

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Белгородский государственный технологический университет
им. В.Г.Шухова

Кафедра электроэнергетики и автоматики

Утверждено
научно-методическим советом
университета

«Теоретические основы электротехники»

Методические указания к выполнению лабораторных работ для
студентов направления бакалавриата 13.03.02
Электроэнергетика и электротехника

Часть 1

Белгород
2018

УДК 621.3 (07)

ББК 31.2 я7

T54

Составители: канд. техн. наук, доц. Скурятин Ю.В.

Рецензент: канд. техн. наук, доц. Кижук А.С.

Теоретические основы электротехники [Электронный
T54 ресурс]: методические указания к выполнению
лабораторных работ для студентов направления
бакалавриата 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника
: 2 ч. / сост.: Ю. В. Скурятин. – Электрон. текстовые
данные. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2018. – Ч.1. – 70 с.

В методических указаниях приведены рекомендации по подготовке к лабораторным работам, дан порядок выполнения лабораторных работ и указания по оформлению отчетов к лабораторным работам. Для подготовки к защитам лабораторных работ приведен примерный перечень контрольных вопросов и задач.

УДК 621.3 (07)

ББК 31.2 я7

© Ю. В. Скурятин, 2018

© Белгородский государственный
технологический университет
(БГТУ) им. В. Г. Шухова, 2018

Содержание

1. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ.....	4
2.ПРАВИЛА ТЕХНИКИ БЕЗОПАСНОСТИ.....	5
Лабораторная работа №1 «Исследование электрических цепей постоянного тока»	6
Лабораторная работа №2 «Исследование линии электропередачи (ЛЭП) постоянного тока».....	17
Лабораторная работа №3 «Исследование электрических цепей переменного тока при последовательном, параллельном и смешанном соединениях элементов»	23
Лабораторная работа №4 «Исследование резонансных явлений в цепях переменного тока»	37
Лабораторная работа №5 «Исследование цепей переменного тока с взаимной индукцией».....	46
Лабораторная работа №6 «Исследование трехфазных цепей при соединении потребителей «звездой»	53
Лабораторная работа №7 «Исследование трехфазных цепей при соединении потребителей «треугольником».....	59
Лабораторная работа № 8 «Исследование пассивных четырёхполюсников»	63
Лабораторная работа № 9 «Исследование электрических цепей несинусоидального тока».....	66

1 ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

В данной работе приведены методические указания к выполнению лабораторных работ по первой части курса "Теоретические основы электротехники". Лабораторные работы выполняются в лаборатории ТОО на универсальных стендах.

Целью лабораторных занятий является закрепление теоретических знаний, полученных на лекциях и в результате самостоятельной работы студента, и приобретение умений и формирование навыков экспериментального исследования электротехнических схем. Выполнение лабораторной работы включает:

- домашнюю подготовку;
- проведение эксперимента;
- обработку результатов;
- защиту работы.

Тщательная домашняя подготовка является залогом успешного выполнения лабораторной работы. Домашняя подготовка осуществляется в соответствии с заданием, приведенным в указаниях к каждой лабораторной работе. Бланк отчета с результатами домашней подготовки составляется студентом и является основным документом при допуске к работе.

Работа в лаборатории выполняется бригадами по три или четыре человека каждая. Бригада получает право приступить к сборке электрической схемы только после короткого собеседования с преподавателем по материалу домашней подготовки. Результаты эксперимента заносятся в заготовленные таблицы, схемы разбираются только после того, как полученные результаты будут проверены и завизированы преподавателем.

Отчет о работе оформляется каждым студентом самостоятельно. Для этого выполняются необходимые расчеты, построения графиков и диаграмм, проводится анализ полученных экспериментальным путем данных и сопоставление их с расчетными параметрами.

При защите лабораторных отчетов студент обязан знать:

- цель работы и ее наименование;
- порядок выполнения и методику измерений;
- наименование и характеристику используемых элементов электрической цепи;
- теоретический материал по теме работы и расчетные формулы для обработки результатов измерений.

Защита лабораторных работ проводится на специально выделенных для этого занятиях индивидуально каждым студентом.

Для подготовки к защите лабораторных работ составлены контрольные вопросы и задачи, которые приведены в указаниях к каждой работе.

2 ПРАВИЛА ТЕХНИКИ БЕЗОПАСНОСТИ

При выполнении лабораторных работ необходимо помнить об опасности поражения электрическим током и соблюдать меры предосторожности. Каждый студент, приступающий к занятиям в лаборатории, обязан сначала пройти инструктаж, ознакомиться с инструкцией по технике безопасности, имеющейся в лаборатории, расписаться в регистрационном журнале. Приступая к выполнению лабораторной работы необходимо помнить и строго соблюдать следующие правила техники безопасности:

- прежде чем приступить к соединению элементов электрической цепи, необходимо убедиться, что выключатели, размещенные на лицевой панели блока питания стенда, находятся в выключенном состоянии;

- категорически запрещается прикасаться к неизолированным соединительным зажимам и другим частям электрической цепи, находящейся под напряжением;

- включать выключатели блока питания можно только с разрешения преподавателя после проверки им схем;

- всякие изменения в схеме должны производиться при выключенных выключателях, причем после каждого пересоединения схема обязательно проверяется преподавателем;

- особую осторожность следует соблюдать при исследовании цепей с последовательным соединением индуктивностей и емкостей, поскольку в таких цепях возможно возникновение резонансных перенапряжений;

- запрещается оставлять без надзора электрическую цепь под напряжением;

- прежде чем разбирать электрическую цепь, необходимо убедиться, что все источники питания отключены;

- в случае прекращения подачи электрической энергии или других аварийных ситуациях, исследуемая установка должна быть немедленно отключена от питающей сети, а студенты должны сообщить об этом преподавателю; студент несет персональную ответственность за нарушение порядка и правил безопасности в лаборатории, а в случае порчи приборов и оборудования – материальную ответственность.

Лабораторная работа №1

Исследование электрических цепей постоянного тока

Цель работы: экспериментальное снятие внешних характеристик источников электрической энергии и определение параметров их схем замещения; определение сопротивлений резисторов; построение потенциальной диаграммы; опытное изучение распределения токов и напряжений в разветвленной электрической цепи; усвоение расчета электрических цепей с использованием уравнений Кирхгофа, а также методами контурных токов, узловых потенциалов и эквивалентного генератора.

1 Домашняя подготовка к работе

1.1. Изучить раздел курса ТОЭ, в котором рассматриваются основные законы, элементы и параметры электрических цепей [1, с.19–49, с.99–119, с. 154–197]. Усвоить основные понятия и определения теории электрических цепей: электрическая цепь, электрический ток, электродвижущая сила (э.д.с.), потенциал и напряжение, схема электрической цепи, структурные элементы цепей (узлы, ветви, контуры), виды схем замещения источников энергии, правила построения потенциальной диаграммы цепи и ее смысл. Усвоить формулировки, смысл и запись уравнений Кирхгофа, правила их составления. Усвоить метод расчета электрических цепей, основанный на использовании уравнений Кирхгофа, а также метод эквивалентного генератора.

1.2. Решить задачи (решение привести в бланке отчета).

1.2.1. Определить э.д.с. E и внутреннее сопротивление R_0 аккумулятора, если при подключении к нему резистора с сопротивлением $R_1 = 6$ Ом, напряжение на зажимах аккумулятора $U_1 = 10$ В, а при подключении резистора $R_2 = 12$ Ом, $U_2 = 12$ В. Построить внешнюю характеристику $U = f(I)$ аккумулятора. Как изменится внешняя характеристика аккумулятора, если: уменьшить внутреннее сопротивление R_0 ; увеличить э.д.с. E .

При решении задачи использовать уравнение второго закона Кирхгофа для рассматриваемой цепи

$$U + R_0 I = E,$$

а также закон Ома.

1.2.2. Для электрической цепи, приведенной на рис. 1.1, составить систему уравнений по законам Кирхгофа.

1.2.3. Используя метод эквивалентного генератора, определить ток I в цепи, приведенной на рис.1.1. Параметры элементов цепи: $E1 = 15 \text{ В}$, $E2 = 35 \text{ В}$, $E3 = 10 \text{ В}$, $R_{01} = 3 \text{ Ом}$, $R_{02} = 1 \text{ Ом}$, $R_{03} = 4 \text{ Ом}$, $R1 = 15 \text{ Ом}$, $R2 = 5 \text{ Ом}$, $R3 = 25 \text{ Ом}$, $R4 = 5 \text{ Ом}$.

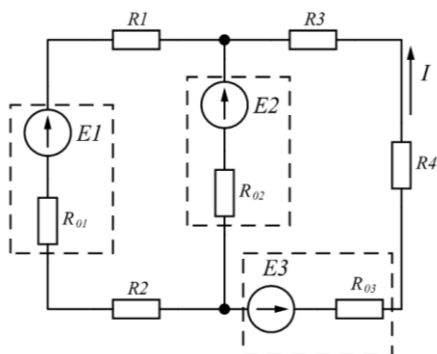


Рис. 1.1. Электрическая принципиальная схема

1.3. Изучить порядок выполнения работы. Подготовить бланк отчета, который должен содержать решения задач из подраздела 1.2, схемы и таблицы из раздела 2 «Порядок выполнения работы».

2 Порядок выполнения работы

Исследование неразветвленной электрической цепи и ее элементов

2.1. Снятие внешних характеристик и данных для определения параметров схем замещения источников электрической энергии.

2.1.1. Собрать цепь по схеме, приведенной на рис.1.2.

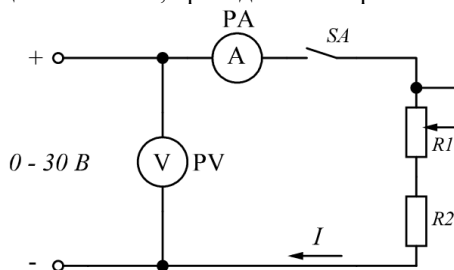


Рис.1.2. Электрическая принципиальная схема исследования источников электрической энергии

Соппротивлением $R1$ регулировать ток в цепи.

2.1.2. Снять зависимость $U(I)$, изменяя ток I в диапазоне от 0 (SA разомкнут) до 0,2 – 0,25 А. Результаты измерений записать в графу "1-й источник" табл. 1.1.

Таблица 1.1

**Данные для построения внешних характеристик
и определения параметров источников**

№ n/p	1-й источник 0-30В		2-й источник 9В		3-й источник 1,5 В	
	$U(B)$	$I(mA)$	$U(B)$	$I(mA)$	$U(B)$	$I(mA)$
1						
2						
...						
10						

2.1.3. Подключить цепь на рис. 1.2 ко второму источнику и проделать измерения согласно п. 2.1.2, при этом результаты измерений занести в графу "2-й источник" табл. 1.1.

2.1.4. Подключить цепь на рис. 1.2 к третьему источнику и проделать измерения согласно п. 2.1.2, при этом результаты измерений занести в графу "3-й источник" табл. 1.1.

2.2. Измерение сопротивления резисторов

2.2.1. Цепь на рис 1.2 подключить к первому источнику. В качестве R подключить резистор $R2$. Регулируя напряжение источника, установить удобные для отсчета значения напряжения и тока и записать их в графу $R2$ табл. 1.2.

2.2.2. Прodelать то же, что и в п. 2.2.1 с резисторами $R3-R7$. Результаты измерений записать в табл.1.2.

2.2.3. Используя данные табл.1.2 (значения напряжений и токов) по закону Ома вычислить значения сопротивлений $R2-R7$ и записать в соответствующие ячейки табл. 1.2.

Таблица 1.2

Данные для определения параметров резисторов

Измеряемые величины	$R2$	$R3$	$R4$	$R5$	$R6$	$R7$
$U(B)$						
$I(mA)$						
$R(OM)$						

2.3. Снятие данных для построения потенциальной диаграммы:

2.3.1. Собрать цепь по схеме, приведенной на рис. 1.3.

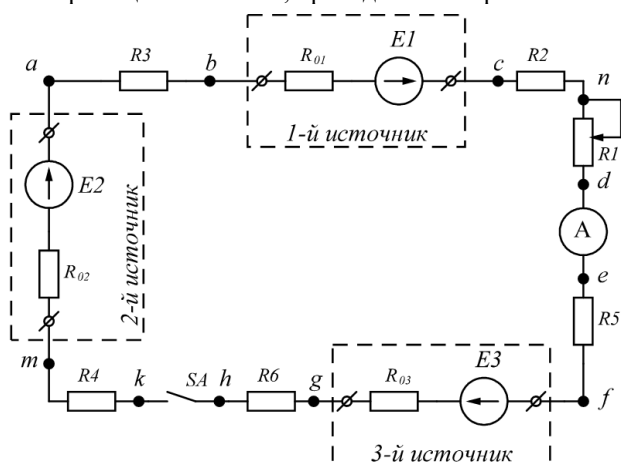


Рис.1.3. Электрическая принципиальная схема исследуемой неразветвленной цепи

2.3.2. С помощью вольтметра измерить потенциалы всех точек, обозначенных на рис. 1.3 относительно точки, указанной преподавателем. Измерения выполнить при замкнутом и при разомкнутом ключе. Результаты записать в табл. 1.3.

Таблица 1.3

Распределение потенциалов в цепи

	φ_a	φ_b	φ_c	φ_n	φ_d	φ_e	φ_f	φ_g	φ_h	φ_k	φ_m
$I = \text{---} \text{ мА}$											
$I = 0$											

Исследование сложной электрической цепи постоянного тока

2.4. Определение параметров источников.

2.4.1. Собрать цепь по схеме, приведенной на рис.1.2.

2.4.2. Измерить э.д.с. 1-го источника, как показание вольтметра при разомкнутом SA. Положение регулятора напряжения источника указывает преподаватель.

2.4.3. Установить с помощью резистора R_1 ток I в пределах 0,2-0,25 А. Измеренные значения тока I и напряжения U использовать для вычисления внутреннего сопротивления источника по формуле

$$R_0 = \frac{E - U}{I}.$$

2.4.4. Измеренные значения E и вычисленное значение R_0 записать в табл. 1.4.

Таблица 1.4

Параметры источников энергии

№ ист	Обозначение	Э.Д.С. E , В	Внутреннее сопротивление R_0 , Ом
1	0-30V	$E_1 =$	$R_{01} =$
2	9V	$E_2 =$	$R_{02} =$
3	1,5V	$E_3 =$	$R_{03} =$

2.4.5. Повторить п. 2.4.2 – 2.4.4 для источника «9V» и «1,5V».

2.5. Опытное изучение законов Кирхгофа.

2.5.1. Собрать цепь по схеме, приведенной на рис.1.4.

2.5.2. После проверки схемы руководителем занятий подать в цепь напряжение и установить значения E_1 , указанное преподавателем. Резистор R_1 должен быть в положении между MAX и $0,5 \times \text{MAX}$, что определяется по показанию амперметра РА при замкнутом ключе SA.

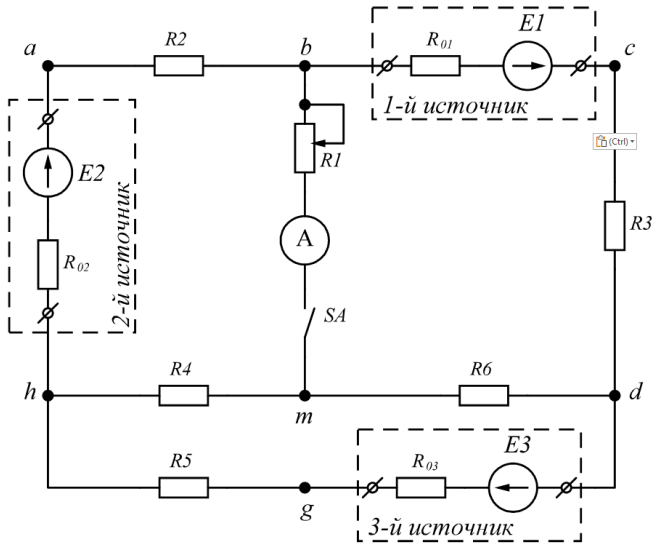


Рис. 1.4. Электрическая принципиальная схема исследуемой разветвленной цепи

2.5.3. Измерить и записать в табл. 1.5 напряжения на активных и пассивных участках цепи. Показание амперметра РА записать в графу $I_{вж}$ табл.1.6.

Таблица 1.5

Напряжения на участках цепи

U_{ab}	U_{bc}	U_{cd}	U_{dg}	U_{gh}	U_{ha}	U_{dm}	U_{mh}	U_{bm}	U_{hb}	U_{bd}
В	В	В	В	В	В	В	В	В	В	В

Примечание. Зажим "+" вольтметра всегда должен присоединяться к точке, соответствующей первой букве в индексе напряжения. При использовании стрелочного прибора при отклонении стрелки вольтметра вправо напряжение следует считать положительным, влево – отрицательным. При использовании цифрового прибора знак напряжения высвечивается на дисплее прибора.

2.5.4 Вычислить и записать в табл. 1.6 токи в ветвях. Токи (кроме I_{bm}) определить по закону Ома, зная напряжение на резисторах (табл. 1.5) и их сопротивление (табл. 1.2). Ток I_{bm} определяется непосредственным измерением (п 2.5.3).

Таблица 1.6

Токи в ветвях цепи на рис.1.4

I_{ab}	I_{bm}	I_{bc}	I_{dg}	I_{dm}	I_{mh}
А	А	А	А	А	А

2.6 Опытная проверка метода эквивалентного генератора.

2.6.1. Вычислить по данным таблиц 1.5 и 1.6 значение R_1 .

2.6.2. Измерить между точками «b» и «m» напряжение холостого хода $U_{bm\ x.x.}$, для чего необходимо разомкнуть ключ SA.

2.6.3. Измерить ток короткого замыкания ветви «bm». Для этого нужно замкнуть SA и вывести до нуля сопротивление резистора R1.

Признаком $R1=0$ является максимальное значение I_{bm} .

2.6.4 Вычислить входное (эквивалентное) сопротивление цепи относительно точек «b» и «m».

$$R_3 = \frac{U_{bm\ x.x.}}{I_{bm\ к.з.}}$$

2.6.5. Вычислить ток ветви «bm» согласно методу эквивалентного генератора по формуле

$$I_{bm} = \frac{U_{bm \text{ х.х.}}}{R_3 + R1}.$$

2.6.6. Полученное значение I_{bm} сравнить с измеренным в п.2.5.3 (см. табл.1.6).

3.7. Результаты, полученные в пп 2.6.1-2.6.5, записать в табл. 1.7.

Таблица 1.7

К методу эквивалентного генератора

$R1$	$U_{bm \text{ х.х.}}$	$I_{bm \text{ к.з.}}$	R_3	I_{bm}
Ом	В	А	Ом	А

3 Обработка результатов измерений

3.1. В общей системе координат построить внешние характеристики источников энергии $U(I)$ по данным, приведенным в табл. 1.1.

3.2. По данным из табл. 1.1 определить э.д.с. и внутреннее сопротивление источников энергии. С этой целью использовать уравнение 2-го закона Кирхгофа, подставив в него два значения напряжения при двух значениях тока из табл. 1.1. Рекомендуется использовать данные при $I=0$ и при наибольшем токе. Выбранные значения U и I , а также найденные значения E и R_0 записать в табл. 1.8.

Таблица 1.8

Параметры источников энергии

Номер источника энергии	Измерено				Вычислено	
	I_1	U_1	I_2	U_2	E	R_0
	А	В	А	В	В	Ом
1						
2						
3						

3.3. Построить потенциальные диаграммы электрической цепи (рис.3). Диаграммы для замкнутого и разомкнутого положений ключа изобразить в одной и той же системе координат.

3.4. По данным табл. 1.6 проверить справедливость 1-го закона Кирхгофа для трех узлов исследуемой цепи (рис.1.4).

3.5. По данным табл. 1.5 проверить справедливость 2-го закона Кирхгофа для всех независимых контуров.

Примечание. Вычисления по п. 3.4 и 3.5 привести в отчете.

3.6. По результатам лабораторной работы сделайте вывод.

4 Контрольные вопросы и задачи

4.1. Объясните внешние характеристики источников, снятые экспериментально. От чего зависит их наклон, а также значение U при $I=0$?

4.2. Изобразите и обоснуйте семейства характеристик $U(I)$ нескольких источников с одинаковыми E и различными R_0 .

4.3. Изобразите и обоснуйте семейства характеристик $U(I)$ нескольких источников с различными E и одинаковыми R_0 .

4.4. Определите параметры схем замещения типа "источник тока" использованных в работе источников энергии. Значения E и R_0 взять из табл. 3.1.

4.5. На рис. 1.5 и 1.6 показаны возможные варианты включения приборов при измерении сопротивления методом амперметра и вольтметра. В каких случаях и в какой схеме погрешность при вычислении R по закону Ома будет меньше, если R определять, как U_V/I_A ?

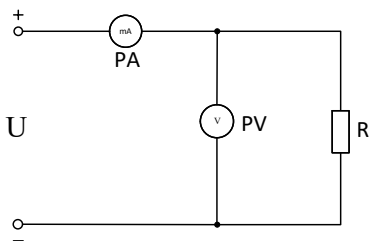


Рис.1.5.

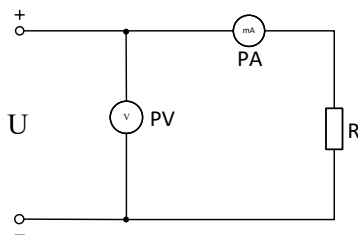


Рис.1.6.

4.6. В схемах на рис. 1.5 и 1.6 $R_V=10000 \text{ Ом}$, $R_A=2 \text{ Ом}$, $U=20 \text{ В}$. Определить показания приборов в обеих схемах в случаях: $R=10 \text{ Ом}$ и $R=1000 \text{ Ом}$. Какими окажутся во всех случаях значения R' , найденные по закону Ома, если в качестве U и I использовать показания PV и PA? Вычислить относительную погрешность по формуле:

$$\delta = \frac{R - R'}{R} \cdot 100\%.$$

и сделать вывод о применении схем на рис. 1.5 и 1.6.

4.7. Скорректируйте значения R в табл. 2.5 с учетом применяемой схемы на рис. 1.2 и сопротивления миллиамперметра.

4.8 Для измерения э. д. с. гальванической батареи к ней подключали вольтметр, сопротивление которого $R_V = 80 \text{ Ом}$. Каким

будет показание вольтметра, если э. д. с. и внутреннее сопротивление батареи $E=4,5$ В, $R_0 = 10$ Ом. Что покажет вольтметр с $R_V = 4490$ Ом? Сделайте вывод о влиянии сопротивления вольтметра на точность измерения э. д. с.

4.9. Объясните правила построения потенциальной диаграммы. От чего зависит знак и величина наклона участков диаграммы, соответствующих пассивным и активным участкам цепи?

4.10. Подтвердите расчетом значения потенциалов, полученные измерением (табл. 2.6).

4.11. На рис. 7 показана цепь зарядки аккумуляторной батареи $U=20$ В, $E=12,5$ В, $R=4,8$ Ом, $R_0=0,2$ Ом. Определите зарядный ток и напряжение на зажимах батареи.

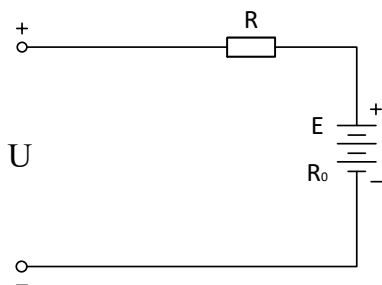


Рис. 1.7

4.12. На рис. 1.8 изображен участок цепи, где $E_1=20$ В, $I_1=2$ А, $R_1=5$ Ом, $E_2=30$ В, $I_2=3$ А, $R_2=4$ Ом, $E_3=16$ В, $I_3=4$ А, $R_3=2$ Ом. Вычислить потенциалы указанных на схемах точек и построить потенциальную диаграмму для заданного участка цепи.

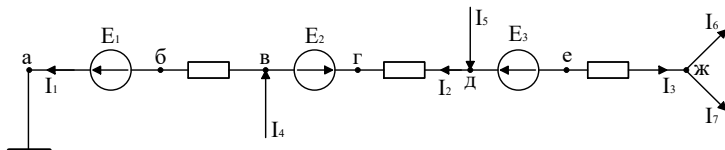


Рис. 1.8

4.13. Объясните методику составления уравнений по 1-му закону Кирхгофа для цепи на рис 1.4 (правило знаков, число уравнений). Проверьте их справедливость для измеренных значений тока (табл. 2.6).

4.14. Сформулируйте 2-й закон Кирхгофа, записанный в виде $\sum R_k I_k = \sum E_k$. Проверьте его справедливость для различных контуров цепи на рис. 9, используя данные таблиц 1.1, 2.4 и 2.6.

4.15. Сформулируйте 2-й закон Кирхгофа, записанный в виде $\sum U_k = 0$. Проверьте его справедливость для различных контуров цепи на рис. 9, используя данные таблицы 2.5.

4.16. Вычислите напряжение между точками а и в, в и д, ж и е двумя способами: пользуясь уравнениями в форме п.14 и в форме п.15.

4.17. Запишите основную формулу для расчета $I_{вж}$ методом эквивалентного генератора. Объясните путь (не делая вычислений) определения входящих в нее величин расчетным путем.

4.18. Объясните способ проверки метода эквивалентного генератора, примененный в данной работе.

4.19. Метод эквивалентного генератора в литературе иногда называют методом холостого хода и короткого замыкания. Чем это объясняется?

4.20. Не производя вычислений, объясните методику расчета методом эквивалентного генератора тока в любой другой ветви, кроме $I_{вж}$. изобразив для этого промежуточные схемы и записав соответствующие уравнения.

4.21. Составить систему уравнений Кирхгофа для цепи, на рис. 9. Определить токи в ветвях, если $E_1=30$ В; $E_2=25$ В; $E_3=11$ В; $R_1=5$ Ом; $R_2=10$ Ом; $R=8$ Ом.

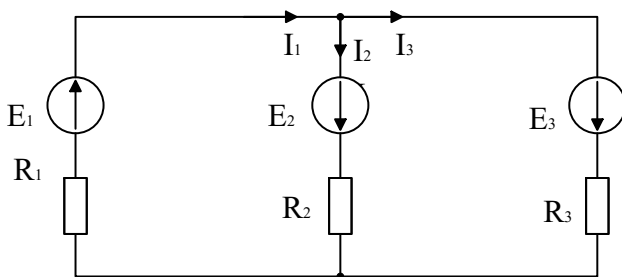


Рис. 1.9

4.22. Вычислить ток в одной из ветвей (по указанию преподавателя) в цепи на рис. 1.10 методом эквивалентного генератора.

4.23. Вычислить ток в резисторе R_1 цепи на рис. 1.11 методом эквивалентного генератора $E_1=E_3=48$ В; $\gamma=3$ А; $R_1=10$ Ом; $R_2=4$ Ом; $R_3=R_\gamma=8$ Ом.

4.24. Вычислить ток I в цепи на рис. 1.12 методом эквивалентного генератора $E=2$ В; $\gamma=4$ А; $R=4$ Ом.

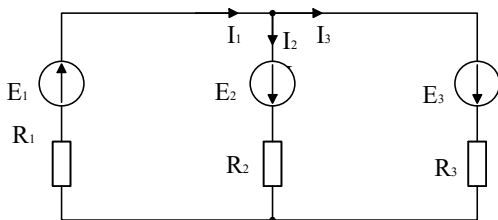


Рис. 1.10

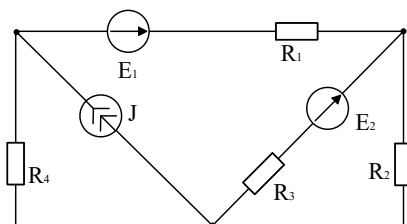


Рис. 1.11

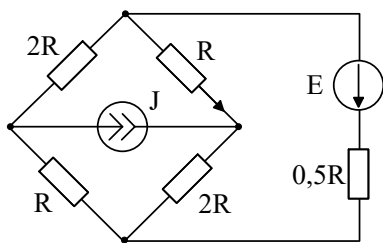


Рис. 1.12

Лабораторная работа №2

Исследование линии электропередачи постоянного тока

Цель работы – опытное изучение двухпроводной линии электропередачи (ЛЭП) в различных режимах ее работы при передаче по ней энергии постоянным током.

1 Домашняя подготовка к работе

1.1. Изучить раздел 2 «Лабораторная модель ЛЭП». Усвоить основы теории передачи электроэнергии постоянным током по двухпроводной ЛЭП. Изучить схему замещения ЛЭП и соотношения, характеризующие ее работу. Познакомиться со схемой модели линии электропередачи, уяснить для себя назначение всех приборов и элементов схемы.

1.2. Решить задачу (решение задачи привести в бланке отчета).

Сопротивление обоих проводов двухпроводной ЛЭП $R_{\text{л}}=2$ Ом, напряжение в начале линии $U_1=240$ В, сопротивление нагрузки $R_{\text{н}}=22$ Ом. Вычислить: мощность, потребляемую нагрузкой P_2 , напряжение в конце линии U_2 , потерю мощности в проводах линии ΔP , КПД линии.

1.3. Изучить порядок выполнения работы. Подготовить бланк отчета, который должен содержать схему модели (рис.2.2), а также таблицы для внесения в них результатов измерения и расчета физических величин, характеризующих работу ЛЭП (см. разд. 3 "Порядок выполнения работы"), решение задачи из подраздела 1.2.

2 Лабораторная модель ЛЭП

2.1. Схема замещения ЛЭП показана на рис. 2.1.

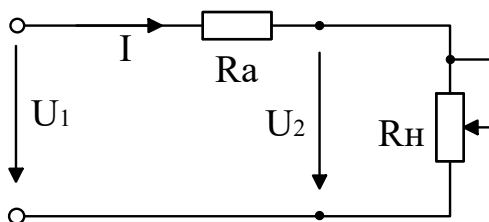


Рис. 2.1. Схема замещения ЛЭП постоянного тока

На схеме замещения обозначены: $R_{\text{л}}$ – суммарное сопротивление проводов линий; $R_{\text{н}}$ – сопротивление нагрузки; U_1 и U_2 – напряжение в начале и в конце линии соответственно; I – ток в линии и в нагрузке.

2.2. Для характеристики работы линии используются также следующие величины: $\Delta U_{\text{л}}$ – падение напряжения на проводах ЛЭП; P_2 – мощность в нагрузке; P_1 – мощность, поступающая в линию от источника энергии; $\Delta P_{\text{л}}$ – потери мощности, выделяющиеся в виде тепла в проводах линии.

2.3. Величины, указанные в п.2.1 и 2.2 связаны между собой следующими соотношениями:

$$I = \frac{U_1}{R_{\text{н}} + R_{\text{л}}}; U_2 = U_1 - \Delta U_{\text{л}}; \Delta U_{\text{л}} = IR_{\text{л}}; P_1 = U_1 I;$$

$$\Delta P_{\text{л}} = R_{\text{л}} I^2; P_2 = U_2 I \text{ или } P_2 = P_1 - \Delta P_{\text{л}}; \eta = \frac{P_2}{P_1} \cdot 100\% .$$

$$\eta = \frac{U_2}{U_1}; \eta = \frac{R_{\text{н}}}{R_{\text{н}} + R_{\text{л}}}; \eta = 1 - \frac{R_{\text{л}}}{U_1} \cdot I .$$

2.4. Схема цепи, которая служит лабораторной моделью для экспериментального исследования ЛЭП, показана на рис. 2.2.

2.5. Сопротивление линии $R_{\text{л}}$ на лабораторном стенде представляет собой последовательно соединенные резисторы R_6 и R_7 , сопротивление нагрузки $R_{\text{н}}$ – регулируемый резистор $R1$ с сопротивлением 0-330 Ом.

2.6. Для измерения напряжений в начале и в конце линии используются вольтметры PV1 и PV2. Ток в линии и нагрузке измеряется амперметром PA.

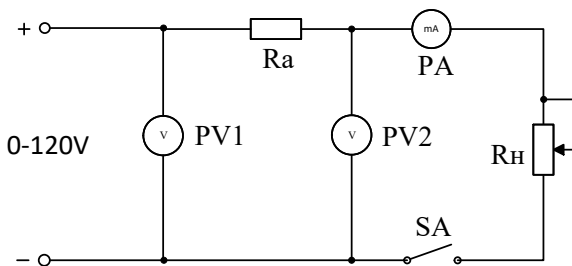


Рис.2.2 Модель ЛЭП постоянного тока

3 Порядок выполнения работы

3.1. Исследование работы линии на переменную нагрузку при неизменном напряжении в начале линии

3.1.1. Собрать цепь по схеме, приведенной на рис. 2.2. Представить схему для проверки.

3.1.2. Установить регулятор напряжения лабораторного автотрансформатора в нулевое положение, резисторы R_n в положение максимального сопротивления, ключ SA в разомкнутое состояние (режим холостого хода линии).

3.1.3. Включить блок питания и установить по вольтметру PV1 напряжение $U_1=50$ В. Записать в первую строку таблицы 2.1 значения I и U_2 .

3.1.4. Замкнуть ключ SA, установить напряжение $U_1=50$ В и записать показания PA и PV2 во вторую строку табл. 2.1.

3.1.5. Поддерживая $U_1=50$ В и уменьшая R_n до нуля, снять показания PA и PV2 и записать их в соответствующие ячейки таблицы 2.1.

Таблица 2.1

Исследование работы линии на переменную нагрузку при $U_1=50$ В (пост.) и при $R_n=200$ Ом (пост.).

№ n/n	Измерено		Вычислено					
	I	U_2	P_1	P_2	$\Delta P_{\text{л}}$	$\Delta U_{\text{л}}$	R_n	η
	А	В	Вт	Вт	Вт	В	Ом	%
1	0						∞	
2								
3								
...								
10								

3.2. Исследование влияния сопротивления проводов линии на энергетические показатели ее работы.

3.2.1. В схеме на рис.2.2 $R_{\text{л}}$ и R_n поменять местами, т. е. в качестве $R_{\text{л}}$ включить резистор с регулируемым сопротивлением, а в качестве R_n включить два соединенных последовательно резистора по 100 Ом.

3.2.2. После проверки схемы руководителем занятий установить резисторы $R_{\text{л}}$ и регулятор напряжения в нулевое положение, включить питание, установить $U_1=50$ В, записать значения I и U_2 в первую строку таблицы 2.2.

3.2.3. Изменяя сопротивление $R_{\text{л}}$ от 0 до максимального значения, измерить ток I и напряжение U_2 и записать результаты в

соответствующие ячейки таблицы 2.2. При этом напряжение в начале линии необходимо поддерживать равным $U_1=50$ В.

Таблица 2.2

**Исследование работы линии с переменным
ее сопротивлением при $U_1=50$ В и $R_n=200$ Ом**

№ n/n	Измерено		Вычислено					
	I	U_2	$\Delta U_{\text{л}}$	$R_{\text{л}}$	P_1	P_2	$\Delta P_{\text{л}}$	η
	А	В	В	Ом	Вт	Вт	Вт	%
1								
2								
3								
...								
5								

3.3. Исследование зависимости энергетических показателей линии от напряжения в начале линии U_1 при постоянной мощности в нагрузке P_2 (выполняется расчетным путем).

3.3.1. Задаться сопротивлением линии $R_{\text{л}} = 10$ Ом и мощностью нагрузки в пределах $P_2=40-50$ Вт (Конкретное значение P_2 для каждой бригады указывает преподаватель).

3.3.2. Вычислить значения тока I , учитывая, что $P_2 = U_2 I$.

3.3.3. Вычислить сопротивление R_n по закону Ома.

3.3.4. Вычислить остальные величины, указанные в таблице 2.3

Таблица 2.3

**Исследование линии при постоянной мощности $P_2= P_m$
и различных значениях $U_1, R_{\text{л}}=10$ Ом**

№ n/n	U_2	I	R_n	$\Delta U_{\text{л}}$	U_1	$\Delta P_{\text{л}}$	P_1	η
	В	А	Ом	В	В	Вт	Вт	%
1	20							
2	30							
3	50							
4	75							
5	100							

4 Обработка результатов измерений и расчетов

4.1. Рассчитать и записать величины, указанные в графах "вычислено" таблицы 2.1.

4.2. Построить графики зависимостей $\Delta U_{\text{л}}(I)$ и $U_2(I)$ в одной системе координат и $\Delta P_{\text{л}}(I)$, $P_2(I)$, $P_1(I)$ и $\eta(I)$ в другой.

4.3. Рассчитать величины в графах «вычислено» таблицы 2.2 и по полученным данным построить графики зависимостей $\Delta U_{\text{л}}(R_{\text{л}})$, $\Delta P_{\text{л}}(R_{\text{л}})$ и $\eta(R_{\text{л}})$.

4.4. По данным табл. 2.3 построить графики $I(U_1)$, $\Delta U_{\text{л}}(U_1)$, $\Delta P_1(U_1)$ и $\eta(U_1)$.

5 Контрольные вопросы и задачи

5.1. Пользуясь данными, полученными в результате работы, объясните работу ЛЭП при $U_1 = \text{const}$, $R_{\text{л}} = \text{const}$, $R_{\text{н}} = \text{var}$, в частности:

- по какому закону применяется U_2 при изменении тока? С помощью соответствующих формул подтвердите или скорректируйте графики $\Delta U_{\text{л}}(I)$, $U_2(I)$, полученные экспериментально.

- приведите формулы, позволяющие объяснить или скорректировать зависимости $\Delta P_{\text{л}}(I)$; $P_1(I)$; $U_2(I)$ и $\eta(I)$.

- охарактеризуйте характер применения P_2 при увеличении тока от $I=0$ до $I=0,5I_{\text{к}}$ и от $I=0,5I_{\text{к}}$ до $I_{\text{к}}$, где $I_{\text{к}}$ - ток при $R_{\text{н}} = 0$.

- запишите формулу зависимости P_2 от $R_{\text{н}}$ и, исследовав ее на экстремум, определите $R_{\text{н}}$, при котором $P_2 = P_{2\text{max}}$.

- как называется режим работы ЛЭП при $P_2 = P_{2\text{max}}$? Каковы значения U_2 и η в этом режиме? В каких случаях такой режим применяется на практике?

- охарактеризуйте предельные режимы работы ЛЭП: холостой ход и короткое замыкание. При каких значениях $R_{\text{н}}$ эти режимы получаются? Каковы значения I , U_2 и η в этих режимах?

5.2 Пользуясь данными, полученными в результате выполнения работы, объясните влияние $R_{\text{л}}$ на энергетические показатели работы ЛЭП при $U_1 = \text{const}$, $R_{\text{н}} = \text{const}$, в частности:

- с помощью соответствующих формул объясните или скорректируйте, если необходимо, зависимости $\Delta U(R_{\text{л}})$, $\Delta P(R_{\text{л}})$, $\eta(R_{\text{л}})$.

- из графика $\eta(R_{\text{л}})$ и соответствующей формулы следует, что, уменьшая $R_{\text{л}}$, КПД ЛЭП можно как угодно приблизить к 100%. Почему на практике не стремятся получить КПД более 95-96%.

5.3. Исходя из условий $P_2 = \text{const}$ и $R_{\text{л}} = \text{const}$, объясните зависимости тока, потерь мощности и КПД ЛЭП от напряжения в начале линии U_1 , представленные в таблице 3.3 и соответствующими графиками.

5.4. Пользуясь данными, полученными в результате выполнения работы, объясните, почему передача электроэнергии на большие расстояния осуществляется при очень высоких напряжениях, исчисляемых сотнями тысяч вольт.

5.5. Во сколько раз пришлось бы увеличить сечение проводов ЛЭП, если бы мощность, передаваемую при напряжении 220 кВ, решили передавать при напряжении 220 В?

5.6. Рассчитать сечение алюминиевых проводов двухпроводной ЛЭП для передачи мощности $P_2=100$ кВт при напряжении $U_2=10$ кВ на расстоянии 50 км, КПД линии 95%, удельное сопротивление алюминия $2,9 \cdot 10^{-8}$ Ом·м.

5.7. Чему будет равно значение КПД двухпроводной ЛЭП для передачи мощности $P_2=100$ кВт при напряжении $U_2=10$ кВ на расстоянии 50 км, если линию выполнить медными проводами сечением 55 мм²? Удельное сопротивление меди $1,75 \cdot 10^{-8}$ Ом·м.

5.8. Напряжение в начале линии связи $U_1=30$ В. Если в конце линии включить приемный аппарат №1, напряжение на нем окажется равным $U_2=27$ В, если включить аппарат №2, напряжение U_2 будет равно 21 В, если включить аппарат №3, напряжение U_2 будет равно 15 В. При использовании какого аппарата мощность передаваемого сигнала у потребителя будет наибольшей?

5.9. Суммарное сопротивление проводов $R_{\text{л}}=5$ Ом. Напряжение в начале линии $U_1=3250$ В. Мощность в нагрузке $P_2=100$ кВт. Вычислите КПД ЛЭП. В результате расчета должно получиться два значения КПД. Объясните этот факт, пользуясь $P_2(I)$ и $\eta(I)$, построенными по результатам исследования ЛЭП ($U_1=\text{const}$, $R_{\text{л}}=\text{const}$, $R_{\text{н}} = \text{var}$).

Лабораторная работа №3

Исследование электрических цепей переменного тока при последовательном, параллельном и смешанном соединениях элементов

Цель работы – усвоение методики экспериментального определения параметров элементов цепей переменного тока, опытное изучение распределения напряжения и тока в цепях переменного тока при последовательном и параллельном соединении участков, усвоение методов расчета таких цепей, опытное изучение основных соотношений между токами, напряжениями и параметрами элементов в цепях переменного тока со смешанным соединением участков, усвоение символического метода расчета электрических цепей переменного синусоидального тока.

1 Домашняя подготовка к работе

1.1. Изучить разделы курса ТОЭ, в которых рассматриваются электрические цепи однофазного синусоидального тока [1, с. 50–98]. Усвоить: основные понятия и определения цепей однофазного синусоидального тока; среднее и действующее значения синусоидального тока (напряжения, ЭДС); способы представления синусоидальных функций; понятие и суть векторных диаграмм; соотношения, временные и векторные диаграммы в цепях, содержащих R , L или C элементы; методы анализа и расчета цепей переменного тока при последовательном, параллельном и смешанном соединении; мощность цепи переменного синусоидального тока.

Познакомиться с методами экспериментального определения параметров элементов цепей переменного тока, приведенными в подразделе 1.2.

1.2. Методы экспериментального определения параметров элементов цепей переменного тока.

В качестве образцового элемента в обоих случаях используется активное сопротивление R_1 .

1.2.1. Определение параметров элементов цепи переменного тока при последовательном соединении образцового и исследуемого элементов.

Схема цепи измерительного эксперимента приведена на рис. 3.1 а. Векторная диаграмма напряжений показана на рис. 3.1 б.

Значение $\cos\varphi_2$ определяем, используя теорему косинусов $U^2 = U_1^2 + U_2^2 + 2U_1U_2 \cos\varphi_2$.

Используя закон Ома и соотношения, вытекающие из треугольника сопротивлений, находим параметры исследуемого элемента:

$$R_1 = \frac{U_1}{I}; Z_K = \frac{U_2}{I}; R_K = Z_K \cdot \cos\varphi_2; X_K = \sqrt{Z_K^2 - R_K^2}.$$

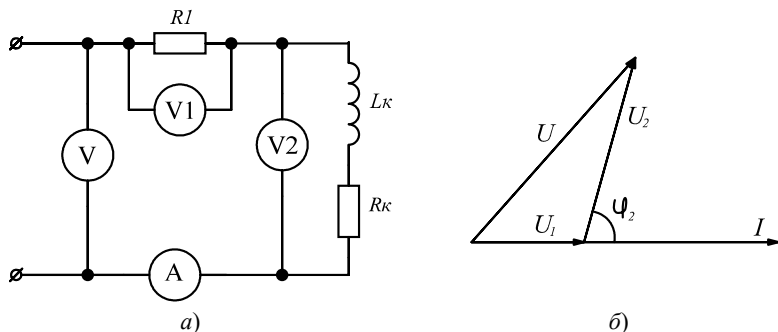


Рис. 3.1. Электрическая схема измерительного эксперимента – а и векторная диаграмма – б.

1.2.2. Определение параметров элементов цепи переменного тока при параллельном соединении образцового и исследуемого элементов.

Схема цепи измерительного эксперимента приведена на рис. 3.2 а. Векторная диаграмма токов показана на рис. 3.2 б. Значение $\cos\varphi_2$ определяем из соотношения $I^2 = I_1^2 + I_2^2 + 2I_1I_2 \cos\varphi_2$. Используя закон Ома и соотношения, вытекающие из треугольника сопротивлений, находим параметры исследуемого элемента:

$$R_1 = \frac{U}{I_1}; Z_K = \frac{U}{I_2}; R_K = Z_K \cdot \cos\varphi_2; X_K = \sqrt{Z_K^2 - R_K^2}.$$

1.3. Решить задачи:

1.3.1. К электрической цепи, состоящей из последовательного соединения резистора, конденсатора и катушки индуктивности, подключен источник э.д.с. $e(t)=282\sin\omega t$. Частота источника равна $f=50$ Гц, сопротивление резистора равно $R_p=50$ Ом, емкость конденсатора равна $C=30$ мкФ, активное сопротивление катушки равно $R_K=30$ Ом, индуктивность – $L=0,1$ Гн. Определить выражения для мгновенных значений и действующие значения тока и напряжений

на элементах цепи. Постройте в масштабе векторную диаграмму напряжений.

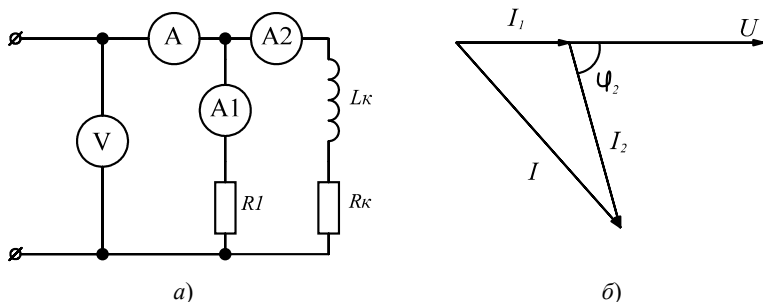


Рис. 3.2. Электрическая схема измерительного эксперимента – а и векторная диаграмма – б.

1.3.2. К источнику переменного синусоидального тока с действующим значением напряжения 220В подключено параллельное соединение катушки индуктивности с параметрами $X_K=60$ Ом, $R_K=80$ Ом и конденсатора с емкостным сопротивлением $X_C=240$ Ом. Определите токи во всех элементах цепи и в неразветвленной части цепи, активную, реактивную и полную мощности цепи. Построить векторную диаграмму токов и треугольник проводимостей.

1.3.3. В цепи, приведенной на рис. 3.1 а, показания приборов имеют следующие значения: $U=106,4$ В, $U_1=44$ В, $U_2=72$ В, $I=2$ А. Вычислить R_1 , R_2 , X_L , φ_2 . Записать комплекс $\underline{Z}_2$ в алгебраической и показательной формах.

1.3.4. В цепи, приведенной на рис. 3.2 а, показания приборов имеют следующие значения: $U=210$ В, $I=6,3$ А, $I_1=3$ А; $I_2=6$ А. Вычислить R_1 , R_2 , X_L , φ_2 . Записать комплекс $\underline{Z}_2$ в алгебраической и показательной формах.

1.4 Изучить порядок выполнения работы. Подготовить бланк отчета, который должен содержать решения задач из подраздела 1.3, схемы и таблицы из раздела 2 "Порядок выполнения работы".

2 Порядок выполнения работы

2.1. Определение параметров катушки, резистора и конденсатора.

2.1.1. Собрать цепь по схеме, приведенной на рис. 3.3. В качестве приемника электрической энергии Z подключить индуктивную катушку. Собранную электрическую цепь подключить к выходным зажимам источника переменного регулируемого напряжения.

2.1.2. Подать на схему напряжение. Регулируя напряжение источника, установить ток в цепи в пределах 0,1–0,2 А. Выполнить измерения тока, напряжения и активной мощности. Показания измерительных приборов записать в табл. 3.1.

2.1.3. Вместо катушки в цепь включить резистор и выполнить п. 2.1.2.

2.1.4. Вместо резистора в цепь включить конденсатор и выполнить п. 2.1.2.

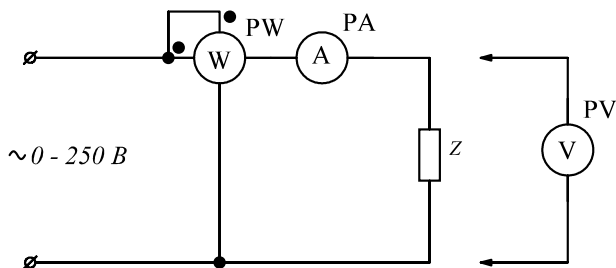


Рис. 3.3 Электрическая схема определения параметров нагрузки

Таблица 3.1

Определение параметров катушки, резистора и конденсатора

	Измерено			Вычислено						
	U	I	P	Z	R	X	$\cos\varphi$	y	g	b
Приемник энергии	В	А	Вт	Ом	Ом	Ом	-	См	См	См
Катушка L										
Резистор R										
Конденсатор C										

2.2. Исследование последовательного соединения приемников электроэнергии.

2.2.1. В цепи (рис. 3.3) в качестве приемника электрической энергии подключить последовательное соединение резистора и катушки.

2.2.2. Регулируя напряжение источника, установить значение тока в цепи в диапазоне 0,1–0,2 А. Вольтметром PV выполнить измерения напряжений на резисторе и катушке, а также общее напряжение. Ваттметром PW измерить мощность. Результаты измерений записать в таблицу 3.2.

2.2.3. В цепи (рис. 3.3) в качестве приемника энергии подключить последовательное соединение резистора и конденсатора затем выполнить п.2.2.2.

2.2.4. В цепи (рис. 3.3) в качестве приемника энергии подключить последовательное соединение резистора, катушки и конденсатора затем выполнить п.2.2.2.

Таблица 3.2

Последовательное соединение приемников энергии

Приемник энергии	Измерено						Вычислено		
	I	U	U_R	U_L	U_C	P	U	P	$\cos\varphi$
	А	В	В	В	В	Вт	В	Вт	-
Резистор и катушка									
Резистор и конденсатор									
Резистор, катушка, конденсатор									

2.3. Исследование параллельного соединения приемников электроэнергии

2.3.1. Собрать электрическую цепь, схема которой приведена на рис.3.4.

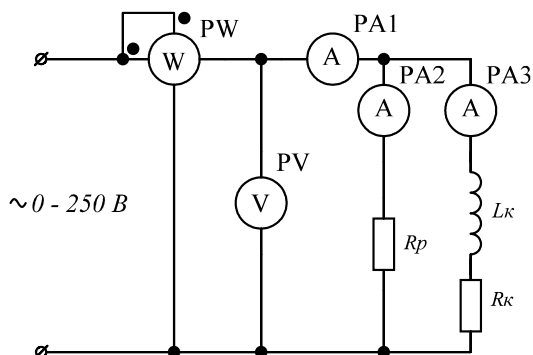


Рис.3.4. Электрическая схема параллельного соединения резистора и катушки

2.3.2. Измерить токи во всех ветвях и в неразветвленной части цепи, напряжение и мощность при параллельном соединении катушки и резистора. Результаты измерений записать в соответствующую строку таблицы 3.3.

3. Собрать электрическую цепь, схема которой приведена на рис.3.5. Прodelать п.2.3.2 при параллельном включении резистора и конденсатора.

4. Собрать электрическую цепь, схема которой приведена на рис.3.6. Прodelать п.2.3.2 при параллельном включении всех трех

ЭЛЕМЕНТОВ.

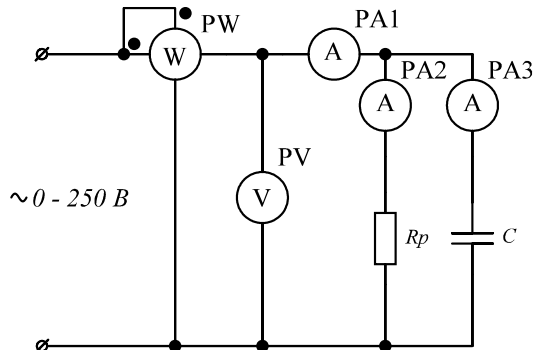


Рис.3.5. Электрическая схема параллельного соединения резистора и конденсатора

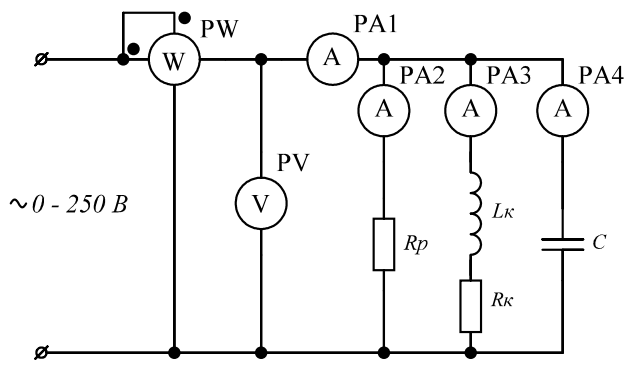


Рис.3.6. Электрическая схема параллельного соединения резистора, катушки и конденсатора

Таблица 3.3

Параллельное соединение приемников энергии									
Приемник энергии	Измерено						Вычислено		
	U	I	I_R	I_L	I_C	P	I	P	$\cos\varphi$
	В	А	А	А	А	Вт	А	Вт	-
Резистор и катушка									
Резистор и конденсатор									
Резистор, катушка, конденсатор									

2.4. Определение комплексных сопротивлений элементов цепи.

2.4.1. Собрать электрическую цепь, схема которой приведена на рис. 3.7. В качестве образцового сопротивления R использовать резистор по указанию преподавателя. В качестве Z_2 – исследуемую индуктивную катушку.

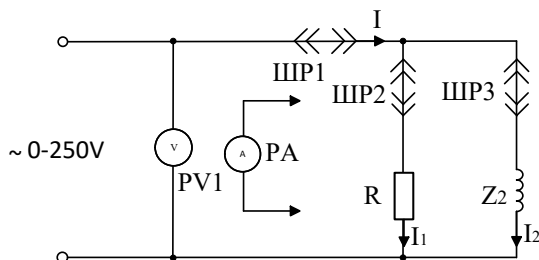


Рис.3.7. Электрическая схема определения параметров цепи

2.4.2. Включить источник и установить напряжение, обеспечивающее удобные для отсчета значения токов I , I_1 и I_2 . Выполнить измерения напряжения U и токов I , I_1 , I_2 . Результаты измерений занести в соответствующую строку таблицы 3.4.

2.4.3. В цепи, собранной по схеме на рис. 3.7, заменить катушку индуктивности на исследуемый резистор. Затем выполнить п. 2.4.2.

2.4.3. В цепи, собранной по схеме на рис. 3.7, заменить резистор на исследуемый конденсатор. Затем выполнить п. 2.4.2.

Таблица 3.4

Определение комплексных сопротивлений элементов цепи

Элемент цепи	Измерено				Вычислено			
	U	I	I_1	I_2	φ	R	X	Z
	В	А	А	А	град	Ом	Ом	Ом
Катушка								
Резистор								
Конденсатор								

2.5 Исследование распределения токов и напряжений в цепях со смешанным соединением участков.

2.5.1. Собрать цепь №1 по схеме, приведенной на рис. 3.8. При подключении амперметра для измерения тока в соответствующей цепи необходимо амперметр подключить параллельно штепсельному

разъему (ШР) и затем отключить замыкатель последнего. Отключение амперметра производить в обратном порядке.

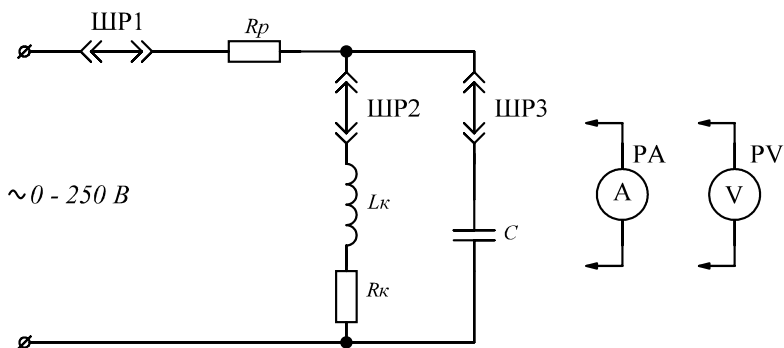


Рис.3.8. Электрическая схема исследования распределения токов и напряжений в цепи №1

2.5.2. Подключить амперметр в цепь резистора. Включить источник переменного регулируемого напряжения. Регулятором установить напряжение, при котором обеспечиваются удобные для отсчета значения токов во всех элементах цепи. Измерить токи и напряжения в каждой ветви цепи. Результаты измерений занести в строку «измерено» соответствующей цепи таблицы 3.5.

2.5.3. Собрать цепь №2 по схеме, приведенной на рис. 3.9, и выполнить п.2.5.2.

2.5.4. Собрать цепь №3 по схеме, приведенной на рис. 3.10, и выполнить п.2.5.2.

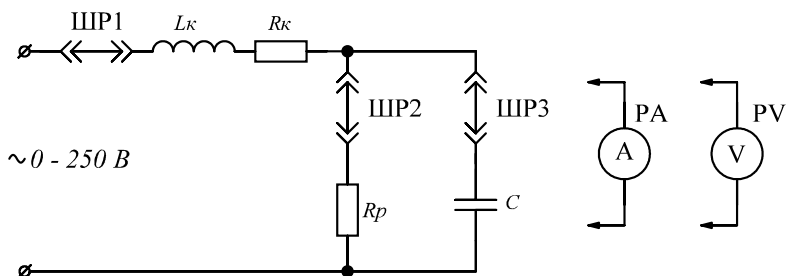


Рис.3.9. Электрическая схема исследования распределения токов и напряжений в цепи №2

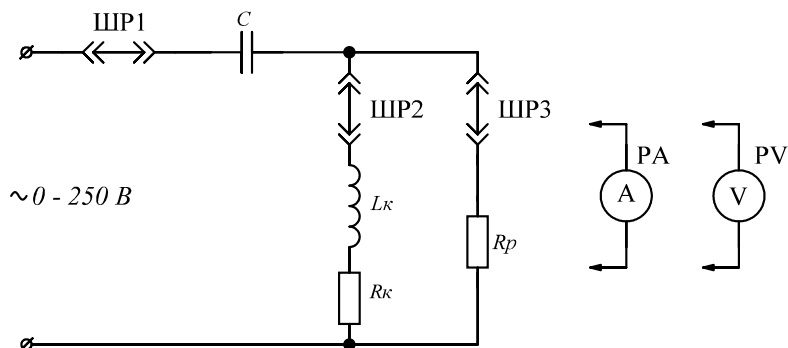


Рис.3.10. Электрическая схема исследования распределения токов и напряжений в цепи №3

Таблица 3.5

Распределение токов и напряжений в участках цепей

№ цепи	Напряжение всей цепи	Резистор		Катушка		Конденсатор		
	U	U_p	I_p	$U_{кат}$	$I_{кат}$	$U_{кон}$	$I_{кон}$	
	В	В	А	В	А	В	А	
1								Изм.
								Выч.
2								Изм.
								Выч.
3								Изм.
								Выч.

3 Обработка результатов измерений

3.1. По результатам измерений подраздела 2.1 вычислить полное, активное и реактивное сопротивления приемников энергии, используя закон Ома, формулу мощности и соотношения, вытекающие из треугольника сопротивлений:

$$Z = \frac{U}{I}; P = UI \cos \varphi; R = Z \cos \varphi; X = Z \sin \varphi.$$

Результаты расчетов занести в соответствующие ячейки табл. 3.1.

3.2. По результатам измерений подраздела 2.1 вычислить полную y , активную g и реактивную b проводимости электроприемников,

используя закон Ома и соотношения, вытекающие из треугольника проводимостей:

$$I = Uy; \quad g = y \cos \varphi; \quad b = y \sin \varphi.$$

Результаты расчетов занести в соответствующие ячейки табл. 3.1.

3.3. Используя параметры элементов, вычисленные в подразделе 2.1, и, записанные в табл. 3.1, составить схему замещения для каждого из опытов, проделанных в подразделе 2.2 и, задаваясь значением тока из табл.3.2, расчетным путем определить общее напряжение U , активную мощность P и коэффициент мощности цепи $\cos\varphi$. Результаты расчетов занести в графу «вычислено» табл. 3.2.

3.4. Для всех случаев последовательного соединения построить в масштабе векторные диаграммы напряжений и треугольники сопротивлений.

3.5. По результатам расчета для всех случаев последовательного соединения построить графики мгновенных значений тока и напряжений.

3.6. Используя параметры элементов, вычисленные в подразделах 2.1, и, записанные в табл. 3.1, составить схему замещения для каждого из опытов, проделанных в подразделе 2.3 и, задаваясь значением напряжения из табл.3.3, расчетным путем определить общий ток I , активную мощность P и коэффициент мощности цепи $\cos\varphi$. Результаты расчетов занести в графу «вычислено» табл. 3.3.

3.7. Построить в масштабе векторные диаграммы токов и треугольники проводимостей для трех вариантов параллельного соединения.

3.8. По результатам расчета для трех вариантов параллельного соединения построить графики мгновенных значений напряжений и токов.

3.9. По результатам измерений (табл. 3.4) вычислить параметры индуктивной катушки, резистора и конденсатора. Результаты записать в графы «вычислено» табл. 3.4. Полное сопротивление Z записать в показательной форме.

3.10. Для цепи №1 символическим методом рассчитать напряжения и токи во всех элементах, полную S , активную P , реактивную Q мощности и общий $\cos\varphi$. При этом комплексные сопротивления участков взять из табл. 3.4, напряжение, приложенное к цепи, взять из табл.3.5. Результаты расчета представить в виде действующих значений и занести в строку «вычислено» табл. 3.5, которая соответствует цепи №1. Расчет привести в отчете.

3.11. Для цепи №2, задаваясь измеренным значением тока катушки $I_{кат}$ (см. табл. 3.5), рассчитать символическим методом токи и

напряжения на всех участках электрической цепи, входное напряжение U , полную S , активную P , реактивную Q мощности и общий $\cos\varphi$. При этом комплексные сопротивления участков взять из табл. 3.4. Результаты расчета представить в виде действующих значений и занести в строку «вычислено» табл. 3.5, которая соответствует цепи №2. Расчет привести в отчете.

3.12. Для цепи №3, задаваясь измеренным значением тока резистора I_p (см. табл. 3.5), рассчитать символическим методом токи и напряжения на всех участках электрической цепи, входное напряжение U , полную S , активную P , реактивную Q мощности и общий $\cos\varphi$. При этом комплексные сопротивления участков взять из табл. 3.4. Результаты расчета представить в виде действующих значений и занести в строку «вычислено» табл. 3.5, которая соответствует цепи №3. Расчет привести в отчете. Расчет привести в отчете.

3.13. Построить в масштабе векторные диаграммы напряжений и токов для каждой цепи из подраздела 2.5.

3.15. Сделать вывод о проделанной работе (письменно).

3.16. Подготовить ответы па контрольные вопросы.

4 Контрольные вопросы

4.1. Как записываются и изображаются на графиках синусоидальный ток, напряжение, ЭДС? Какими величинами они характеризуются?

4.2. Что такое действующие значения тока, напряжения, ЭДС?

4.3. Как связаны мгновенные и действующие значения тока с мгновенными и действующими значениями напряжения: 1) на участке цепи с активным сопротивлением; 2) на участке цепи с индуктивностью; 3) на участке цепи с емкостью; 4) при последовательном соединении всех этих элементов; 5) при параллельном соединении элементов.

4.4. Треугольники сопротивления и проводимостей, соотношения, вытекающие из них.

4.5. Что такое активная мощность и как она вычисляется?

4.6. Методика расчета цепей при последовательном соединении на основе векторных диаграмм.

4.7. Методика расчета цепей при параллельном соединении на основе векторных диаграмм.

4.8. Пользуясь схемой представленной на рис.3.11. определить: I , U_R , X_C , Z ; Параметры схемы: $R=6$ Ом, $U=100$ В, $U_C=80$ В.

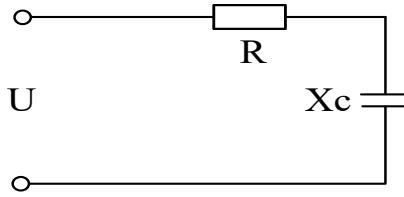


Рис.3.11

4.9. Пользуясь схемой представленной на рис.3.12. определить: U , I_2 , X_C , Y , Z ; Параметры схемы: $R=20$ Ом, $U=5$ В, $I_1=3$ А.

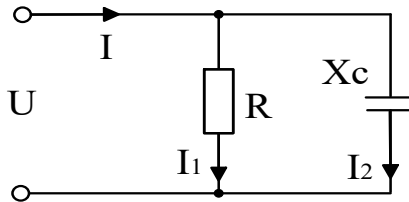


Рис.3.12

4.10. Напряжение, активное, емкостное и индуктивное сопротивление в омах указаны на схеме, приведенной на рис.3.13. Определить общий ток и коэффициент мощности цепи.

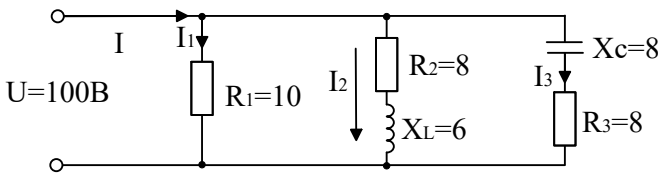


Рис.3.13

4.11. В цепи, приведенной на рис.3.11, получить выражения мгновенных значений тока i , общего напряжения U , напряжения на резисторе U_R , если $U_C = 80\sqrt{2} \sin(\omega t + 30^\circ)$.

4.12. В цепи, приведенной на рис.3.12, получить выражения мгновенных значений i , i_1 , U , если $i_2 = 4\sqrt{2} \sin(\omega t + 60^\circ)$.

4.13. В цепи, приведенной на рис.3.12, получить выражения мгновенных значений U , i , i_1 , i_2 , если $i_3 = 10\sqrt{2} \sin \omega t$.

4.14. Цепь состоит из последовательно соединенных катушки и конденсатора. Напряжение 100 В, $\cos \varphi_1$ цепи равно 0,8, $\cos \varphi_2$ катушки равно 0,6. Определить напряжете на катушке и конденсаторе, изобразив предварительно схему замещения цепи и построив (качественно) векторную диаграмму.

4.15. Определить емкость конденсатора, который необходимо включить последовательно с лампой накаливания 100 Вт, 127 В для обеспечения нормальной работы лампы от сети 220 В, 50 Гц.

4.16. Индуктивная катушка имеет параметры: $L=0,1$ Гн, $R=40$ Ом. Определить активную, реактивную и полную проводимость при двух значениях частоты: 50 Гц и 100 Гц.

4.17. Как производится преобразование комплексных чисел: из алгебраической формы в показательную; из показательной в алгебраическую? Показать на примерах.

4.18. Законы Ома в символической форме. Вычисление комплексов $\underline{Z}$ и $\underline{Y}$ по комплексам $\underline{I}$ и $\underline{U}$. Показать на примерах.

4.19. Законы Кирхгофа в символической форме. Привести примеры.

4.20. Выразить в комплексной форме соотношения между токами резистора, катушки и конденсатора в каждой из исследуемых электрических цепей.

4.21. Выразить в комплексной форме соотношения между напряжениями резистора, катушки и конденсатора в каждой из исследуемых электрических цепей.

4.22. Вычислить символическим методом активную, реактивную и полную мощность резистора, катушки и конденсатора для каждой из исследуемых электрических цепей.

4.23. Проверить баланс мощностей для электрической цепи №1, 2 и 3 из подраздела 2.5.

4.24. В цепи, приведенной на рис 3.15, $R_1=R_2=R_3=8$ Ом, $X_{C1}=X_{L2}=12$ Ом. Вычислить комплексы эквивалентных сопротивления и проводимости. Записать значения R_3 , X_3 , g_3 , b_3 .

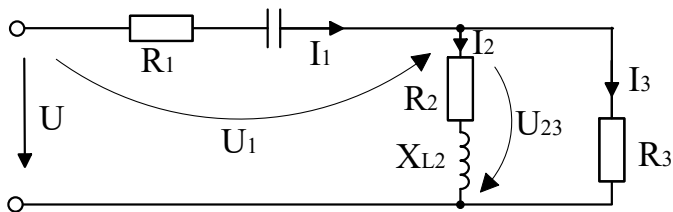


Рис.3.15

4.25. В цепи, приведенной на рис.3.15, $U=100\text{В}$. Вычислить комплекс $\underline{I}_1$, а также P , Q , S .

4.26. В цепи, приведенной на рис.3.15, $U_{23}=100\text{ В}$. Вычислить $\underline{I}_1$ и $\underline{U}$.

4.27. В цепи, приведенной на рис.3.15, $U_1=100\text{ В}$. Вычислить $\underline{U}$.

4.28. В цепи, приведенной на рис.3.15, $I_2=5\text{ А}$. Вычислить $\underline{I}_1$ и $\underline{U}$.

4.29. Для цепи, приведенной на рис.3.15, построить векторную диаграмму токов и напряжений, не вычисляя их предварительно.

4.30. С помощью векторных диаграмм для цепей №1 и №2 (см. подраздел 2.5) проанализировать, как изменится их $\cos\varphi$ при отключении конденсатора.

Лабораторная работа №4

Исследование резонансных явлений в цепях переменного тока

Цель работы - опытное изучение резонансных явлений в цепях переменного тока при последовательном и параллельном соединении индуктивности и емкости.

1 Домашняя подготовка к работе

1.1. Изучить разделы курса ТОЭ, в которых рассматриваются резонансные явления в цепях переменного тока [1, с. 120–143] (§§ 5.1-5.3). Усвоить понятие резонанса в электрических цепях, условия и признаки резонанса напряжения и резонанса токов, роль явления резонанса в электрических цепях.

1.2. Изучить порядок выполнения работы. Подготовить бланк отчета, который должен содержать схемы и таблицы, приведенные в разделе 2 «Порядок выполнения работы».

2 Порядок выполнения работы

2.1. Исследование резонанса напряжений.

2.1.1. Собрать цепь для определения параметров катушки индуктивности методом амперметра, вольтметра и ваттметра. Затем подключить ее к источнику регулируемого переменного напряжения.

2.1.2. Измерить напряжение и мощность при максимальном и минимальном значениях индуктивности, устанавливая ток в пределах от 0,1 до 0,5 А при напряжении равном $U=150$ В.

2.1.3. Вычислить максимальное и минимальные значения индуктивного сопротивления по формулам:

$$\underline{Z} = \frac{U}{I}; R = \frac{P}{I^2}; X_L = \sqrt{Z^2 - R^2}.$$

2.1.4. Среднее значение индуктивного сопротивления определить по формуле

$$X_{Lcp} = \frac{X_{Lmax} + X_{Lmin}}{2}.$$

2.1.5. Вычислить ёмкость, которую нужно установить последовательно с индуктивностью X_{Lcp} , чтобы в цепи возник резонанс напряжений, по формуле

$$C = \frac{10^6}{\omega X_C} = \frac{10^6}{\omega X_{Lcp}} \text{ мкФ.}$$

2.1.6. Собрать цепь по схеме, приведенной на рис. 4.1. Установить значение емкости конденсатора, найденное в п.2.1.5.

2.1.7. Изменяя индуктивность от наименьшего до наибольшего значения, и, поддерживая входное напряжение неизменным $U=80\text{В}$, измерить ток, мощность и напряжение на зажимах катушки и конденсаторной батареи. При этом необходимо установить несколько значений индуктивности L до резонанса, резонансное значение и несколько значений после резонанса. При каждом значении индуктивности снять показания приборов и записать их в таблицу 4.1.

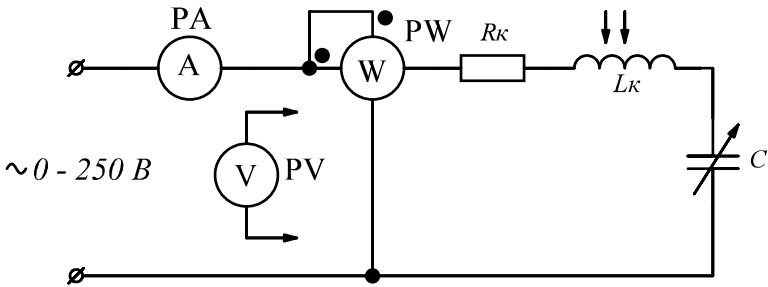


Рис.4.1. Электрическая схема исследования резонанса напряжений

Таблица 4.1.

Резонанс при регулировании индуктивности														
№ n/n	Измерено				Вычислено									
	I	P	$U_{кат}$	U_C	Z_{Σ}	R	$Z_{кат}$	L	X_L	X_C	C	U_a	U_p	φ
	А	Вт	В	В	Ом	Ом	Ом	Гн	Ом	Ом	мкФ	В	В	град
1														
2														
3														
4														
5														
6														
7														
8														
Входное напряжение $U = 80 \text{ В}$														

8. Включить емкость 6 мкФ и установить сердечник катушки в положение, при котором в цепи будет возникать резонанс напряжений.

9. Не меняя положения сердечника, установить поочередно значения емкости: 2, 4, 5, 6, 8, 12, 16 мкФ. При каждом значении емкости снять показания приборов и записать их в таблицу 4.2.

Таблица 4.2.

Резонанс при регулировании емкости

№ n/n	Измерено				Вычислено									
	<i>I</i>	<i>P</i>	<i>U_{кат}</i>	<i>U_C</i>	<i>Z_ц</i>	<i>R</i>	<i>Z_{кат}</i>	<i>L</i>	<i>X_L</i>	<i>X_C</i>	<i>C</i>	<i>U_a</i>	<i>U_L</i>	<i>φ</i>
	A	Вт	B	B	Ом	Ом	Ом	Гн	Ом	Ом	мкФ	B	B	град
1														
2														
3														
4														
5														
6														
7														
	Входное напряжение U = 80 В													

2.2. Исследование резонанса токов.

2.2.1. Собрать цепь для определения активной, реактивной и полной проводимости катушки методом амперметра, вольтметра и ваттметра.

2.2.2. Подключить собранную цепь к источнику регулируемого переменного напряжения. Установить с помощью регулятора напряжение равное $U=150$ В и измерить ток и мощность при наибольшем и наименьшем значениях индуктивности. Результаты измерений занести в табл. 4.3.

2.2.3. Вычислить параметры параллельной схемы замещения катушки (полную проводимость и ее составляющие) по формулам:

$$y = \frac{I}{U}; \quad g = \frac{P}{U^2}; \quad b_L = \sqrt{y^2 - g^2}.$$

Результаты вычислений записать в табл. 4.3.

2.2.4. Определить среднее значение индуктивной проводимости и из условия резонанса токов $b_{Lep} = b_C = \omega C$ вычислить резонансное значение емкости $C_{рез}$.

2.2.5. Собрать цепь по схеме, приведенной на рис 4.2. Установить значение емкости равное $C_{рез}$.

2.2.6. Меняя индуктивность и, поддерживая напряжение неизменным, измерить активную мощность и токи во всех ветвях и в неразветвленной части цепи. При этом установить несколько значений

индуктивности L до резонанса, резонансное значение и несколько – после резонанса. Результаты измерений записать в табл. 4.4.

Таблица 4.3.

Определение параметров катушки							
Положение сердечника	Измерено			Вычислено			
	U	I	P	y	g	b_L	$C_{рез}$
	В	А	Вт	См	См	См	мкФ
Полностью выдвинут							
Полностью задвинут							
Среднее							

2.2.7. Включить значение емкости конденсатора равное $C=6$ мкФ и установить сердечник катушки в положение, соответствующее резонансу.

2.2.8. Не меняя положение сердечника, установить поочередно значения емкости: 2, 4, 5, 6, 8, 12, 16 мкФ. При каждом значении емкости измерить токи I, I_1, I_2 , активную мощность цепи P . Результаты измерений записать в таблицу 4.5.

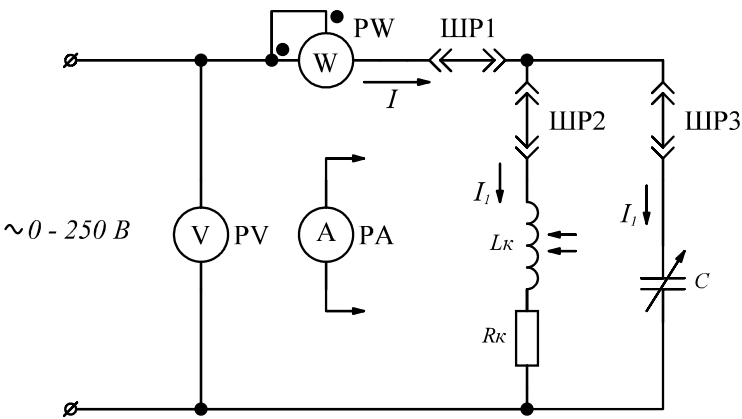


Рис. 4.2. Электрическая схема исследования резонанса токов

Таблица 4.4

Резонанс при регулировании индуктивности										
№ n/n	Измерено				Вычислено					
	I	I_1	I_2	P	$y_{кат}$	g	b_L	I_a	I_L	L
	А	А	А	Вт	См	См	См	А	А	Гн
1										
2										
3										
4										
5										
6										
7										
$U = 150 \text{ В}$ $C =$										

Таблица 4.5

Резонанс при регулировании емкости										
№ n/n	Измерено				Вычислено					
	I	I_1	I_2	P	$y_{ц}$	$g_{ц}$	$b_{ц}$	C	I_a	I_L
	А	А	А	Вт	См	См	См	мкФ	А	А
1										
2										
3										
4										
5										
6										
7										
$U = 150 \text{ В}$ $L =$										

3 Обработка результатов измерений

3.1. По данным из табл. 4.1 вычислить величины, указанные в графах «вычислено» этой таблицы, пользуясь формулами:

$$Z_{кат} = \frac{U_{кат}}{I}; \quad R = \frac{P}{I^2}; \quad X_L = \sqrt{Z_{кат}^2 - R^2};$$

$$L = \frac{X_L}{\omega}; \quad X_C = \frac{U_C}{I}; \quad C = \frac{10^6}{\omega X_C}; \quad Z_{цены} = \frac{U}{I};$$

$$U_a = IR; \quad U_L = IX_C.$$

3.2. Построить в одной системе координат графики зависимости тока I и составляющих напряжения U_a , U_p и U_C , а также угла сдвига фаз между током и входным напряжением от индуктивности L .

3.3. Пользуясь теми же формулами (п.3.1), вычислить величины в графах «вычислено» таблицы 4.2.

3.4. Построить в общей системе координат зависимости I , U_L , U_C от емкости C .

3.5. По данным таблиц 4.1 и 4.2 построить по три векторных диаграммы для случаев: $X_C > X_L$; $X_C = X_L$; $X_C < X_L$. «

3.6. Определить величины, указанные в графах «вычислено» табл. 4.4, используя формулы п. 2.2.3, где в качестве I должен быть I_1 , L , I_a , I_L , которые вычисляются по формулам:

$$L = \frac{X_L}{\omega}; \quad X_L = \frac{b_L}{y^2}; \quad I_a = Ug; \quad I_L = Ub_L.$$

3.7. В общей системе координат построить графики зависимости I , I_a , I_L , I_C ($I_C = I_2$) от индуктивности L .

3.8. По данным табл. 4.4 построить три векторные диаграммы для режимов: $b_L > b_C$; $b_L = b_C$; $b_L < b_C$.

3.9. Вычислить величины, указанные в графах «вычислено» табл. 4.5: y_{Σ} , g_{Σ} и b_{Σ} . Вычисление указанных величин производить по формулам $y = \frac{I}{U}$; $g = \frac{P}{U^2}$; $b_L = \sqrt{y^2 - g^2}$, L_1 , I_L , I_a - как в п.3.6. В графу "С" записать значения, найденные из данных опыта:

$$b_C = \frac{I_2}{U}; \quad C = \frac{b_C}{\omega}.$$

3.10. Построить графики зависимости I , I_2 , I_L , I_a от емкости C (в общей системе координат).

3.11. По данным табл. 4.5 построить три векторные диаграммы для режимов $b_L > b_C$; $b_L = b_C$; $b_L < b_C$.

4 Контрольные вопросы и задачи

4.1. В каких цепях и при каком условии возникает резонанс напряжений?

4.2. В чем состоит явление резонанса напряжений?

4.3. По каким признакам с помощью электроизмерительных приборов можно определить наступление резонанса при регулировании частоты, индуктивности, емкости?

4.4. Что такое перенапряжение, при каком, условии оно наблюдается и как выражается его количественная характеристика? Используйте понятие добротности Q .

4.5. На каких величинах отражается увеличение и уменьшение активного сопротивления цепи, настроенной в резонанс?

4.6. Является ли признаком резонанса напряжений равенство напряжений на зажимах катушки и конденсатора?

4.7. Чем отличаются зависимости $I(\omega)$ цепи с заданными значениями L и C при двух значениях R ?

4.8. Задача. Конденсатор с емкостным сопротивлением $X_C=20$ Ом и катушка $R=30$ Ом, $X_C=40$ Ом включены последовательно. Какую емкость необходимо добавить в конденсаторную батарею, чтобы в цепи наступил резонанс напряжений? Как ее подключить к имеющейся - параллельно или последовательно? Частота 50 Гц.

4.9. Задача. Цепь построена в резонанс на частоту сети 50 Гц (рис. 4.3), $U=60$ В, $U_C=80$ В, $I=1$ А. Определить параметры катушки R и L , емкость C , напряжение на зажимах катушки $U_{\text{кат}}$.

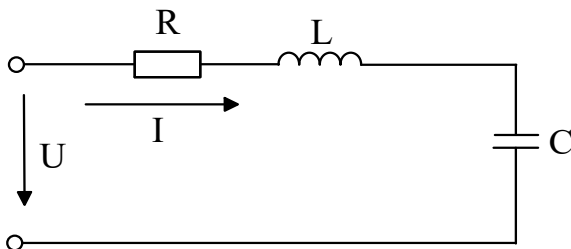


Рис.4.3

4.10. Задача. В последовательной RLC цепи активная мощность $P=400$ Вт, $R=100$ Ом, $\varphi=0$. Определять ток цепи и полную мощность.

4.11. В последовательной RLC цепи $R=40$ Ом, $U=200$ Ом, $X_L=30$ Ом. Определить полное сопротивление цепи, если $\cos\varphi=1$.

4.12. Определить индуктивность L , при которой в цепи наступит резонанс напряжений на частоте $\omega=500$ рад/с. Вычислить напряжение и ток во всех элементах цепи, если $U=50$ В, $R_1=20$ Ом, $R_2=200$ Ом, $C=10$ мкФ. (рис 4.4).

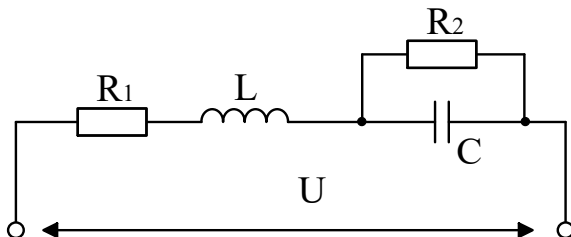


Рис.4.4

4.13. В каких цепях и при каких условиях возникает резонанс токов? Регулированием каких величин можно достичь выполнения этих условий?

4.14. В чем проявляется резонанс токов? Ответ иллюстрировать графиками и векторными диаграммами, построенными по результатам измерений и вычислений.

4.15. Какие из проявлений резонанса токов могут быть использованы в цепи па рис. 4.2 для определения момента наступления резонанса при регулировании L или C ?

4.16. С помощью рассуждений и соответствующих формул подтвердите или скорректируйте графики зависимости $I(L)$; $I_L(L)$; $I_C(L)$; $I_a(L)$.

4.17. С помощью рассуждений и соответствующих формул подтвердите или скорректируйте графики зависимости $I(C)$; $I_L(C)$; $I_C(C)$; $I_a(C)$.

4.18. Проанализируйте зависимость $b_L(L)$ для катушки с R и L и объясните, почему при заданных значениях R и C резонанс в цепи на рис.4.2 может наступать при двух значениях L ? При каких значениях C резонанса вообще не может быть в цепи с заданными R и L катушки?

4.19. Задача. Цепь содержит две параллельно соединенные ветви с параметрами: $R_1=10$ Ом; $R_2=10$ Ом; $C_2=200$ мкФ; $L=0,2$ Гн. При какой частоте в этой цепи наступит резонанс токов? Как изменится резонансная частота, если, $R_2=0$?

4.20. Задача. В цепи, представленной на рис.4.5, $R_1=60$ Ом; $R_2=40$ Ом; $R=50$ Ом; $X_L=80$ Ом. Определить X_C , при котором в цепи будет резонанс токов. Вычислить общий ток при $U=220$ В.

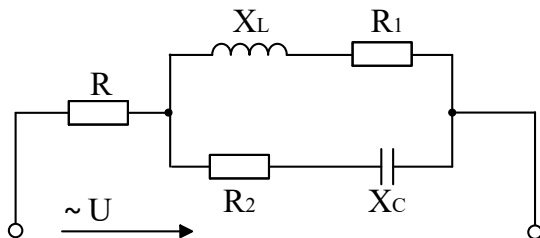


Рис. 4.5

4.21. Задача. В цепи, изображенной на рис. 4.6, $R=40$ Ом; $R_1=8$ Ом; $X_C=24$ Ом. Определить X_L , при котором в цепи создается резонанс токов. Вычислить I_1 , I_2 , I , если $U=120$ В.

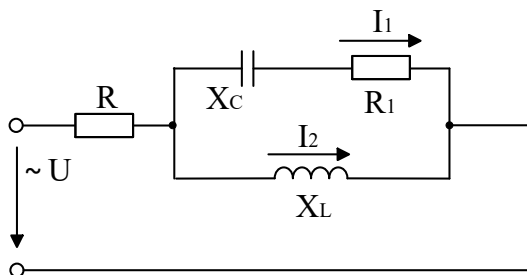


Рис. 4.6

4.22. Задача. Показания приборов: $U=160$ В, $I_1=2$ А, $I_2=8,246$ А, $I_3=8$ А. В цепи резонанс токов. Вычислить параметры схемы: R , X_L , X_C , а также L и C , если $f=50$ Гц (рис. 4.7).

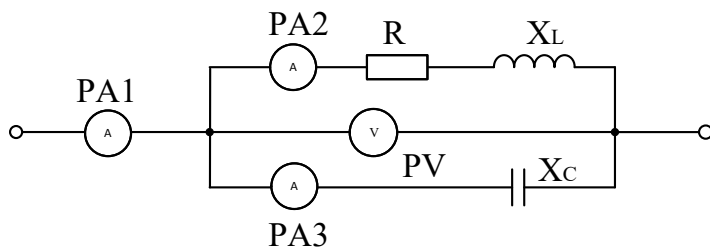


Рис.4.7

Лабораторная работа №5

Исследование цепей переменного тока с взаимной индукцией

Цель работы – экспериментальное определение взаимной индуктивности, опытная проверка законов Кирхгофа в индуктивно-связанных цепях, усвоение методики расчета таких цепей.

1 Домашняя подготовка к работе

1.1. Изучить разделы курса ТОЭ, в которых рассматриваются индуктивно-связанные цепи [1, с. 198–231]. Усвоить суть явления электромагнитной взаимной индукции, методы расчета индуктивно-связанных цепей. Познакомиться с методами определения взаимной индуктивности: метод амперметра и вольтметра; метод согласного и встречного включения.

1.2. Составить в общем виде систему уравнений по законам Кирхгофа, необходимую для расчета индуктивно-связанной цепи, приведенной на рис. 5.1. Для заданных значений входного напряжения и параметров элементов цепи расчетным путем определить ток в неразветвленной части цепи. Схему, значение входного напряжения и параметры цепи согласно своего варианта выбрать из таблицы 5.1. Номер варианта указывает преподаватель. Схему цепи, расчетные уравнения и решение привести в отчете.

Таблица 5.1

№ бригады	1	2	3	4	5	6
Схема	а	б	в	г	д	е
№ варианта	1	2	3	4	5	6
U, В						
R1, Ом						
R2, Ом						
R3, Ом						
R4, Ом						
L1, Гн						
L2, Гн						
L3, Гн						

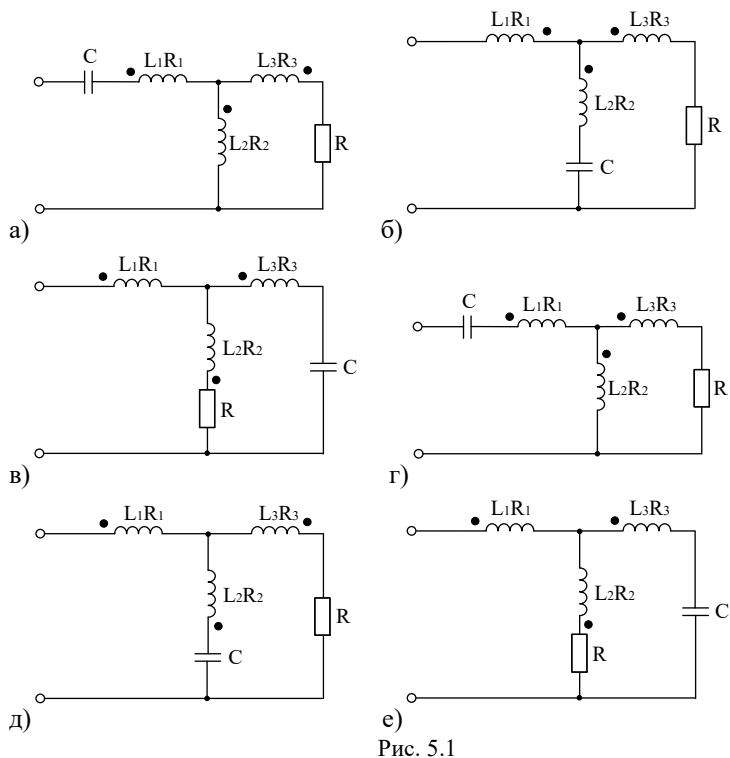


Рис. 5.1

1.3. Изучить порядок выполнения работы. Подготовить бланк отчета, который должен содержать решение задачи из подраздела 1.2, схемы и таблицы из раздела 2 «Порядок выполнения работы».

2 Порядок выполнения работы

2.1. Определение взаимной индуктивности методом амперметра и вольтметра.

2.1.1. Собрать цепь по схеме, приведенной на рис. 5.2.

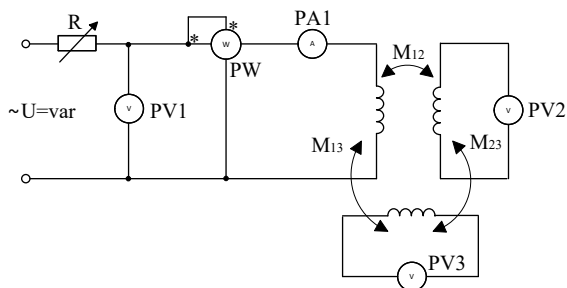


Рис. 5.2.

2.1.2. Подключить собранную цепь к выходным зажимам источника регулируемого переменного напряжения. При различных значениях зазора l_0 в магнитопроводе измерить напряжение, ток и мощность, которые необходимы для вычисления R_1 , L_1 , M_{12} , M_{13} . Результаты измерений записать в табл. 5.1.

Таблица 5.1

№ n/n	Измерено						Вычислено			
	l_0 мм	I_1 А	U_1 В	P_1 Вт	$U_2=E_2$ В	$U_3=E_3$ В	R_1 Ом	L_1 Гн	M_{12} Гн	M_{13} Гн
1										
2										
3										
4										

2.1.3. Собрать цепь по схеме, приведенной на рис. 5.3.

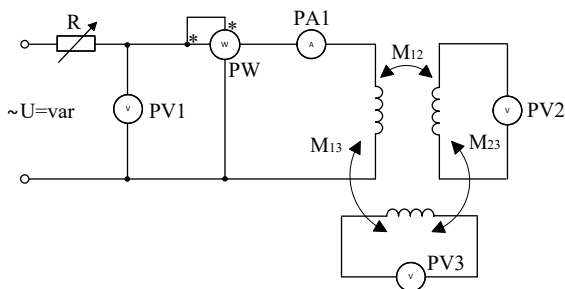


Рис. 5.3.

2.1.4. Подключить собранную цепь к выходным зажимам источника регулируемого переменного напряжения. При различных

значениях зазора l_0 в магнитопроводе измерить напряжение, ток и мощность, которые необходимы для вычисления R_2 , L_2 , M_{21} , M_{23} . Результаты измерений записать в табл. 5.2.

Таблица 5.2.

№ n/n	Измерено						Вычислено			
	l_0	I_2	U_2	P_2	$U_1=E_1$	$U_3=E_3$	R_2	L_2	M_{21}	M_{23}
	мм	А	В	Вт	В	В	Ом	Гн	Гн	Гн
1										
2										
3										
4										

2.1.5. Собрать цепь по схеме, приведенной на рис. 5.4.

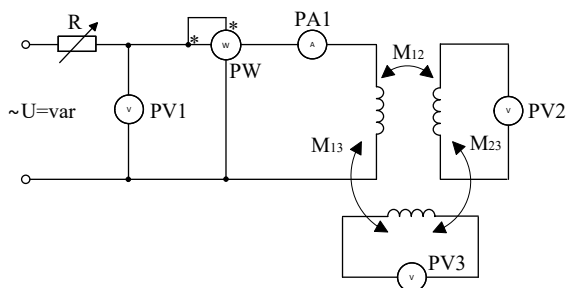


Рис. 5.4.

2.1.6. Подключить собранную цепь к выходным зажимам источника регулируемого переменного напряжения. При различных значениях зазора l_0 в магнитопроводе измерить напряжение, ток и мощность, которые необходимы для вычисления R_3 , L_3 , M_{31} , M_{32} . Результаты измерений записать в табл. 5.3.

Таблица 5.3

№ n/n	Измерено						Вычислено			
	L_0	I_3	U_3	P_3	$U_1=E_1$	$U_2=E_2$	R_3	L_3	M_{31}	M_{32}
	мм	А	В	Вт	В	В	Ом	Гн	Гн	Гн
1										
2										
3										
4										

2.2. Определение взаимной индуктивности методом согласного и встречного включения.

2.2.1. Собрать цепь по схеме, приведенной на рис. 5.5.

2.2.2. Подключить собранную цепь к выходным зажимам источника регулируемого переменного напряжения. Измерить при одном значении зазора l_0 (величину зазора указывает преподаватель), ток, напряжение и мощность при согласном (рис.5.5 а) и встречном (рис.5.5 б) включении сочетаний обмоток: 1-2, 2-3 и 3-1. Результаты измерений записать в табл. 5.4.

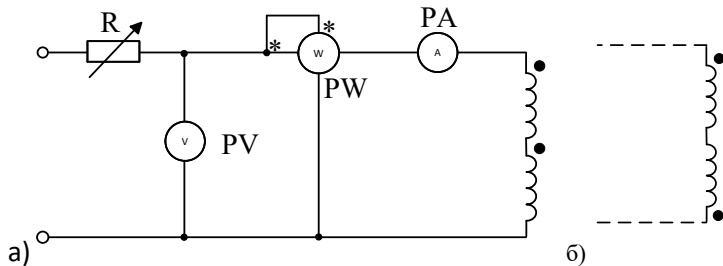


Рис. 5.5

Таблица 5.4.

Соединение обмоток	Измерено						Вычислено		
	Согласное			Встречное					
	U'	I'	P'	U''	I''	P''	X'_{Σ}	X''_{Σ}	M
	В	А	Вт	В	А	Вт	Ом	Ом	Гн
1 и 2									
2 и 3									
1 и 3									

2.3. Исследование распределения напряжений и токов в индуктивно-связанной цепи.

2.3.1. Собрать разветвленную электрическую цепь по схеме номера своей бригады (рис.5.1). Величину зазора магнитопровода установить согласно указаниям преподавателя.

2.3.2. Подключить собранную цепь к выходным зажимам источника регулируемого переменного напряжения. Подать питание. Установить регулятором значение напряжение, указанное преподавателем. Измерить общее напряжение, напряжение и ток каждой ветви электрической цепи. Результаты измерений записать в табл. 5.5.

Таблица 5.5

Вариант схемы	U	U_1	I_1	U_2	I_2	U_3	I_3	
	В	В	А	В	А	В	А	
								Измерено
								Вычислено

3 Обработка результатов измерений

3.1. Рассчитать параметры, указанные в графе "Вычислено" табл. 5.1, 5.2, 5.3. Проверить выполнение равенств: $M_{12} = M_{12}$, $M_{12} = M_{21}$, $M_{23} = M_{32}$.

3.2. Построить графики зависимостей $M_{12}=f(l_0)$, $M_{23}=f(l_0)$, $M_{31}=f(l_0)$.

3.3. Используя результаты измерений, полученные в п. 2.2.2., для трех сочетаний обмоток рассчитать эквивалентные индуктивные сопротивления при согласном и встречном их включении, соответственно. Рассчитать значения M_{12} , M_{23} , M_{31} . Результаты расчета записать в графу «Вычислено» табл.5.4.

3.4. По данным табл. 5.4 для последовательного соединения одной из пар обмоток построить векторные диаграммы при согласном и встречном включении.

3.5. Рассчитать U_1 , I_1 , U_2 , I_2 , U_3 , I_3 для исследуемой цепи подраздела 2.3 при заданных значениях входного напряжения U и воздушного зазора l_0 . Параметры R_1 , L_1 , R_2 , L_2 взять из табл. 5.1, 5.2, 5.3. Значения R и C расчетной цепи принять равными параметрам соответствующих им элементов реальной цепи исследуемой в подразделе 2.3. Результаты записать в строку "Вычислено" табл. 3.5 и сравнить с измеренными значениями.

4 Контрольные вопросы и задачи

4.1. Что понимают под явлением взаимной индукции? Дайте понятие взаимной индуктивности M .

4.2. Как определяется M расчетным и опытным путями?

4.3. Почему изменяется взаимная индуктивность обмоток при изменении воздушного зазора в сердечнике?

4.4. Почему в случае двух индуктивно увязанных катушек не могут одновременно выполняться условий $L_1 < M$ и $L_2 < M$?

4.5. Почему при одном и том же напряжении ток больше при встречном соединении двух обмоток, чем при согласном?

4.6. Записать и объяснить смысл уравнения, характеризующего точное соотношение между показаниями вольтметра U_2 , U_3 и ЭДС E_1 и E_2 (см. рис.28).

4.7. Дайте понятие одноименных выводов двух индуктивно связанных катушек. Как опытно определяются одноименные выводы?

4.8. Как осуществляют "развязывание" магнитно-связанных цепей?

4.9. Как следуют соединить две обмотки, чтобы получить наименьшие значения полного сопротивления? Как получить наибольшее полное сопротивление?

4.10. Объясните сущность согласного и встречного включения индуктивно/связанных катушек.

4.11. Составьте систему уравнений Кирхгофа для расчета любой из индуктивно-связанных цепей, представленных на рис. 32.

4.12. Задача. Определить ток и напряжение на зажимах каждой катушки (рис. 35): $U=220$ В, $\omega=100$ с⁻¹, $R_1=R_2=R_3=20$ Ом, $L_1=0,1$ Гн, $L_2=0,2$ Гн, $L_3=0,3$ Гн, $M_{12}=0,1$ Гн, $M_{23}=0,2$ Гн, $M_{31}=0,15$ Гн.



Рис.35

4.13. Задача. Определить ток каждой катушки и общий ток(рис.36):

$U=100$ В, $\omega=100$ с⁻¹, $R_1=R_2=15$ Ом, $L_1=0,2$ Гн, $L_2=0,4$ Гн, $M=0,25$ Гн.

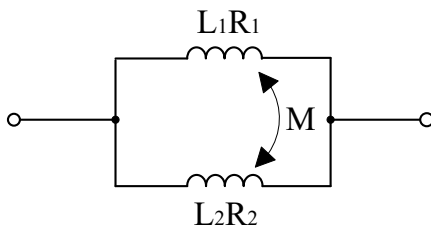


Рис.36

Лабораторная работа №6

Исследование трехфазных цепей при соединении электроприемников «звездой»

Цель работы - изучить распределение токов и напряжений в симметричных и несимметричных трехфазных цепях при соединении электроприемников звездой.

1 Домашняя подготовка к работе

1.1. Изучить разделы курса ТОЭ, в которых рассматриваются трехфазные цепи [1, с. 361–398]. Усвоить основные понятия и обозначения, относящиеся к трехфазным цепям, схемы соединения и основные соотношения между величинами, действующими в трехфазных цепях.

1.2. Изучить порядок выполнения работы. Подготовить бланк отчета, который должен содержать схемы и таблицы из раздела 2 «Порядок выполнения работы».

2 Порядок выполнения работы

2.1. Собрать цепь по схеме, приведенной на рис. 6.1.

Примечание. В качестве R_A , R_B , R_C используются лампы накаливания. Изменение R_C достигается включением различного числа ламп.

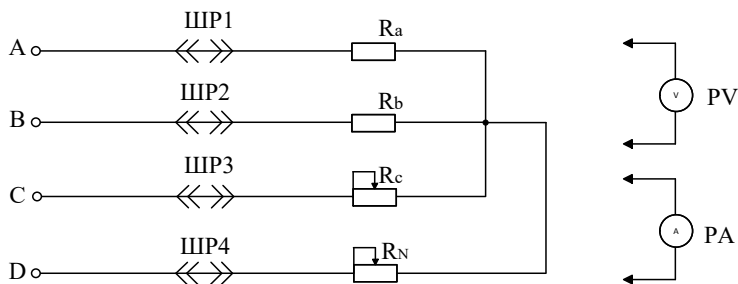


Рис. 6.1

2.2. Отсоединить нейтральный провод. Включить питания и измерить фазные и линейные напряжения, а также линейные токи при

пяти значениях сопротивления R_C : ∞ ; $2R$; R ; $2R/3$; 0 , где $R=R_A=R_B$. Для получения $R_C=0$ необходимо зажимы нагрузки фазы C соединить проводником накоротко. Результаты измерений занести в табл. 6.1.

Таблица 6.1

Трехпроводная цепь

R_C	Линейные напряжения			Фазные напряжения			Токи		
	U_{AB}	U_{BC}	U_{CA}	U_A	U_B	U_C	I_A	I_B	I_C
Ом	В	В	В	В	В	В	А	А	А
∞									
$2R$									
R									
$2R/3$									
0									

2.3. Снять закорачивающий провод с зажимов нагрузки в фазе C . Подключить нейтральный провод. Сопротивление R_N вывести до нуля или закоротить. Сопротивления нагрузки в фазах A и B оставить прежними. В полученной четырехпроводной цепи выполнить измерение величин, указанных в табл. 6.2, при четырех значениях сопротивления нагрузки в фазе C : ∞ ; $2R$; R ; $2R/3$. Режим $R_C=0$ в этом случае не устанавливается, так как он является аварийным!

Таблица 6.2

Четырехпроводная цепь

R_C	Линейные напряжения			Фазные напряжения			Токи			
	U_{AB}	U_{BC}	U_{CA}	U_A	U_B	U_C	I_A	I_B	I_C	I_N
Ом	В	В	В	В	В	В	А	А	А	А
∞										
$2R$										
$R/2$										
$2R/3$										

2.4. Создать несимметричную нагрузку фаз, включив в них одну, две и три лампы. Измерить и записать в табл. 6.3, указанные в ней величины при различных значениях сопротивления нейтрального провода. Для получения $R_N=\infty$ вынуть замыкатель ШР4.

Таблица 2.3

Исследование влияния сопротивления нейтрального провода на величину напряжения смещения нейтрали

R_N	U_L	U_A	U_B	U_C	U_N	I_A	I_B	I_C	I_N
Ом	В	В	В	В	В	А	А	А	А
0									
$R_N/3$									
$2R_N/3$									
R_N									
∞									

3 Обработка результатов измерений

3.1. По данным табл. 6.1 построить векторные диаграммы линейных и фазных напряжений. Построение начинать с векторов линейных напряжений, которые в любом случае образуют треугольник, который можно построить методом засечек.

3.2. На векторных диаграммах показать вектор U_N и сделать в отчете письменный вывод о характере изменения U_N при изменении R_C от ∞ до нуля.

3.3. Отложить на диаграммах векторы токов и проверить равенство

$$\dot{I}_A + \dot{I}_B + \dot{I}_C = 0.$$

3.4. Построить векторные диаграммы по данным табл. 6.2, проверить равенство

$$\dot{I}_A + \dot{I}_B + \dot{I}_C = \dot{I}_N.$$

3.5. Построить векторные диаграммы по данным табл. 6.3. С помощью формулы для расчета напряжения смещения нейтрали

$$\dot{U}_N = \frac{E_A Y_A + E_B Y_B + E_C Y_C}{Y_A + Y_B + Y_C + Y_N}.$$

объяснить в отчете письменно влияние R_N на величину U_N и на распределение фазных напряжений.

3.6. Записать в отчете вывода о роли нейтрального провода в несимметричной и в симметричной трехфазных цепях.

4 Контрольные вопросы и задачи

4.1. Определение трехфазных цепей.

4.2. Симметричные и несимметричные трехфазные цепи.

4.3. Симметричные и несимметричные трехфазные системы токов напряжений, ЭДС.

4.4. Запись трехфазных систем токов, напряжений, ЭДС в виде мгновенных значений и комплексов.

4.5. Изображение трехфазных систем с помощью графиков и векторных диаграмм.

4.6. Соотношения между фазными и линейными напряжениями в симметричных и несимметричных случаях (записать в комплексной форме и показать на векторной диаграмме).

4.7. Первое уравнение Кирхгофа для 3-х к 4-х проводной цепи.

4.8. При каких условиях появляется ток в нулевом проводе?

4.9. Как отражается наличие или отсутствие нейтрального провода на распределение фазных напряжений при симметричной и несимметричной нагрузке?

4.10. В каких случаях и каким образом влияет величина сопротивления нейтрального провода на фазные напряжения?

4.11. Сопоставить и объяснить, пользуясь векторными диаграммами, различие в данных табл. 2.1 и 2.2.

4.12. Задача. $U_{AB}=U_{BC}=U_{CA}=173$ В. Определить линейные токи, фазные напряжения и построить векторные диаграммы в случаях (рис38):

а) $\underline{Z}_{AX} = \underline{Z}_{BY} = \underline{Z}_{CZ} = 10$;

б) $\underline{Z}_{AX} = \underline{Z}_{CZ} = 10$; $\underline{Z}_{BY} = \infty$;

в) $\underline{Z}_{AX} = \underline{Z}_{CZ} = 10$; $\underline{Z}_{BY} = 0$.

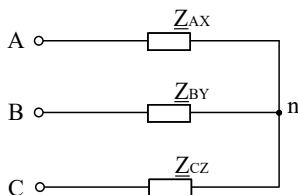


Рис.6.2

4.13. Задача. То же, что в задаче 12, но при наличии нейтрального провода с пренебрежимо малым сопротивлением (Случай «б» не рассматривается).

4.14. Задача. В цепи, изображенной на рис.39, линейные напряжения $U_{\text{л}}=380$ В. Все сопротивления, изображенные на схеме, одинаковы и равны 20 Ом каждое. Определить показания электромагнитного амперметра.

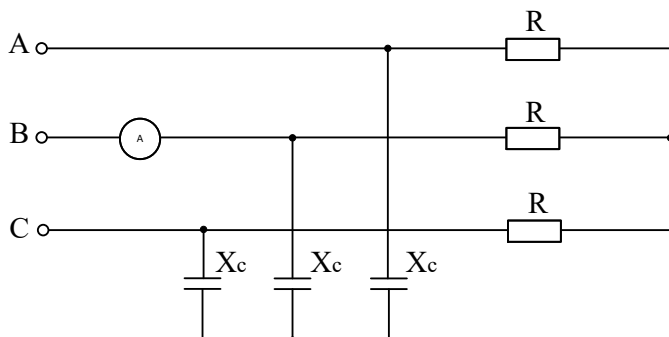


Рис.6.3

4.15. Каково по характеру сопротивление $\underline{Z}$ симметричного трехфазного потребителя, если, несмотря на наличие питающего напряжения, ваттметр показывает ноль (рис.40)? Ответ пояснить на векторной диаграмме.

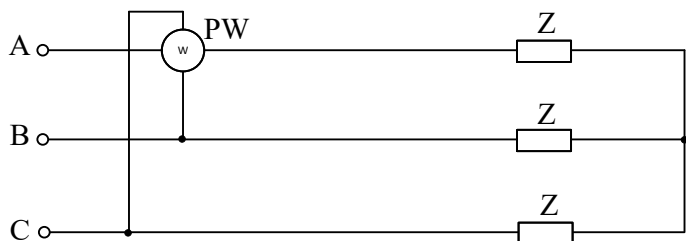


Рис.6.4

4.16. Режим трехфазной четырехпроводной цепи симметричен. Сопротивлением нейтрального провода пренебречь. Где будет находиться нейтральная точка на векторной диаграмме напряжений в случае обрыва фазы A ? Показать на векторной диаграмме напряжение между точками обрыва.

4.17. Задано линейное напряжение $U_{\text{л}}$ трехфазной сети и сопротивление симметричного трехфазного потребителя. Выразить через заданные величины ток в проводе A при перегорании предохранителя в проводе C (рис.41).

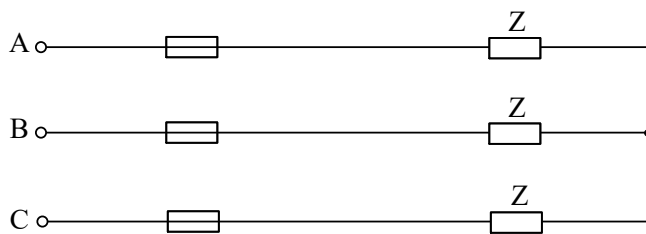


Рис.6.5

Лабораторная работа №7

Исследование трехфазных цепей при соединении потребителей «треугольником»

Цель работы – изучить распределение фазных и линейных токов и напряжений в симметричных и несимметричных трёхфазных цепях при соединении нагрузки в треугольник.

1 Домашняя подготовка к работе

1.1. Изучить разделы курса ТОЭ, в которых рассматриваются трехфазные цепи [1, с. 361–398]. Усвоить основные положения и соотношения присущие трехфазным цепям при схеме соединения нагрузки в треугольник.

1.2. Изучить порядок выполнения работы. Подготовить бланк отчета, который должен содержать схемы и таблицы из раздела 2 «Порядок выполнения работы».

2 Порядок выполнения работы

2.1. Собрать цепь по схеме, приведенной на рис. 7.1. В качестве Z_{AX} ; Z_{BY} ; Z_{CZ} используются лампы накаливания. Разъемы ШР, позволяющие одним амперметром измерить три линейных и три фазных тока, на лабораторной панели смонтированы и присоединены к фазам нагрузки. (На схеме рис. 42 они не показаны).

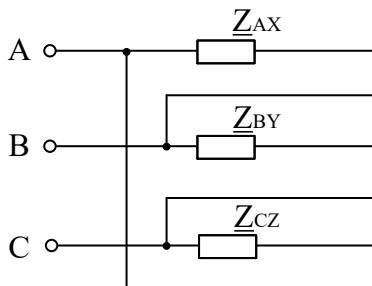


Рис. 42

2.2. Измерить и записать в табл. 7.1 фазные и линейные токи, а также фазные напряжения при постоянных значениях сопротивлений в

фазах AX и BY и нескольких значениях сопротивления в фазе CZ . Среди измерений должен быть случай $I_{AX}=I_{BY}=I_{CZ}$.

2.3. Отсоединить провод от зажима «А» на панели трехфазного источника питания (обрыв линейного провода) и проделать те же измерения, что в пункте 2.2. Результаты измерений записать в табл. 7.2.

2.4. Отсоединить провод от зажима «В» на панели трехфазного источника питания (обрыв линейного провода) и проделать те же измерения, что в пункте 2.2. Результаты измерений записать в табл. 7.3.

2.5. В фазе CZ заменить активное сопротивление емкостным. Измерить линейные напряжения, фазные и линейные токи. Результаты измерений занести в первую строку табл.7.4. В фазе CZ заменить емкостное сопротивление индуктивным. Измерить линейные напряжения, фазные и линейные токи. Результаты измерений занести во вторую строку табл.7.4.

Таблица 7.1

Нормальный режим работы цепи

Напряжения			Линейные токи			Фазные токи		
U_{AB}	U_{BC}	U_{CA}	I_A	I_B	I_C	I_{AX}	I_{BY}	I_{CZ}
В	В	В	А	А	А	А	А	А

Таблица 7.2

Обрыв линейного провода в фазе «А»

Напряжения			Линейные токи			Фазные токи		
U_{AB}	U_{BC}	U_{CA}	I_A	I_B	I_C	I_{AX}	I_{BY}	I_{CZ}
В	В	В	А	А	А	А	А	А

Таблица 7.3

Обрыв линейного провода в фазе «В»

Напряжения			Линейные токи			Фазные токи		
U_{AB}	U_{BC}	U_{CA}	I_A	I_B	I_C	I_{AX}	I_{BY}	I_{CZ}
В	В	В	А	А	А	А	А	А

Таблица 7.4

Реактивное сопротивление в фазе

Характер Z_{CZ}	Напряжения			Линейные токи			Фазные токи		
	U_{AB}	U_{BC}	U_{CA}	I_A	I_B	I_C	I_{AX}	I_{BY}	I_{CZ}
	В	В	В	А	А	А	А	А	А
X_C									
X_L									

3 Обработка результатов измерений

3.1. По данным табл.7.1 построить векторные диаграммы токов, совмещенные с диаграммой напряжений.

Примечание: для сокращения объема построений для всех вариантов нагрузки в табл. 2.1 можно строить одну диаграмму, где будут отложены постоянные значения I_{AX} и I_{BY} , семейство значений I_{CZ} и зависящих от них линейных токов.

3.2. По данным табл.7.2 построить векторные диаграммы токов, совмещенные с диаграммой напряжений.

3.3. По данным табл.7.3 построить векторные диаграммы токов, совмещенные с диаграммой напряжений.

3.4. По данным табл.7.4 построить векторные диаграммы токов, совмещенные с диаграммой напряжений.

4 Контрольные вопросы и задачи

4.1. Сформулируйте определение трехфазной цепи. Что понимают под симметричными и несимметричными трехфазными цепями, симметричными и несимметричными трехфазными системами ЭДС, токов, напряжений?

4.2. Какими способами можно изобразить и записать трехфазные системы ЭДС, токов, напряжений?

4.3. Что значит соединить фазы приемника энергии или фазы генератора в треугольник?

4.4. Запишите в комплексной форме соотношения между фазными и линейными токами, а также между фазными и линейными напряжениями при соединении фаз в треугольник.

4.5. Задача. Система линейных напряжений на зажимах приемника, соединенного в треугольник, симметрична $U_A=200$. Определить фазные и линейные токи, построить векторные диаграммы токов и напряжений в случаях:

1) $\underline{Z}_{AX} = \underline{Z}_{BY} = \underline{Z}_{CZ} = 20$;

2) $\underline{Z}_{AX} = \underline{Z}_{CZ} = 20$; $\underline{Z}_{BY} = \infty$;

3) $\underline{Z}_{AX} = 20$; $\underline{Z}_{BY} = j20$; $\underline{Z}_{CZ} = -j20$;

4) $\underline{Z}_{AX} = 10 + j10\sqrt{3}$; $\underline{Z}_{BY} = 10 - j10\sqrt{3}$; $\underline{Z}_{CZ} = 20$.

Лабораторная работа № 8

Исследование пассивных четырехполюсников

Цель работы - экспериментальное определение коэффициентов и параметров схем замещения пассивных четырехполюсников.

1 Домашняя подготовка к работе

1.1. Изучить разделы курса ТОЭ, в которых рассматриваются четырехполюсники [1, с. 233–268]. Усвоить основные положения теории четырехполюсников. Познакомиться с методиками экспериментального и расчетного определения параметров четырехполюсников.

1.2. Получить выражения для Т-образной и П-образной схем замещения четырехполюсника. Вывод выражений привести в бланке отчета.

1.3. Подготовить бланк отчета, который должен содержать схемы и таблицы из раздела 2 «Порядок выполнения работы».

2 Порядок выполнения работы

2.1. Из элементов электрической цепи: конденсатора, резистора и катушки индуктивности собрать Т-образный (для бригады с нечетным номером) или П-образный (для бригады с четным номером) четырехполюсник и включить его по схеме, представленной на рис. 8.1.

2.2. Выполнить опыты холостого хода и короткого замыкания при питании четырехполюсника со стороны зажимов m-n. Результаты измерений занести в табл. 8.1.

Примечания:

1) Напряжение на входе устанавливать плавно, идя от нуля, и такое, чтобы показания приборов были удобны для снятия результатов.

2) Для определения знака аргумента комплексных сопротивлений замыкают ключ K_2 . При этом, если показание амперметра уменьшится, то знак «плюс», а если увеличится, то знак «минус».

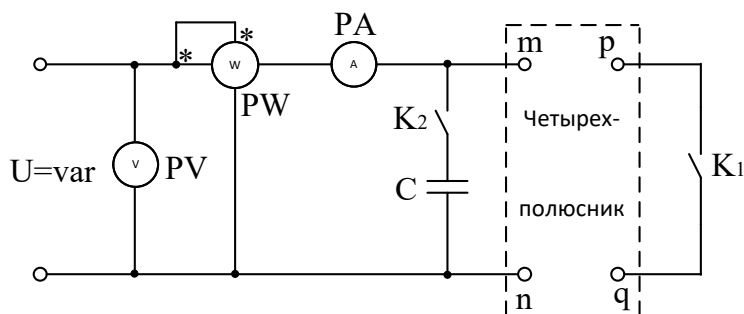


Рис.45. Электрическая схема определения параметров четырехполюсника

Таблица 8.1

Результаты опытов х.х и к.з четырехполюсника

Питание со стороны зажимов	Опыт	Измерено				Вычислено
		U	I	P	Знак ϕ	Комплексное сопротивление
		В	А	Вт	-	
m-n	х.х					$Z_{10} =$
m-n	к.з					$Z_{1K} =$
p-q	х.х					$Z_{20} =$
p-q	к.з					$Z_{2K} =$

2.3. Выполнить опыты холостого хода и короткого замыкания при питании четырехполюсника со стороны зажимов p-q. Использовать те же приборы и рекомендации, что в п. 2.2. Полученные результаты измерений занести в табл. 8.1.

3 Обработка результатов измерений

3.1. Рассчитать параметры, указанные в графе «Вычислено» табл. 8.1. Убедиться в справедливости соотношений $Z_{10}/Z_{20} = Z_{1K}/Z_{2K}$.

3.2. Используя вычисленные данные (табл. 8.1), определить коэффициенты четырехполюсника А-формы записи уравнений Т-образного четырехполюсника и П-образного четырехполюсника. Результаты записать в табл. 8.2.

3.3. Вычислить параметры исследуемого четырехполюсника (Т-схема нечетная бригада; П-схема четная бригада). Результаты записать в табл. 8.2.

3.4. По определенным коэффициентам А-формы записи уравнений или параметрам опытов холостого хода и короткого замыкания исследуемого четырехполюсника определить параметры П-схемы замещения (если исследуемый четырехполюсник Т-схема) или Т-схемы замещения (если исследуемый четырехполюсник П-схема) четырехполюсника. Результаты записать в табл. 4.1.

Таблица 8.2

Коэффициенты и параметры четырехполюсника

<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>D</i>	Z_1	Z_2	Z_3	Y_1	Y_2	Y_3

3.5. Вычислить характеристические сопротивления и постоянную передачи четырехполюсника.

3.6. Считая, что исследуемый четырехполюсник нагружен на характеристическое сопротивление Z_{c2} , и зная параметры четырехполюсника, определить токи и напряжения на элементах четырехполюсника, если $U_1 = n \cdot 50 \text{ В}$ (n - номер бригады).

3.7. По результатам исследований сделать выводы.

4 Контрольные вопросы

4.1. Что такое четырехполюсник, активный, пассивный четырехполюсник?

4.2. Привести примеры реальных электрических схем, которые можно рассматривать как четырехполюсники.

4.3. Какой четырехполюсник называется симметричным?

4.4. Какими схемами замещения может быть представлен любой реальный четырехполюсник?

4.5. Записать уравнения четырехполюсника в А-форме.

4.6. Записать уравнения связи коэффициентов А-формы записи.

4.7. Из каких опытов можно найти коэффициенты уравнений четырехполюсника?

4.8. Записать уравнения четырехполюсника при холостом ходе.

4.9. Записать уравнения четырехполюсника при коротком замыкании выходных зажимов.

4.10. Записать выражения для характеристических сопротивлений и постоянной передачи. Объяснить их физический смысл.

Лабораторная работа № 9

Исследование электрических цепей несинусоидального тока

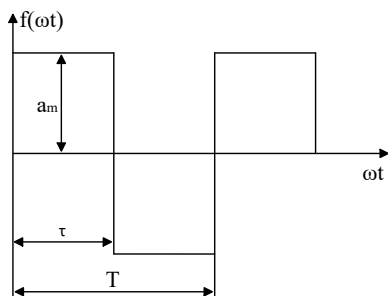
Цель работы - исследование линейных электрических цепей с несинусоидальными источниками питания.

1 Домашняя подготовка к работе

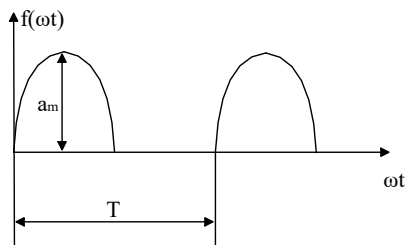
1.1. Изучить разделы курса ТОЭ, в которых рассматриваются периодические несинусоидальные токи в линейных электрических цепях [1, с. 400–425].

1.2. Разложить несинусоидальные функции, приведенные на рис.9.1, в ряд Фурье.

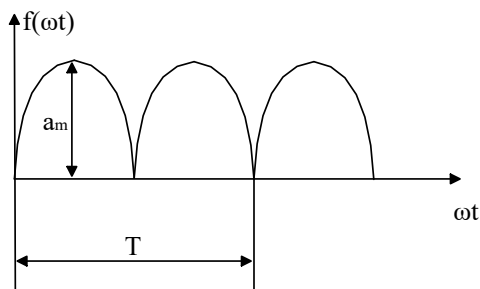
1.3. Изучить порядок выполнения работы. Подготовить бланк отчета, который должен содержать схемы и таблицы из раздела 2 «Порядок выполнения работы». В отчете также привести разложение несинусоидальных функций, представленных на рис. 9.1 а, б, в.



а)



б)



в)

Рис.9.1 Периодические несинусоидальные функции

2. Порядок выполнения работы

2.1. Определить параметры катушки, резистора и конденсатора на частоте первой (основной) гармоники. Для чего собрать цепь по схеме рис. 9.2, подключив в качестве приемника энергии Z индуктивную катушку (резистор, конденсатор). Цепь подключить к выходным зажимам источника регулируемого переменного синусоидального напряжения. Затем подать на схему напряжение U , регулируя напряжение установить ток в пределах $0,1 - 0,2$ А. Показания всех приборов записать в табл. 9.1.

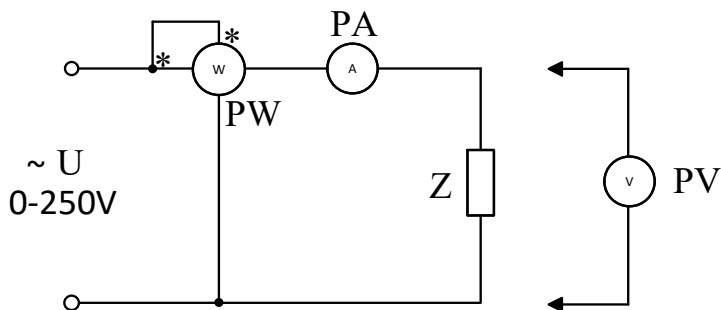


Рис.9.2. Схема определения параметров элементов на первой гармонике

Таблица 9.1

Параметры элементов на первой гармонике						
Приемник электроэнергии	Измерено			Вычислено		
	U В	I А	P Вт	Z Ом	R Ом	X Ом
Катушка						
Резистор						
Конденсатор						

2.2. Собрать цепь по схеме, приведенной на рис.9.3. От блока питания несинусоидального напряжения подать несинусоидальное напряжение (форма периодического несинусоидального напряжения задается бригаде преподавателем) на вход схемы.

2.3. Подготовить осциллограф к работе. С помощью кабеля соединить контрольные клеммы 1-6 электрической цепи с входами осциллографа. Зарисовать осциллограмму напряжения на входе цепи и определить его параметры.

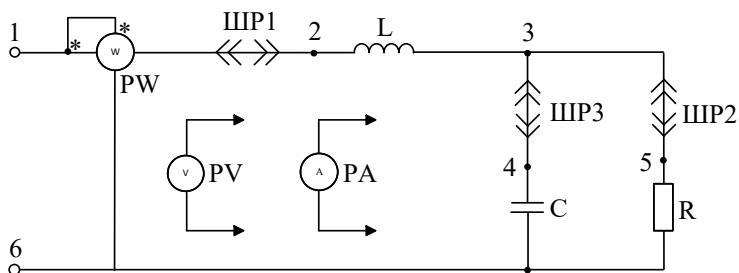


Рис.9.3. Схема исследования электрической цепи несинусоидального тока

2.4. С помощью амперметра и вольтметра (электромагнитной системы) определить действующие значения токов в ветвях и напряжений на элементах цепи. По показанию ваттметра определить активную мощность цепи. Показания приборов записать в табл. 9.2.

Таблица 9.2

Результаты исследования электрической цепи несинусоидального тока

№ цепи и её схема		Общие		Катушка		Резистор		Конденсатор		
		P	U	I	U	I	U	I	U	
		Вт	В	А	В	А	В	А	В	
1										Изм.
										Выч.
2										Изм.
										Выч.

2.5. С помощью осциллографа снять кривые тока в ветвях схемы. Для этого с помощью кабеля соединить контрольные клеммы 1-3, (3-4), (3-5) электрической цепи №1 со входом осциллографа. При этом в соответствующие разъемы ШП1, (ШП2), (ШП3) должен быть включен амперметр, т.е. в качестве шунта используется внутреннее сопротивление амперметра. Осциллограммы соответствующих токов зарисовать:

2.6. Собрать цепь №2 и повторить действия, указанные в подразделе 2.4. Результаты записать в табл. 9.2. В соответствии с подразделом 2.5, снять осциллограммы токов в ветвях для цепи №2.

3 Обработка результатов измерений

3.1. По результатам измерений (табл. 9.1) вычислить параметры индуктивной катушки, резистора и конденсатора на частоте первой гармоники. Результаты записать в графы «вычислено» табл. 9.1.

3.2. По виду периодического несинусоидального напряжения и его параметрам (подраздел. 2.3) разложить входное напряжение в ряд Фурье (до пятой гармоники) и определить параметры гармоник. По действующим значениям гармоник входного напряжения определить его действующее значение. Результат записать в строке «вычислено» для соответствующей цепи (табл. 9.2).

3.3. По известному входному напряжению (его гармоническому составу) и параметрам цепи (табл. 9.1) рассчитать соответствующие цепи и определить действующие значения токов и напряжений элементов цепи, а также определить активную мощность всей цепи. Результаты расчета записать в графы «вычислено» табл. 9.2;

3.4. Сравнить кривые токов в ветвях цепей № 1 и №2 и объяснить влияние параметров реактивных элементов и мест их включения на форму токов.

4 Контрольные вопросы и задания

4.1. Определить, какой вид примет ряд Фурье, если $f(\omega t) = f(-\omega t)$?

4.2. Каким видом симметрии обладает кривая, заданная в виде $i = 5\sin(\omega t) + 3\sin(\omega t)$?

4.3. Определить мгновенное и действующее значения тока в цепи, если действующее $i = 3 + 4\sin(\omega t)$?

4.4. Как измениться действующее значение тока в последовательной R - L - C цепи, значение индуктивности будет увеличено вдвое? К цепи приложено несинусоидальное напряжение $U = 100 + 150\sin(\omega t)$.

4.5. Как измениться действующее значение тока в последовательной R - L - C цепи, значение емкости будет увеличено вдвое? К цепи приложено несинусоидальное напряжение $U = 50 + 100\sin(\omega t)$.

4.6. Условие резонанса напряжений на k-ой гармоники. Последовательное соединение R — L — C ($R = 10 \text{ Ом}$; $X_L^{(1)} = 10 \text{ Ом}$; $X_C^{(1)} = 30 \text{ Ом}$). К цепи приложено напряжение $U = 100 + 50\sin(3\omega t)$. Определить мгновенное и действующее значение тока.

4.7. Условие резонанса токов на k-ой гармонике. Параллельное

соединение двух ветвей: $R_1 - L$ и $R_2 - C$ ($g_1^{(3)}=0,2 \text{ См}$ $g_2^{(3)}=0,2 \text{ См}$; $b_L^{(3)}=b_C^{(3)}=0,1 \text{ См}$). Определить ток в цепи (мгновенное и действующее значение), если к цепи приложено напряжение $U=50+10\sin(3\omega t)$.

4.8. Как влияют параметры реактивных элементов на форму тока в неразветвленной части цепи при последовательном и параллельном их соединении?

Список рекомендуемой литературы

1. Атабеков, Г.И. Теоретические основы электротехники. Линейные электрические цепи. [Электронный ресурс] — Электрон. дан. — СПб.: Лань, 2009. — 592 с. — Режим доступа: <http://e.lanbook.com/book/90> — Загл. с экрана.
2. Атабеков, Г.И. Теоретические основы электротехники. Нелинейные электрические цепи. Электромагнитное поле. [Электронный ресурс] / Г.И. Атабеков, С.Д. Купальян, А.Б. Тимофеев, С.С. Хухриков. — Электрон. дан. — СПб.: Лань, 2010. — 432 с. — Режим доступа: <http://e.lanbook.com/book/644> — Загл. с экрана.
3. Сборник задач по теоретическим основам электротехники: учеб. пособие / ред. Л. А. Бессонов. - изд. 4-е, перераб. и испр. - Москва: Высшая школа, 2003. - 528 с.