; ω – круговая частота.

2.3. Порядок выполнения лабораторной работы

1. Поочередно собрать электрические цепи согласно рисунку 2.6. Подать на вход переменное напряжение 200 В от регулируемого источника напряжения и измерить ток через резистор, катушку индуктивности и конденсатор соответственно. Все переключения производить при выключенном источнике. Результаты эксперимента занести в таблицу 2.1.

2. Подключить те же цепи к регулируемому источнику постоянного напряжения. Амперметр должен быть магнитоэлектрического типа (на шкале таких приборов присутствует прямая горизонтальная черта или специальный знак ). Для резистора и конденсатора входное напряжение установить равным 200 В, измерить ток в этих элементах. Для катушки индуктивности входное напряжение установить таким образом, чтобы ток на ней **не превышал 0,5 А** ! Результаты эксперимента занести в таблицу 2.2.

3. Определить полное сопротивление исследуемых элементов по закону Ома для действующих значений напряжения и тока: $Z = U / I$. Результаты расчета занести в таблицу 2.1.

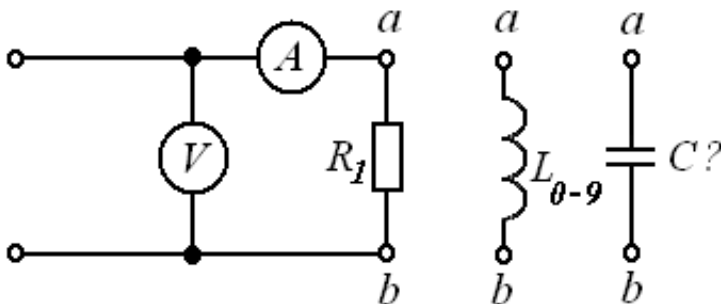


Рисунок 2.6 - Схема экспериментальной установки

Таблица 2.1 - Экспериментальные и расчетные данные для переменного тока

Элемент	Резистор	Катушка	Конденсатор
$U, В$			
$I, А$			
$Z, Ом$			

Таблица 2.2 - Экспериментальные и расчетные данные для постоянного тока

Элемент	Резистор	Катушка	Конденсатор
$U, В$			
$I, А$			
$R, Ом$			-

4. По данным таблиц 2.1, 2.2 рассчитать следующие параметры исследуемых элементов схем замещения:

– полное сопротивление каждого элемента $Z = \frac{U}{I}$ (таблица 2.1);

– активное сопротивление резистора R (таблица 2.2);

– активное сопротивление катушки индуктивности $R_L = \frac{U}{I}$ (таблица 2.2);

– активное сопротивление конденсатора $R_C = \frac{U}{I}$ $R_L = \frac{U}{I}$ (таблица 2.2);

– реактивное сопротивление катушки индуктивности $X_L = \sqrt{Z_L^2 - R_L^2}$;

– индуктивность катушки $L = \frac{X_L}{\omega}$;

– реактивное сопротивление конденсатора принять равным полному сопротивлению $x_C = Z_C$: конденсатор считается идеальным;

– емкость конденсатора $C = \frac{1}{\omega x_C}$;

– значение угла сдвига фаз между синусоидальным напряжением и током для каждого элемента $\varphi = \arctg(X/R)$;

– эксплуатационный параметр – коэффициент мощности $\cos \varphi$ для каждого элемента.

Результаты расчетов занести в таблицу 2.3.

Таблица 2.3 - Результаты расчета параметров элементов электрических цепей

Параметр	Z , Ом	R , Ом	X , Ом	$\cos \varphi$	φ , град	L , Гн	C , мкФ
Резистор							
Катушка							
Конденсатор							

5. Записать комплексное сопротивление $\underline{Z}$ всех трех элементов, используя алгебраическую и показательную формы записи комплексных чисел

$$\underline{Z} = z e^{j\varphi} = R + jX$$

6. Построить векторные диаграммы напряжений и токов для всех элементов, используя рисунки 2.1а, 2.2а, 2.5.

2.4. Содержание отчета

1. Схема эксперимента.
2. Результаты экспериментальных и расчетных данных (заполненные таблицы 2.1 -2.3).
3. Расчет параметров резистора, катушки индуктивности и конденсатора по п. 4 порядка выполнения работы.
4. Алгебраическая и показательная формы записи комплексного сопротивления всех элементов.
5. Векторные диаграммы тока и напряжений для всех элементов.
6. Выводы.

2.5. Контрольные вопросы

1. Назовите основные величины, характеризующие синусоидальный ток.
2. Как связаны между собой действующие и амплитудные значения синусоидальных токов и напряжений? Привести доказательство.
3. Дайте определение комплекса действующего значения синусоидальной функции и его графическую интерпретацию.
4. Чему равно индуктивное (емкостное) сопротивление, в каких единицах оно измеряется?
5. Чему равно полное сопротивление катушки индуктивности при постоянном токе? При переменном токе?
6. Чему равно полное сопротивление конденсатора при постоянном токе? При переменном токе?
7. Чему равно полное сопротивление резистора при постоянном токе? При переменном токе?
8. Что такое коэффициент мощности?
9. Чем отличается идеальная катушка индуктивности от реальной?

3. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №3 ЦЕПЬ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА С ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫМ СОЕДИНЕНИЕМ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ

3.1. Цель работы

1. Проверка справедливости закона Ома для неразветвленной цепи переменного тока, состоящей из резистора, катушки индуктивности и конденсатора.
2. Изучение явления резонанса напряжений и условий его возникновения.
3. Выработка навыков построения векторных диаграмм

3.2. Теоретические сведения

Для цепи переменного синусоидального тока, включающей последовательно соединенные резистивный, индуктивный и емкостной элементы, закон Ома для действующих значений напряжения и тока определяется соотношением:

$$I = U/Z, \quad (3.1)$$

где I – действующее значение входного тока;

U – действующее напряжение на зажимах цепи;

Z – полное сопротивление цепи, определяемое по формуле

$$Z = \sqrt{R^2 + (x_L - x_C)^2}, \quad (3.2)$$

где R – сопротивление резистивного элемента;

$X_L = \omega L$ – реактивное сопротивление индуктивного элемента

$X_C = \frac{1}{\omega C}$ – реактивное сопротивление емкостного элемента.

В таких цепях, называемых также последовательным RLC контуром, возможно явление резонанса. Под электрическим резонансом понимается такой режим работы цепи, при котором ее входное сопротивление имеет чисто резистивный характер. Иначе говоря, это явление полной взаимной компенсации индуктивного и емкостного сопротивлений, что следует из (3.2)

Резонанс в последовательном RLC -контуре называется резонансом напряжений.

Условием наступления резонанса является равенство реактивных сопротивлений цепи:

$$\omega L = \frac{1}{\omega C}, \quad (3.3)$$

Резонанса в рассматриваемой цепи можно достичь, изменяя индуктивность или емкость (параметрический резонанс), либо частоту (частотный резонанс).

Резонансное значение емкости рассчитывается на основании (3.3)

$$C_0 = \frac{1}{\omega^2 L}, \quad (3.4)$$

резонансная частота определяется по формуле

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}. \quad (3.5)$$

При резонансе значение входного тока достигает максимального значения за счет минимального значения входного сопротивления цепи $Z = R$. Напряжения на индуктивном и емкостном элементах при этом равны и противоположны по направлению. Сдвиг фаз между входным напряжением и током равен нулю (сопротивление цепи имеет чисто активный характер).

Характеристическим сопротивлением RLC -цепи называется величина

$$\rho = \sqrt{\frac{L}{C}}. \quad (3.6)$$

Добротность колебательного контура определяется по формуле

$$Q = \frac{\rho}{R}, \quad (3.7)$$

При резонансе напряжения на индуктивности и емкости определяются соотношением

$$U_L = U_C = QU_{\text{вх}}, \quad (3.8)$$

где $U_{\text{вх}}$ – входное напряжение цепи.

Таким образом, из (3.8) следует, что в режиме резонанса напряжения на индуктивном и емкостном элементах может превосходить входное напряжение по величине.

Векторная диаграмма резонансного режима в последовательном RLC контуре изображена на рисунке 3.1.

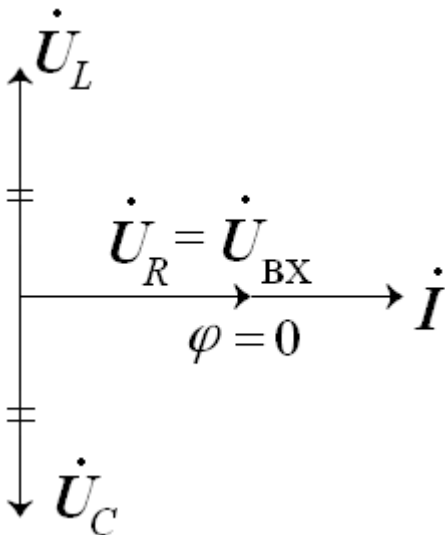


Рисунок 3.1 – Векторная диаграмма тока и напряжений последовательной RLC – цепи в режиме резонанса.

3.3. Порядок выполнения работы

1. Для схемы, представленной на рисунке 3.2, рассчитать полное сопротивление последовательной цепи, а также действующие значения тока и напряжений по формулам: (3.1), (3.2), $U_R = RI$; $U_L = X_L I$; $U_C = X_C I$.

Величины сопротивлений элементов цепи взять из результатов лабораторных работ №1 и №2. Результаты расчета занести в таблицу 1.

Таблица 3.1 - Экспериментальные и расчетные данные

Способ получения результатов	Значение величин			
	I, A	U_R, B	U_L, B	U_C, B
Расчет				
Эксперимент				

2. Собрать схему согласно рисунку 3.2, подать на вход переменное напряжение, равное 140 В, и измерить ток и падения напряжения на элементах цепи. Показания приборов занести в таблицу 3.1.
3. Рассчитать резонансное значение емкости конденсатора C_0 по формуле (3.4)
4. Произвести измерение параметров цепи для режимов, указанных в таблице 3.2. Значения $C < C_{рез}$, $C > C_{рез}$ подобрать самостоятельно. Полученные данные занести в таблицу 3.2.

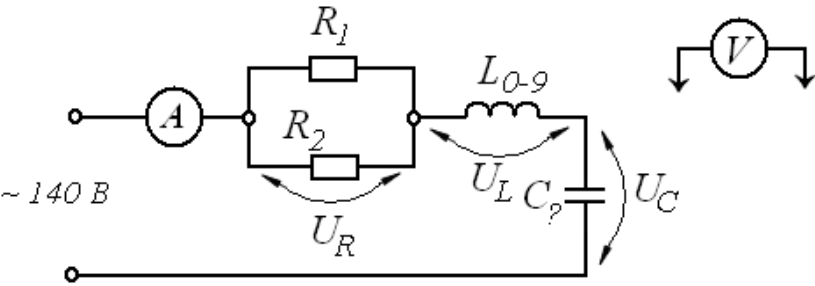


Рисунок 3.2 - Схема экспериментальной установки

Таблица 3.2 - Экспериментальные данные

	Режим	$C, \text{мкФ}$	I, A	U_R, B	U_L, B	U_C, B
	$C = 0$					
2	$C < C_{рез}$					
3						
4						
5	$C = C_{рез}$					
6	$C > C_{рез}$					
7						
8						

5. По данным таблицы 3.2 построить графики $I = f(C)$, $U_R = f(C)$, $U_L = f(C)$, $U_C = f(C)$ в одной системе координат.

6. Построить векторные диаграммы тока и напряжений для трех случаев: $C < C_{рез}$, $C = C_{рез}$, $C > C_{рез}$.

3.4. Содержание отчета

1. Схема лабораторной установки
2. Результаты экспериментальных и расчетных данных (заполненные таблицы 3.1, 3.2)
3. Графики зависимостей $I = f(C)$, $U_R = f(C)$, $U_L = f(C)$, $U_C = f(C)$.
4. Векторные диаграммы тока и напряжений для случаев: $C < C_{рез}$, $C = C_{рез}$, $C > C_{рез}$.
5. Выводы.

3.5. Контрольные вопросы

1. Сформулируйте закон Ома и законы Кирхгофа для последовательной RLC - цепи переменного тока.
2. Что такое резонанс? Назовите пути достижения этого режима в неразветвленной цепи (рисунок 3.2).
3. Может ли напряжение на реактивном элементе неразветвленной цепи (рисунок 3.2) быть больше входного напряжения?
4. Чему равен коэффициент мощности $\cos \varphi$ при резонансе напряжений?
5. В чем заключается практическое значение явления резонанса напряжений?
6. Объясните построение векторных диаграмм.
7. Чему равно полное сопротивление последовательной RLC при резонансе.

3. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №4 ЦЕПЬ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА С ПАРАЛЛЕЛЬНЫМ СОЕДИНЕНИЕМ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ

4.1. Цель работы

1. Исследование цепи с параллельным соединением потребителей.
2. Изучение явления резонанса токов, условий его возникновения и практического использования.
3. Выработка навыков построения векторных диаграмм.

4.2. Теоретические сведения

Для цепи переменного синусоидального тока, включающей параллельно соединенные резистивный, индуктивный емкостной элементы, закон Ома для действующих значений тока напряжения записывается в виде

$$I = U Y, \quad (4.1)$$

где I – действующее значение входного тока;

U – действующее значение входного напряжения;

Y – полная проводимость параллельной RLC – цепи, определяемая по формуле:

$$Y = \sqrt{g^2 + (b_L - b_C)}, \quad (4.2)$$

где $g = I / R$ – активная проводимость цепи;

$b = b_L - b_C$ – реактивная проводимость;

$b_L = I / X_L$ – индуктивная проводимость цепи;

$b_C = I / X_C$ – емкостная проводимость цепи.

Активная, реактивная проводимость измеряется в Сименсах (Сим).

В параллельной RLC – цепи возможно явление резонанса токов, условием наступления которого является равенство индуктивной и емкостной проводимостей:

$$b_C = b_L, \quad (4.3)$$

Условие резонанса токов в параллельной RLC -цепи совпадает с условием резонанса напряжений в последовательной RLC -цепи.

В режиме резонанса входной ток параллельной RLC -цепи минимален ввиду минимального значения входной проводимости: $Y = g$. Токи через реактивные элементы одинаковы по величине и противоположны по направлению. Сдвиг фаз между входным напряжением и входным током равен нулю. Векторная диаграмма резонансного режима в параллельной RLC -цепи изображена на рисунке 4.1.

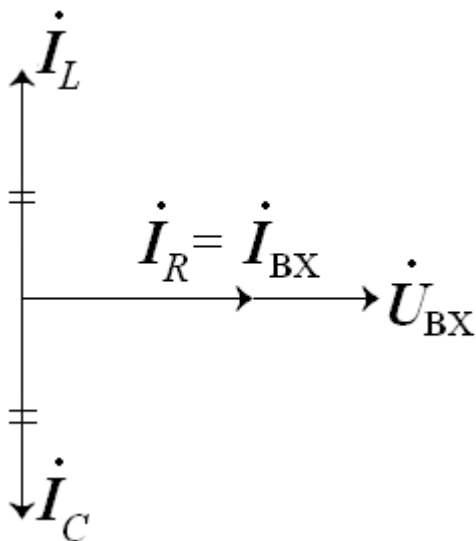


Рисунок 4.1 – Векторная диаграмма токов и напряжения в режиме резонанса

4.3 Порядок выполнения работы

1. Для схемы (рисунок 4.2) рассчитать проводимости ветвей, полную проводимость цепи, а также действующее значение токов в ветвях по формулам: (4.1), (4.2), $I_R = U g$; $I_C = U b_C$; $I_L = U b_L$.

Параметры элементов цепи взять из результатов работ №1 и №2. Результаты расчета занести в таблицу 4.1.

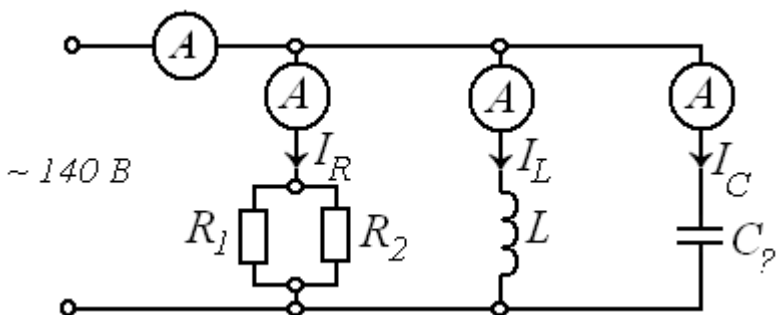


Рисунок 4.2 – Схема экспериментальной установки

Таблица 4.1 - Экспериментальные и расчетные данные

Способ получения результатов	Значение величин				Рисунок
	I, A	I_R, A	I_L, A	I_C, A	
Расчет					4.2
Опыт					

2. Собрать схему (рисунок 4.2), подать на вход переменное напряжение равное 140 В. Измерить токи в неразветвленной части цепи и во всех ветвях.

Показания приборов занести в таблицу 4.1.

3. Рассчитать резонансное значение емкости конденсатора C_0 (параметрический резонанс), считая условием резонанса соотношение: $b_L = b_C$ или $\omega C = 1 / \omega L$.

Полученное значение емкости занести в таблицу 4.2.

4. Произвести измерение параметров цепи для режимов, указанных в таблице 4.2. Значения $C < C_{рез}$, $C = C_{рез}$ взять из лабораторной работы №3. Полученные данные занести в таблицу 4.2.

Таблица 4.2 - Экспериментальные данные

	Режим	$C, мкФ$	I, A	I_R, B	I_L, B	I_C, B
1	$C < C_{рез}$					
2						
3						
4	$C = C_{рез}$					
5	$C > C_{рез}$					
6						
7						

5. По данным таблицы 4.2 построить графики $I = f(C)$, $I_R = f(C)$, $I_L = f(C)$, $I_C = f(C)$ в одной системе координат.

6. Построить векторные диаграммы тока и напряжений для трех случаев: $C < C_{рез}$, $C = C_{рез}$, $C > C_{рез}$.

4.4. Содержание отчета

1. Схема экспериментальной установки.
2. Результаты экспериментальных и расчетных данных (заполненные таблицы 4.1, 4.2)
3. Графики зависимостей $I=f(C)$, $I_L=f(C)$, $I_C=f(C)$.

4. Векторные диаграммы токов и напряжения для трех случаев: $C < C_{рез}$, $C = C_{рез}$, $C > C_{рез}$.
5. Выводы.

4.5. Контрольные вопросы

1. Сформулируйте законы Кирхгофа и запишите их частный вид, соответствующей исследуемой цепи.
2. Что такое реактивная проводимость, в каких единицах она измеряется?
3. В каких случаях вектор тока совпадает с вектором напряжения, отстает от вектора напряжения и опережает его?
4. Что такое резонанс токов?
5. В чем заключается практическое значение явления резонанса токов?
6. Почему входной ток при резонансе в исследуемой цепи минимален?
7. Чему равен коэффициент мощности? Какое численное значение приобретает он при резонансе?

5. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №5 СЛОЖНАЯ ЦЕПЬ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

5.1. Цель работы

1. Экспериментальная проверка правильности расчета цепи переменного тока со смешанным соединением элементов.
2. Изучение способов эквивалентного преобразования схем замещения цепей синусоидального тока.

5.2. Теоретические сведения

Для расчета цепей переменного синусоидального тока обычно применяется комплексный метод, основанный на представлении синусоидальных функций вращающимися векторами и теории комплексных чисел.

Например, напряжение, заданное мгновенным значением

$U(t) = U_m \sin(\omega t + \psi_u)$, в форме комплексного действующего значения записывается следующим образом:

$$\dot{U} = \frac{U_m}{\sqrt{2}} e^{j\psi_u} \quad (5.1)$$

Аналогично можно представить ток и ЭДС.

Комплексные сопротивления пассивных элементов электрических цепей определяются соотношениями:

$$\underline{Z}_r = r \quad - \text{ для резистивного элемента;}$$

$$\underline{Z}_L = j\omega L \quad - \text{ для индуктивного элемента;}$$

$$\underline{Z}_C = 1/j\omega C = -j/\omega C \quad - \text{ для емкостного элемента.}$$

В сложных цепях синусоидального тока применяются эквивалентные преобразования, аналогичные таким же преобразованиям резистивных элементов.

Рассмотрим участки цепи, включающие последовательно или параллельно соединенные пассивные элементы, представленные на рисунке 5.1.

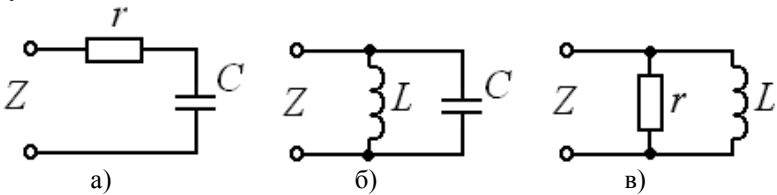


Рисунок 5.1 – Варианты соединений элементов в цепях переменного тока

Для рисунка 5.1, а комплексное сопротивление участка определяется суммой комплексных сопротивлений элементов, т.е.

$$\underline{Z} = r + \underline{Z}_C = r - j \frac{1}{\omega C}.$$

Для рисунка 5.1, б комплексное сопротивление Z определяется следующим образом:

$$\underline{Z} = \frac{\underline{Z}_L \underline{Z}_C}{\underline{Z}_L + \underline{Z}_C} = \frac{j\omega L (-j \frac{1}{\omega C})}{j\omega L - j \frac{1}{\omega C}} = -j \frac{\frac{L}{C}}{(\omega L - \frac{1}{\omega C})}$$

Таким же образом можно найти комплексное сопротивление участка цепи на рисунке 5.1, в:

$$\underline{Z} = \frac{\underline{Z}_L \underline{Z}_r}{\underline{Z}_L + \underline{Z}_r} = \frac{j\omega L r}{r + j\omega L}$$

С помощью эквивалентных преобразований и закона Ома достаточно просто рассчитывать цепи синусоидального тока с одним источником.

5.3. Порядок выполнения работы

1. Рассчитать токи и напряжения на участках цепи (рисунок 5.2) по формулам:

- 1) $R_{12} = R_1 \cdot R_2 / (R_1 + R_2)$;
- 2) $\underline{Z}_L = j\omega L$;
- 3) $\underline{Z}_C = -j/\omega c$;
- 4) $\underline{Z}_{ab} = R_{12} \cdot \underline{Z}_c / (R_{12} + \underline{Z}_c)$;
- 5) $\underline{Z}_{\Sigma} = \underline{Z}_{ab} + \underline{Z}_L$;
- 6) $\dot{I}_L = \dot{U} / \underline{Z}_{\Sigma}$;
- 7) $\dot{U}_{ab} = \dot{I}_L \underline{Z}_{ab}$;
- 8) $\dot{I}_R = \dot{U}_{ab} / R_{12}$;
- 9) $\dot{I}_C = \dot{U}_{ab} / \underline{Z}_C$;
- 10) $\dot{U}_L = \dot{I}_L \underline{Z}_L$;
- 11) $\dot{U}_R = \dot{U}_C = \dot{U}_{ab}$.

Значение емкость принять равным 10 мкФ. Параметры резисторов и индуктивности взять из данных, полученных в работах №1, №2.

Результаты расчетов занести в таблицу 5.1.

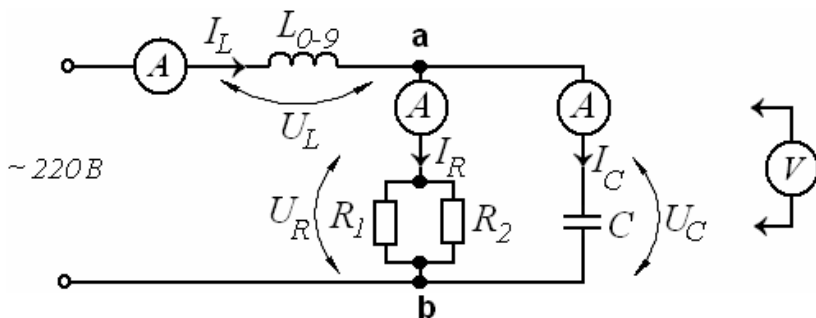


Рисунок 5.2 – Схема экспериментальной установки

2. Собрать схему (рисунок 5.2), подать на вход переменное напряжение, равное 220 В, и измерить токи и напряжения на участках цепи. Показания приборов также занести в таблицу 5.1.

Примечание: Измерение напряжения на участках цепи можно производить одним вольтметром, подключая его параллельно к этим участкам.

Таблица 5.1 - Экспериментальные и расчетные данные

Способ получения результатов	Значение величин						Рисунок
	U_L , В	U_R , В	U_C , В	I_L , А	I_R , А	I_C , А	
Расчет							5.1
Опыт							
Расчет							5.2
Опыт							

2. Рассчитать токи и напряжения на участках цепи (рисунок 5.3) по формулам:

$$1) R_{12} = R_1 \cdot R_2 / (R_1 + R_2);$$

$$2) \underline{Z}_L = j\omega L; \quad \underline{Z}_C = -j/\omega C;$$

$$3) \underline{Z}_{ab} = \underline{Z}_L \cdot \underline{Z}_C / (\underline{Z}_L + \underline{Z}_C);$$

$$4) \underline{Z}_D = R_{12} + \underline{Z}_{ab};$$

$$5) \dot{I}_R = \frac{\dot{U}_{6x}}{\underline{Z}_D};$$

$$6) \dot{U}_{ab} = \dot{I}_R \underline{Z}_{ab};$$

$$7) \dot{I}_L = \frac{\dot{U}_{ab}}{\underline{Z}_L};$$

$$8) \dot{I}_C = \frac{\dot{U}_{ab}}{\underline{Z}_C};$$

$$9) U_R = I_R \cdot R_{12};$$

$$10) \dot{U}_L = \dot{U}_C = \dot{U}_{ab}.$$

Результаты расчетов занести в таблицу 5.1.

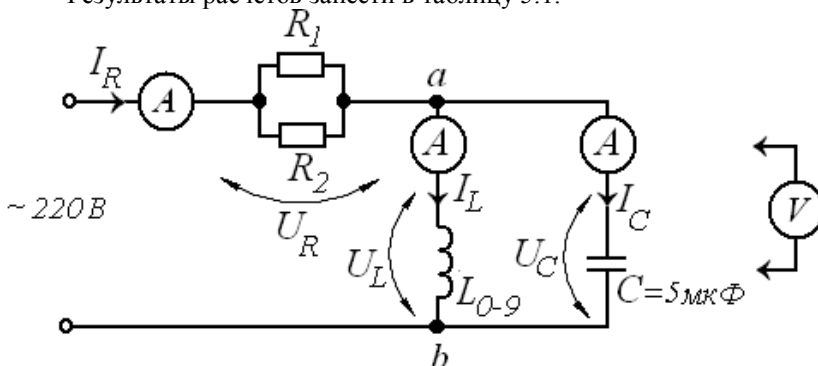


Рисунок 5.3 – Схема экспериментальной установки

4. Собрать схему согласно рисунку 5.3, подать на вход переменное напряжение, равное 220В. Измерить токи и напряжения на участках цепи. Показания приборов занести в таблицу 5.1.

5. По данным таблицы 5.1 построить совмещенные векторные диаграммы токов и напряжений, используя первый и второй законы Кирхгофа, для схем, представленных на рисунках 5.2 и 5.3.

5.4. Содержание отчета

1. Схемы экспериментальных установок
2. Расчет цепей, изображенных на рисунках 5.2, 5.3, комплексным методом
3. Экспериментальные и расчетные данные (заполненная таблица 5.1)
4. Векторные диаграммы токов и напряжений для исследуемых цепей.
5. Выводы.

5.5. Контрольные вопросы

1. Какие методы расчета сложных цепей синусоидального тока вы знаете?
2. Постройте эквивалентную схему замещения последовательного типа для цепей, показанных на рисунках 5.2 и 5.3.
3. Как определить значение угла сдвига фаз φ по векторной диаграмме?

4. Исходя из значений комплексных эквивалентных сопротивлений, найденных для каждой схемы (рисунок 5.1, 5.2), определить характер этих сопротивлений (емкостный или индуктивный).

5. Запишите законы Кирхгофа для цепей, изображенных на рисунках 5.2 и 5.3.

6. Запишите в общем виде комплексные эквивалентные сопротивления цепи, состоящей из последовательного соединения сопротивления и конденсатора (сопротивления и индуктивности, емкости и индуктивности).

7. Запишите в общем виде комплексные эквивалентные сопротивления цепи, состоящей из параллельного соединения сопротивления и конденсатора (сопротивления и индуктивности, емкости и индуктивности).

6. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №6

ИССЛЕДОВАНИЕ ТРЕХФАЗНЫХ ЦЕПЕЙ ПИТАНИЯ ПРИ СОЕДИНЕНИИ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ ЗВЕЗДОЙ

6.1. Цель работы

Изучение принципов питания аппаратуры от трехфазных источников, исследование трехфазной цепи при соединении потребителей звездой в различных режимах.

6.2. Теоретические сведения

Применение трехфазных цепей дает ряд технических и экономических преимуществ, поэтому они широко используются при питании аппаратуры повышенной мощности.

В трехфазных цепях действуют три синусоидальных э.д.с. одинаковой амплитуды E_{max} и одинаковой частоты ω с фиксированным сдвигом фазы между ними 120° ($2\pi/3$). Эти э.д.с. создаются общим трехфазным источником. На рисунке 6.1. изображены э.д.с. на выходе трехфазного источника и векторная диаграмма э.д.с. источника.

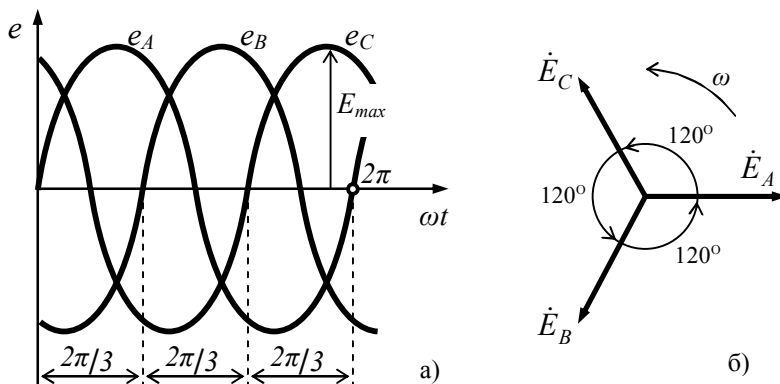


Рисунок 6.1 – Изменение мгновенных значений э.д.с. (а) и векторная диаграмма э.д.с. (б) трехфазного симметричного генератора

Каждую из частей многофазной системы, характеризующуюся одинаковым током, принято называть фазой. Таким образом, понятие «фаза» имеет в электротехнике два значения: первое – аргумент синусоидально изменяющейся величины, второе – часть многофазной системы электрических цепей.

Для получения трехфазного напряжения применяются, как правило, электромашинные генераторы. Обмотка такого генератора, расположенная на статоре, состоит из трех фаз. Оси витков трех фазных обмоток сдвинуты относительно друг друга на угол 120° . При вращении ротора в одинаковых по конструкции фазных обмотках наводятся э.д.с., имеющие одинаковые амплитуды, одинаковые фазы и сдвинутые по фазе относительно друг друга на угол 120° ($2\pi/3$). Такая система э.д.с. называется симметричной. Фазы источника принято обозначать буквами «А, В, С» или цифрами «1, 2, 3» (рисунок 6.2).

При подключении «звездой» концы фаз генератора соединяют в один общий узел O , называемый нулевой или нейтральной точкой. Провод, соединяющий нейтральные точки источника и приемника, называется нейтральным или нулевым, а провода, соединяющие начала фаз источника и приемника электрической энергии, называются линейными.

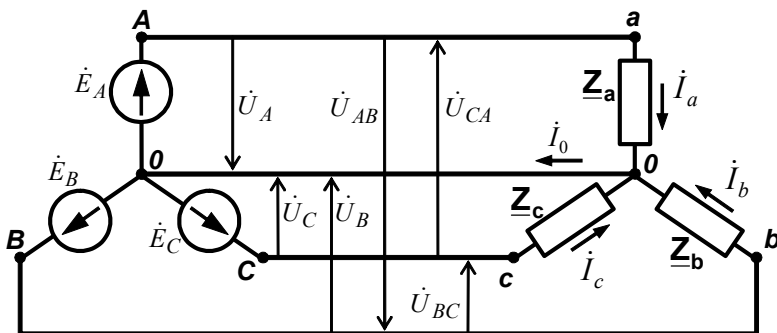


Рисунок 6.2 – Трехфазная цепь.
Схема соединения "звезда" – "звезда"

В трехфазной системе различают фазные и линейные напряжения. Фазными называют напряжения между началом и концом каждой фазы (U_A , U_B , U_C), а линейным – между двумя линейными проводами (U_{AB} , U_{BC} , U_{CA}). Пример схемы трехфазной цепи изображен на рисунке 6.2.

Для симметричной трехфазной системы действующее значение линейного напряжения в $\sqrt{3}$ раз больше фазного, $U_L = \sqrt{3} U_\phi$.

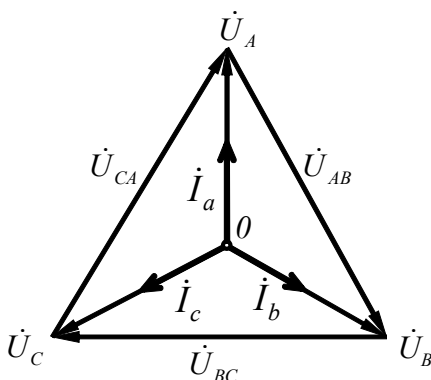


Рисунок 6.3 – Векторные диаграммы напряжений
и токов трехфазной симметричной цепи

Подобно рассмотренному трехфазному источнику приемники электрической энергии так же могут быть соединены «звездой» (рисунок 6.2.). Начала фаз приемника обычно обозначаются строчными буквами « a , b , c ». Если сопротивления фаз приемника равны, то приемник является симметричным. В противном случае – приемник несимметричен. Векторная диаграмма напряжений трехфазного симметричного источника при соединении его фаз «звездой» и резистивной нагрузке приведена на рисунке 6. 3. Направление каждого вектора тока на векторной диаграмме совпадает с направлением соответствующего вектора напряжения, и все токи имеют одинаковую амплитуду.

В трехфазных системах, в которых источник и приемник соединены звездой, часто применяется нулевой провод. Он обеспечивает сохранение симметрии фазных напряжений в случае несимметрии приемника, при этом при изменении сопротивления какой-либо фазы, фазные напряжения остаются одинаковыми. В этом случае трехфазная цепь является четырехпроводной.

В случае пренебрежения сопротивлениями линейных и нулевого проводов фазные напряжения симметричного приемника равны фазным напряжениям источника, а фазные токи, равные в данном случае линейным, можно определить по закону Ома:

$$\dot{I}_a = \frac{\dot{U}_A}{\underline{Z}_a}; \quad \dot{I}_b = \frac{\dot{U}_B}{\underline{Z}_b}; \quad \dot{I}_c = \frac{\dot{U}_C}{\underline{Z}_c} \quad , \quad (6.1)$$

где $\underline{Z}_a, \underline{Z}_b, \underline{Z}_c$ - комплексные сопротивления фаз приемника.

По первому закону Кирхгофа ток в нулевом проводе

$$\dot{I}_0 = \dot{I}_a + \dot{I}_b + \dot{I}_c . \quad (6.2)$$

В случае симметричного режима фазные токи представляют собой симметричную систему, поэтому ток в нулевом проводе $I_0 = 0$, то есть необходимость в нулевом проводе отпадает. Такая трехфазная цепь содержит только три провода.

При несимметричном приемнике ток в нулевом проводе $I_0 \neq 0$. Его значение зависит от характера сопротивлений в фазах нагрузки. В

исследуемой лабораторной установке (рисунок 6.6.) этот режим имитируется отключением одного из двух нагрузочных резисторов в какой-либо фазе.

Векторная диаграмма напряжений и токов для несимметричного режима при наличии нулевого провода изображена на рисунке 6.4.

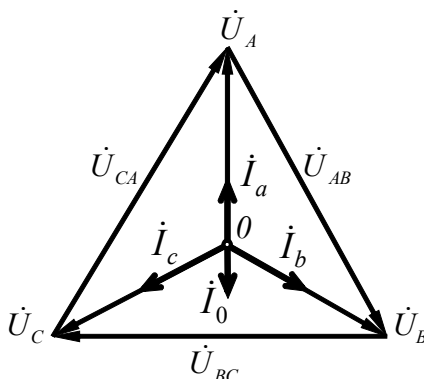


Рисунок 6.4 – Векторные диаграммы напряжений и токов для несимметричного режима при увеличении сопротивления нагрузки фазы *a*

Векторная диаграмма поясняет произошедшие в схеме изменения: сопротивления фаз *b* и *c* одинаковы, а резистивное сопротивление фазы *a* увеличено. Это приводит к тому, что амплитуды токов $\dot{I}_b$ и $\dot{I}_c$ равны, а амплитуда тока $\dot{I}_a$ уменьшилась. Следовательно, сумма токов в нулевом проводе (6.2) не равна нулю и через него течет ток $\dot{I}_0$, направленный в противоположную сторону относительно вектора тока $\dot{I}_a$. Предельным несимметричным режимом является обрыв фазы. В данной работе он имитируется отключением всех сопротивлений одной из фаз приемника. При этом отсутствует один фазный ток в той фазе, где произошел обрыв. Векторная диаграмма напряжений и токов для режима обрыва фазы *a* приведена на рисунке 6.5. Ток в нулевом проводе $\dot{I}_0$ равен сумме токов $\dot{I}_b$ и $\dot{I}_c$.

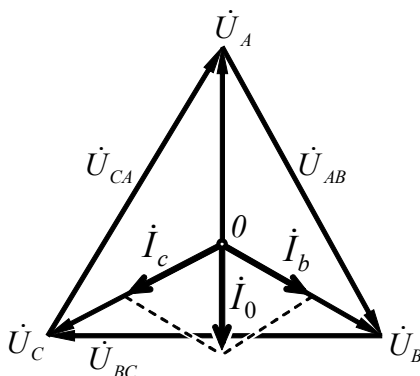


Рисунок 6.5 – Векторные диаграммы напряжений и токов в режиме обрыва фазы *a*

Короткое замыкание фазы является аварийным режимом, при котором закорачивается фаза источника и резко возрастет ток в цепи.

Внимание! Режим короткого замыкания в данной работе не исследуется.

6.3. Порядок выполнения работы

Собрать на лабораторном стенде схему согласно рисунку 8.6.

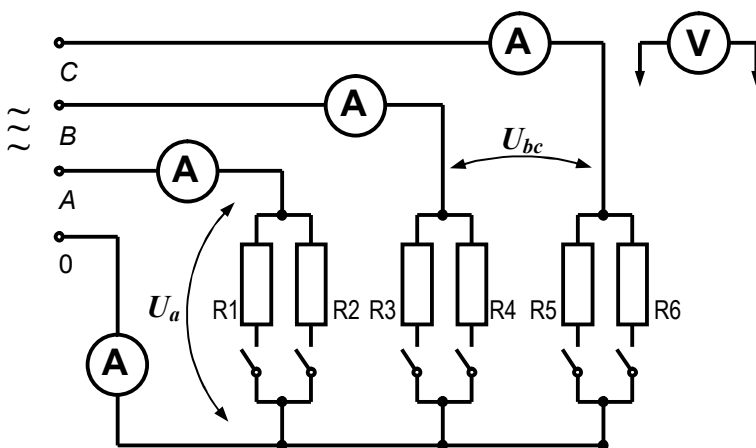


Рисунок 6.6 – Схема экспериментальной установки

1. Исследование симметричного режима

Включить все резисторы, указанные на схеме. Подать питание, включив трехфазный источник. Измерить значения фазных токов I_a , I_b , I_c в потребителях и нулевом проводе I_0 , а также значения фазных напряжений U_a , U_b , U_c и линейных напряжений U_{ab} , U_{bc} , U_{ca} . Данные опыта записать в таблицу 6.1.

Таблица 6.1 – Экспериментальные данные режимов с нулевым проводом

Режим		Напряжения						Токи			
		U_{ab}	U_{bc}	U_{ca}	U_a	U_b	U_c	I_a	I_b	I_c	I_0
		В	В	В	В	В	В	А	А	А	А
1	Симметричный										
2	Несимметричный										
3	Обрыв фазы										

2. Исследование несимметричного режима

Увеличить сопротивление третьей фазы потребителей, отключив резистор R_2 . Сделать измерения всех параметров режима с нулевым проводом. Результаты измерений также занести в таблицу 6.1.

3. Исследование режима «обрыв фазы»

Имитировать обрыв 3-й фазы потребителя, отключив резисторы R_1 и R_2 . При подключенном нулевом проводе измерить параметры этого режима и записать в таблицу 6.1.

6.4. Содержание отчета

1. Схема лабораторной установки.
2. Результаты эксперимента (заполненная таблица 6.1.)
3. Векторные диаграммы для каждого вида эксперимента.
4. Результаты расчета сопротивления каждой фазы нагрузки по формулам (6.1) для каждого из исследованных режимов.
5. Выводы.

6.5. Контрольные вопросы

1. Дайте определение трехфазной симметричной системы э.д.с.

2. Какое соединение однофазных потребителей электрической энергии называют «звездой»?

3. Что понимают под фазными и линейными напряжениями, токами?

4. Какие соотношения связывают линейные и фазные токи и напряжения при соединении звездой с нулевым проводом? Докажите это.

5. Приведите векторные диаграммы токов и напряжений при симметричной (несимметричной) нагрузке трехфазной системы.

6. Какова роль нулевого провода в трехфазной системе?

7. Как определяется ток в нулевом проводе в четырехпроводной трехфазной системе?

8. Почему нельзя проводить опыт короткого замыкания при наличии нулевого провода?

9. Начертите векторные диаграммы токов и напряжений в исследуемой схеме, если нагрузка имеет индуктивный (емкостной) характер.

10. Каковы особенность векторных диаграмм токов и напряжений в режиме обрыва фазы.

7. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №7 ТРЕХФАЗНАЯ ЦЕПЬ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА. СОЕДИНЕНИЕ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ ТРЕУГОЛЬНИКОМ

7.1. Цель работы

Исследование трехфазной цепи при соединении потребителей треугольником в различных режимах.

7.2. Теоретические сведения

При соединении фаз приемника треугольником сопротивления фаз находятся под линейными напряжениями. На рисунке 7.1 изображена схема трехфазной цепи при соединении фаз источника и приемника треугольником.

Фазные токи приемника определяются по закону Ома:

$$\dot{I}_{ab} = \frac{\dot{U}_{AB}}{\underline{Z}_{ab}}; \quad \dot{I}_{bc} = \frac{\dot{U}_{BC}}{\underline{Z}_{bc}}; \quad \dot{I}_{ca} = \frac{\dot{U}_{CA}}{\underline{Z}_{ca}}, \quad (7.1)$$

где $\underline{Z}_{ab}$, $\underline{Z}_{bc}$, $\underline{Z}_{ca}$ - комплексные сопротивления фаз приемника.

Линейные токи определяются через фазные по первому закону Кирхгофа:

$$\dot{I}_A = \dot{I}_{ab} - \dot{I}_{ca}; \quad \dot{I}_B = \dot{I}_{bc} - \dot{I}_{ab}; \quad \dot{I}_C = \dot{I}_{ca} - \dot{I}_{bc}. \quad (7.2)$$

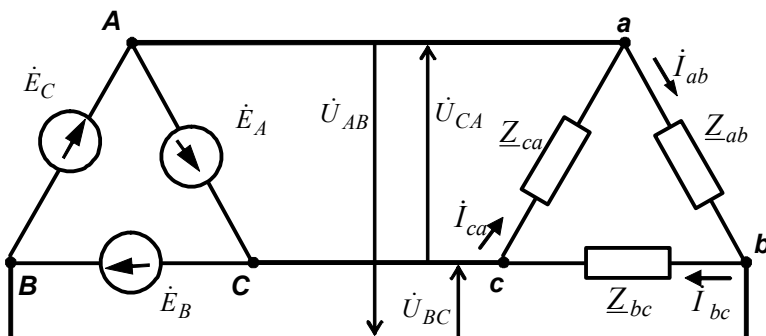


Рисунок 7.1 – Трехфазная цепь. Схема соединения «треугольник–треугольник»

В случае симметричного резистивного приемника при симметричной системе линейных напряжений U_{AB} , U_{BC} , U_{CA} фазные и линейные токи образуют также симметричные системы (рисунок 7.2) Соотношения между действующими значениями линейных и фазных токов и напряжений имеют вид:

$$I_L = \sqrt{3} I_\phi, \quad U_L = U_\phi. \quad (7.3)$$

В случае несимметричного приемника линейные и фазные токи не будут равными. Экспериментально они определяются с помощью амперметров. Линейные напряжения останутся неизменными. Фазные токи рассчитываются по закону Ома.

В данной работе в качестве сопротивлений в фазах приемника используются резисторы. Поэтому сдвиг фаз между фазными напряжениями и фазными токами φ равен нулю.

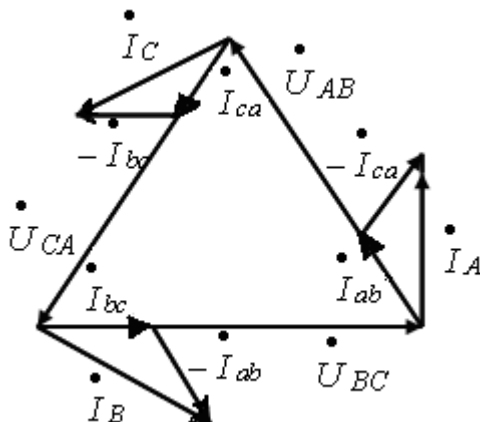


Рисунок 7.2 – Определение линейных токов по векторной диаграмме при резистивной нагрузке

Предельным несимметричным режимом является обрыв фазы. Фазные токи двух оставшихся фаз приемника и один из линейных токов не изменятся. Два других линейных тока будут равны фазным, то есть уменьшаться в $\sqrt{3}$ раз.

Аварийным режимом является обрыв линейного провода. При этом трехфазная цепь вырождается в однофазную, и ее анализ производится методом расчёта однофазных цепей.

7.3. Порядок выполнения работы

1. Собрать схему согласно рисунку 7.3.
2. Симметричный режим.

Включить все резисторы, указанные на схеме. Подать питание, включив трехфазный источник. Измерить значение линейных токов I_A , I_B , I_C , линейных (фазных) напряжений U_{ab} , U_{bc} , U_{ca} . Фазные токи вычислить по закону Ома, используя формулы 7.1 и считая сопротивления резисторов известными (данные взять из лабораторной работы №1). Результаты эксперимента и расчета записать в таблицу 7.1.

3. Несимметричный режим.

Увеличить сопротивление первой фазы потребителей, отключив резистор R1. Произвести измерение и расчет параметров этого режима и результаты записать в таблицу 7.1.

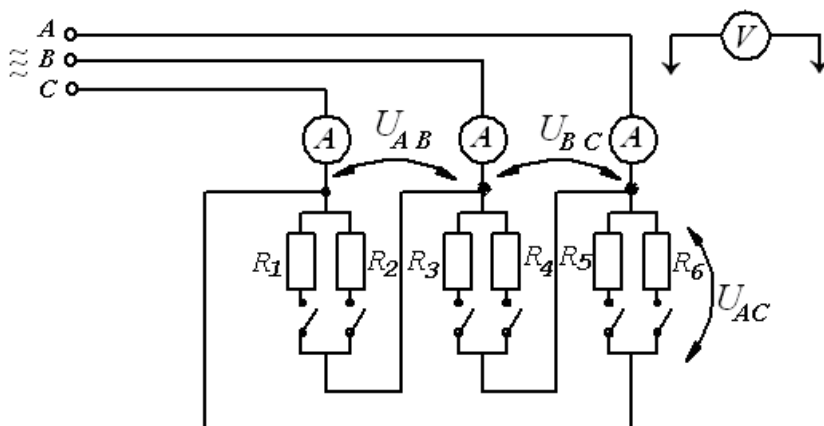


Рисунок 7.3 – Схема экспериментальной установки

Таблица 7.1 – Экспериментальные и расчетные данные

	Режим	Измерено						Вычислено		
		$U_{ab},$ B	$U_{bc},$ B	$U_{ca},$ B	$I_A,$ A	$I_B,$ A	$I_C,$ A	$I_{ab},$ A	$I_{bc},$ A	$I_{ca},$ A
1	Симметричный									
2	Несимметричный									
3	Обрыв фазы									
4	Обрыв линии									

4. Обрыв фазы приемника.

Имитировать обрыв первой фазы приемника, отключив резисторы R_1 и R_2 . Произвести измерение и расчет (по формулам 7.1) параметров данного режима и результаты записать в таблицу 7.1.

5. Обрыв линейного провода.

Отключить питание. Отсоединить от первой фазы источника линейный проводник. Включить все резисторы.

Включить трехфазный источник. Произвести измерение и расчет (по формулам 7.1) параметров режима, заполнить таблицу 7.1.

6. По данным расчетов и опытов для каждого режима построить в масштабе совмещенные векторные диаграммы токов и напряжений.

7.4. Содержание отчета

1. Схема экспериментальной установки
2. Экспериментальные и расчетные данные (заполненная таблица 7.1)
3. Векторные диаграммы исследуемой цепи для всех режимов.
4. Выводы.

7.5. Контрольные вопросы

1. Дайте определение трехфазной симметричной системы ЭДС?
2. Какое соединение потребителей электрической энергии называется соединением треугольником?
3. Что понимают под фазными и линейными проводами?
4. Что такое фазные и линейные напряжения?
5. Что такое фазные и линейные токи?
6. Приведите временные диаграммы токов и напряжений при симметричной нагрузке трехфазной системы
7. Приведите векторные диаграммы токов и напряжений при симметричной нагрузке трехфазной системы.
8. Какие соотношения связывают линейные и фазные токи и напряжения при соединении треугольником в случае симметричной нагрузки? Несимметричной нагрузки?
9. Какие аварийные режимы могут возникнуть в трехфазной системе?
10. Поясните особенности работы цепи при обрыве фазы приёмника.
11. Как рассчитываются цепи при обрыве линейного провода.

8. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №8 ИЗМЕРЕНИЕ МОЩНОСТИ В ЦЕПИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

8.1. Цель работы

1. Ознакомиться методами измерения и расчета мощности в цепях переменного тока.
2. Выработка навыков включения в цепь ваттметра.

8.2. Теоретические сведения

Протекание тока по электрической цепи сопровождается потреблением энергии от источника. Скорость поступления энергии характере-

ризуется мощностью. При анализе цепей синусоидального тока обычно различают мгновенную, активную, реактивную и полную мощности. Под мгновенной мощностью p понимают произведение мгновенного значения напряжения u на мгновенное значение тока i , протекающего по этому участку:

$$p = u i.$$

Активная мощность представляет собой энергию, которая выделяется в единицу времени в виде тепла на активном элементе цепи, и измеряется в Ваттах (Вт). Активная мощность P определяется соотношением

$$P = I^2 R = UI,$$

где R – активное сопротивление участка цепи, U – действующее значение напряжения на участке цепи, I – действующее значение тока, протекающего через этот участок. Активная мощность может быть измерена с помощью ваттметра. Механизм электродинамического ваттметра состоит из двух обмоток: токовой и обмотки напряжения. Токовая обмотка включается в цепь последовательно, а обмотка напряжения – параллельно. Зажимы обмоток, подключаемых к источнику, называют генераторными и обозначают звездочкой (*) или точкой (•) как на схеме цепи, так и на самом ваттметре.

Реактивная мощность характеризует собой ту энергию, которой обмениваются между собой источник и приемник (катушка индуктивности, емкостной элемент). Реактивную мощность Q можно вычислить следующим образом:

$$Q = I^2 x, \text{ или } Q = Q_L - Q_C$$

где x – реактивное сопротивление элемента цепи, I – действующее значение тока, протекающего через этот элемент, Q_L – реактивная мощность индуктивного элемента, Q_C – реактивная мощность емкостного элемента. Реактивную мощность принято измерять в вольт-амперах реактивных (ВАР).

Полная мощность S определяется произведением $S = UI$ где U – действующее значение напряжения, I – действующее значение тока; или

$$S = \sqrt{P^2 + (Q_L - Q_C)^2}. \quad (8.1)$$

Эта формула геометрически имеет вид треугольника мощности, указанного на рисунке 8.1.

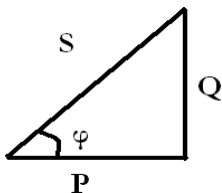


Рисунок 8.1 –Треугольник мощности

Полная мощность S измеряется в вольт-амперах (ВА).

8.3. Порядок выполнения работы

1. Ознакомится с устройством ваттметра и схемой его включения.
2. Собрать схему согласно рисунку 8.1, считая известными параметры схемы (результаты лабораторной работы №2). При сборке схемы необходимо контролировать соединение генераторных зажимов и определить цену деления ваттметра, перемножив пределы измерения по току и по напряжению и разделив это произведение на число делений шкалы ваттметра.

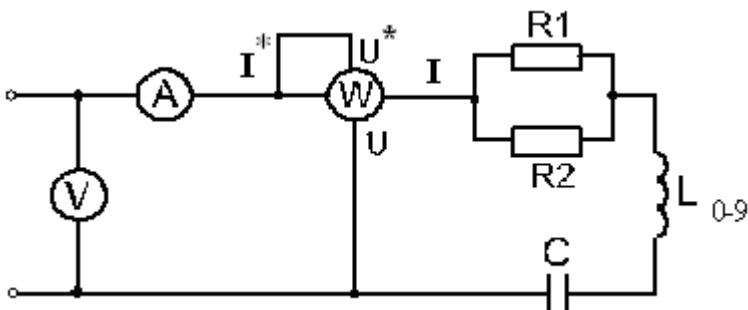


Рисунок 8.1 – Схема экспериментальной установки

3. Подать на вход цепи напряжение.
4. Измерить активную мощность, напряжение и ток в цепи. Измерение произвести для трех значений емкости C : меньше резонансного значения, равного резонансному значению и для значения емкости, большего резонансного. Значение резонансной емкости C_0 взять из лабораторной работы №3. Результаты измерений занести в таблицу 8.1.

Таблица 8.1- Экспериментальные и расчетные данные

Емкость	Измерено			Вычислено			
C	U	I	P	S	Q_L	Q_C	P
мкФ	В	А	Вт	ВА	ВАР	ВАР	Вт
$0,5C_0$							
C_0							
$2C_0$							

5. Вычислить полную мощность при переменном однофазном токе $S=UI$. Вычислить активную мощность по формуле

$$P = I^2(R_{I2} + R_L), \text{ где } R_{I2} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}; R_L - \text{активное сопротивление катушки индуктивности, рассчитанное в работе №2.}$$

Вычислить реактивные мощности на индуктивности и емкости $Q_L = I^2 X_L$, $Q_C = I^2 X_C$. Результаты расчетов занести в таблицу 8.1.

6. Осуществить проверку расчетов, основываясь на том, что полная мощность электрической цепи представляет собой геометрическую сумму активной и реактивной мощностей (8.1).

7. Построить треугольник мощностей данной цепи для всех трех случаев.

8.4. Содержание отчета

1. Схема экспериментальной установки.
2. Расчет всех видов мощностей для исследуемой цепи.
3. Экспериментальные и расчетные данные (таблица 8.1)
4. Треугольники мощностей для трех случаев.
5. Выводы.

8.5. Контрольные вопросы

1. Каково устройство и назначение ваттметра?
2. Что такое активная, реактивная и полная мощность цепи и в каких единицах они измеряются?
3. Какую мощность в цепи переменного тока измеряет ваттметр?
4. Как вычислить коэффициент мощности цепи по показаниям приборов в схеме (рисунок 8.1)?
5. Что такое комплексная мощность?

6. Записать и объяснить формулу комплексной мощности.
7. Как можно скомпенсировать реактивную мощность в цепи?

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники. Электрические цепи/ Л.А. Бессонов. – М.: Изд-во «Гардарики», 2002. – 640 с.
2. Фриск В. Основы теории цепей/ В. Фриск. – М.: Изд-во «РадиоСофт», 2002. – 288 с.
3. Основы теории цепей/ Г.В. Зевеке и др. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 752 с.
4. Теоретические основы электротехники/ К.С. Демирчян, Л.Р. Нейман, Н.В. Коровкин и др. – С.-Пб.: Изд-во «Питер», 2003. – Т.1 – 464 с.
5. Теоретические основы электротехники/ К.С. Демирчян, Л.Р. Нейман, Н.В. Коровкин и др. – С.-Пб.: Изд-во «Питер», 2003. – Т.2 – 576 с.
6. Кузовкин В.А. Теоретическая электротехника/ В.А. Кузовкин. – М.: Изд-во «Логос», 2002. – 480 с.
7. Бычков Ю.А. Основы теории электрических цепей/ Ю.А. Бычков, В.М. Золотницкий, Э.П. Чернышев. – М.: Изд-во «Лань», 2004. – 464 с.
8. Касаткин А.С. Электротехника/ А.С. Касаткин, М.В. Немцов. – М.: Высш. шк., 2003. – 542 с.
9. Данилов И.А. Общая электротехника с основами электроники/ И.А. Данилов, П.М. Иванов. – М.: Высш. шк., 2005. – 751 с.
10. Евдокимов Ф.Е. Общая электротехника/ Ф.Е. Евдокимов. – М.: Высш. шк., 2004. – 367 с.
11. Бессонов Л.А. Сборник задач по теоретическим основам электротехники/ Л.А. Бессонов. – М.: Высш. шк., 2000. – 528 с.
12. Шебес М.Р. Сборник задач по теории линейных электрических цепей/ М.Р. Шебес. – М.: Высш. шк., 1990. – 530 с.
13. Коровкин Н.В. Теоретические основы электротехники: Сборник задач/ Н.В. Коровкин, Е.Е. Селина. – С.-Пб.: Изд-во «Питер», 2004. – 512 с.
14. Прянишников В.А. Электротехника и ТОЭ в примерах и задачах/ В.А. Прянишников, Е.А. Петров, Ю.М. Осипов. – С.-Пб.: Изд-во «Корона принт», 2001. – 336 с.