

Министерство образования Российской Федерации
Владимирский государственный университет
Кафедра электротехники и электроэнергетики

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
К РАСЧЕТНО-ЛАБОРАТОРНЫМ РАБОТАМ
ПО ЭЛЕКТРОТЕХНИКЕ
ДЛЯ СТУДЕНТОВ ЗАОЧНОГО ОБУЧЕНИЯ**

Составители:
Г.П. КОЛЕСНИК
Ю.П. МАКСИМОВ
И.Р. ПЕЧАЛИНА
И.Б. ЧУПИН

Владимир 2003

УДК 621.313.333(076)

Рецензент
Кандидат технических наук, доцент
Владимирского государственного университета
В.С. Грибакин

Печатается по решению редакционно-издательского совета
Владимирского государственного университета

Методические указания к расчетно-лабораторным работам по электротехнике для студентов заочного обучения / Владим. гос. ун-т; Сост.: Г.П. Колесник и др. Владимир, 2003. 44 с.

Содержат описание четырех расчетно-лабораторных работ, в каждой из которых приведены цель работы, объект и средства исследования, домашнее задание, методические указания, контрольные вопросы и учебная литература.

Методические указания составлены в соответствии с Государственными образовательными стандартами (раздел «Электротехника» для студентов неэлектрических специальностей заочной формы обучения: 110400; 120100; 120300; 150200; 190100; 190500; 230100; 250600; 250800; 290300; 290700).

Табл. 16. Ил. 18. Библиогр.: 3 назв.

УДК 621.313.333(076)

ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

При выполнении лабораторных работ студенты приобретают навыки проведения эксперимента, совершенствуют работу с измерительными приборами, учатся читать электрические и собирать соответствующие им монтажные схемы, обрабатывать результаты эксперимента.

Перед выполнением курса лабораторных работ по электротехнике каждый студент обязан изучить правила техники безопасности и распечатать в журнале, который находится в лаборатории.

Лабораторные работы выполняются бригадами, состоящими из 2 – 3 студентов. Во время выполнения работы каждая бригада должна иметь бланк отчета с письменными ответами в соответствии с требованиями раздела 2 к каждой лабораторной работе и со всеми необходимыми рисунками, графиками и таблицами.

Перед выполнением лабораторной работы каждый студент должен получить у преподавателя допуск к работе, который включает в себя проверку выполнения домашней подготовки. Студентам, допущенным к занятиям, дается разрешение на сборку схемы. Студенты, не подготовившиеся к занятиям, к выполнению работы не допускаются. Если студент имеет задолженность по двум незащищенным работам, то к выполнению следующей он также не допускается.

После выполнения лабораторной работы бригада студентов подписывает у преподавателя результаты опытов, затем разбирает схему и приводит стенд в порядок. Студенты, выполнившие, оформившие и защитившие работу в день выполнения, предъявляют один отчет на бригаду. При защите в последующие дни отчет оформляется каждым членом бригады.

Отчеты по лабораторным работам должны быть выполнены аккуратно на листах формата А4 писчей бумаги в соответствии со стандартом предприятия СТП 71.4-84. Все электрические схемы, графики и таблицы должны быть выполнены при помощи чертежных инструментов. Причем, все графики выполняют только на миллиметровой бумаге. Обозначения в электрических схемах должны соответствовать ГОСТ 2.105-95, ГОСТ 2.702-75, ГОСТ 2.747-68, СТ СЭВ 1052-78, ГОСТ 1494-77, ГОСТ 19880-74.

Отчет должен содержать:

- титульный лист с указанием кафедры, учебной группы, фамилии, имени, отчества студента, названия, номера и даты выполнения лабораторной работы;
- задание;
- схему соединений;
- письменные ответы на каждый вопрос раздела «Подготовка к работе»;
- расчетные формулы с необходимыми вычислениями;
- таблицы измеренных и вычисленных величин;
- графики и диаграммы;
- краткие выводы.

Расчетно-лабораторная работа № 1

ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПАССИВНЫХ И АКТИВНЫХ ДВУХПОЛЮСНИКОВ В ЦЕПЯХ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Цель работы – овладеть методикой измерения сопротивлений и определения вольт-амперных характеристик пассивных двухполюсников, а также овладеть методами измерения параметров двухэлементных схем замещения активных двухполюсников.

В результате проведения работы студенты должны знать основные формы записи уравнений, описывающих линейные пассивные и активные двухполюсники, и схемы замещения последних; уметь рассчитывать параметры двухполюсников и их эквивалентных схем замещения; приобрести навыки экспериментального исследования параметров и режимов работы двухполюсников.

1. Объект и средства исследования

Объектом исследования служат двухполюсные резистивные элементы, расположенные на сменной панели № 4, а также источник питания, расположенный на панели № 2 лабораторного стенда типа ЛСОЭ – 5.

В работе используется регулируемый источник постоянного напряжения 0 – 240 В, расположенный на панели № 2 стенда. Включают источник 0 – 240 В путем нажатия черной кнопки, находящейся над зажимами

0 – 240 В панели № 2. При этом должны загореться сигнальные лампы, расположенные над кнопкой и на сменной панели № 4. Регулируют напряжение 0 – 240 В поворотом ручки автотрансформатора, находящегося слева от зажимов 0 – 240 В на панели № 2 стенда. Отключают источник питания нажатием красной кнопки.

Измеряют ток, напряжения и мощность амперметрами, вольтметрами и ваттметром, параметры которых приведены в табл. 1.

Если элементы электрической цепи включены на одно и то же напряжение, то это признак параллельного соединения и все параллельно включенные элементы можно заменить одним эквивалентным элементом, проводимость которого равна сумме проводимостей элементов, входящих в параллельное соединение.

Для сложных электрических цепей вводят понятие смешанного соединения. В этом случае каждый элемент цепи рассматривается включенным параллельно всей остальной электрической цепи. Для выявления участков с последовательным и параллельным соединением используют преобразование эквивалентной трехлучевой звезды сопротивлений в треугольник и обратное преобразование.

Примеры эквивалентных преобразований приведены на рис. 2.

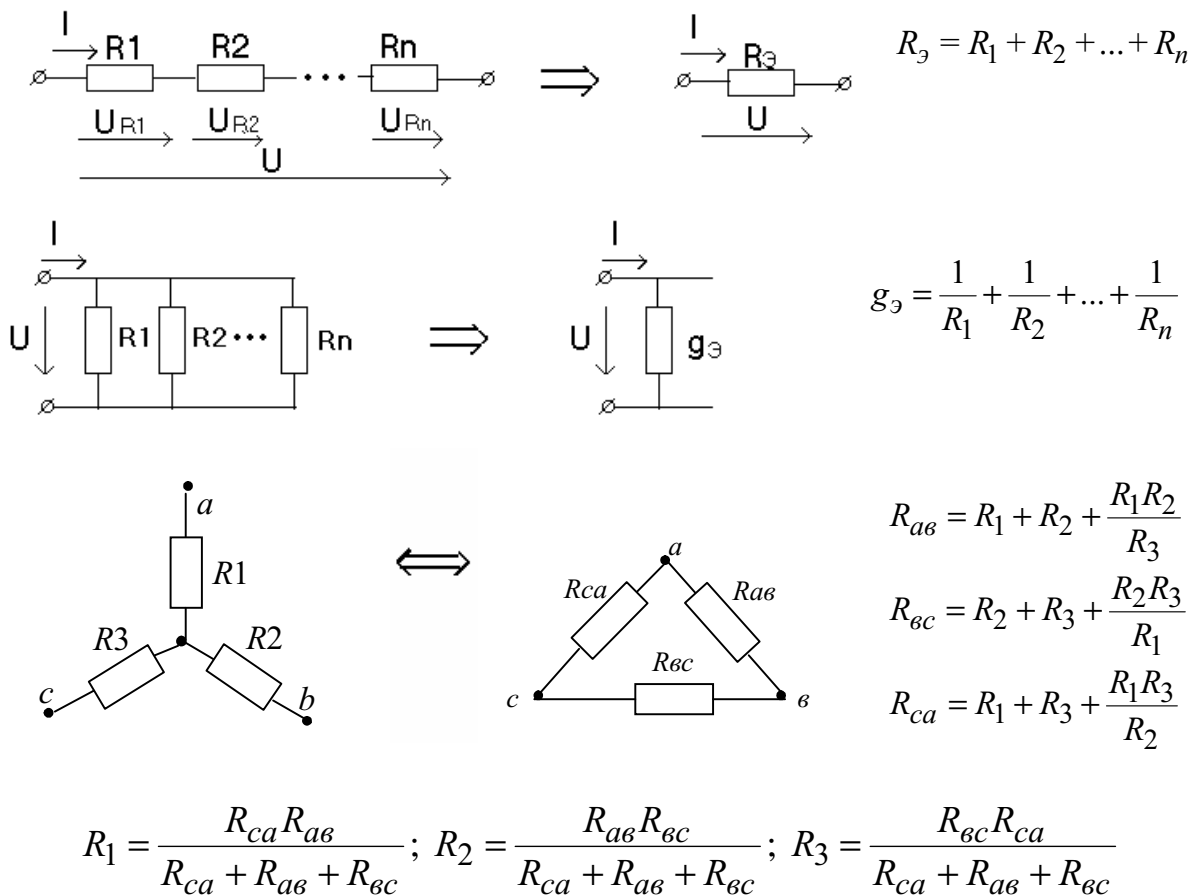


Рис. 2

Источник питания, используемый в опытах данной работы, относится к типу неидеальных источников э.д.с. (источник электрической энергии с внутренними потерями). В схемах замещения изображается в виде двух

последовательно соединенных элементов: идеального источника электродвижущей силы (э.д.с.) с напряжением E и резистивного элемента $R_{\text{вн}}$, моделирующего внутренние тепловые потери источника электрической энергии.

Схема замещения источника и его вольт-амперная характеристика показаны на рис. 3.

При сборке схем и выполнении работы следует руководствоваться инструкциями по технике безопасности № 1 и № 42 (находятся в лаборатории). На выполнение данной лабораторной работы отводится 4 академических часа. Однако при необходимости объем учебных заданий может быть сокращен.

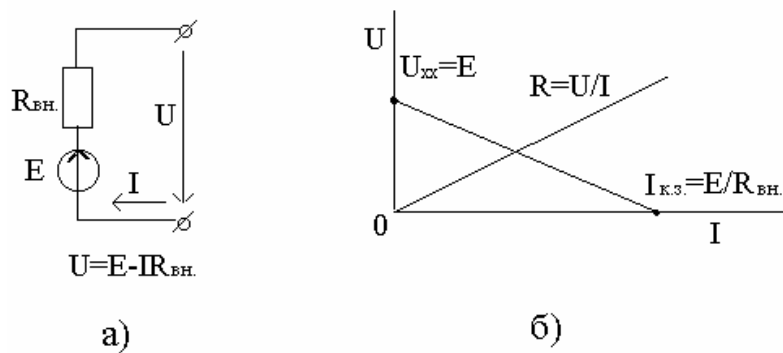


Рис. 3: а – неидеальный источник ЭДС;
б – вольт-амперные характеристики источника и нагрузки

2. Подготовка к работе

2.1. Ознакомиться с методами измерения электрического сопротивления. Изучить принцип действия омметра и измерительного моста постоянного тока.

2.2. Ознакомиться с принципом действия измерительных приборов (амперметров, вольтметров, ваттметров), с методами определения погрешности измерения.

2.3. Изобразить схемы измерения внутреннего сопротивления и э.д.с. неидеального источника напряжения (см. п. 4.2 методических указаний).

2.4. Оформить отчет по лабораторной работе с кратким изложением результатов по п. 2.1; 2.2; 2.3 и изображением схем, таблиц и расчетных формул по разделу 3.

3. Рабочее задание

3.1. Измерить поочередно сопротивление резисторов, включенных между зажимами *A-X*, *B-Y* и *C-Z* мультиметром типа М-830В и универсальным вольтметром типа В7-16А. Для этого входные зажимы прибора соединить проводами с зажимами *A-X* и поочередно замыкать ключи К1-К3 (положение вверх), затем повторить опыт, пересоединяя проводники на зажимы *B-Y* и *C-Z*.

Результаты опыта записать в табл. 2.

Таблица 2

Метод измерения	R_1 , Ом	R_2 , Ом	R_3 , Ом	R_4 , Ом	R_5 , Ом	R_6 , Ом	R_7 , Ом	R_8 , Ом	R_9 , Ом
Мультиметром М-830В									
Универсальным вольтметром В7-16А									
Погрешность измерения δ , %, по отношению к образцовому прибору В7-16А									

3.2. По результатам измерений п. 3.1 рассчитать максимально допустимый ток (см. п. 4.1) через резистивные элементы и значение максимально допустимого напряжения на каждом резистивном элементе, если известно, что допустимая мощность рассеяния каждого резистора на съемной панели № 4 равна 100 Вт.

3.3. Собрать электрическую цепь по схеме рис. 4,а, руководствуясь электромонтажной схемой на рис. 4,б. После проверки схемы преподавателем включить источник питания 0-240 В. При разомкнутых ключах К1-К6 (положение вниз) установить на входе схемы напряжение, указанное преподавателем. Снять показания приборов при очередном замыкании

ключей К1-К6 (один ключ замкнут (положение вверх), а остальные разомкнуты (положение вниз)). Результаты записать в табл. 3.

Таблица 3

№ п/п	Опыт			Расчет					
	I, A	U, B	$P, Вт$	$R_1, Ом$	$R_2, Ом$	$R_3, Ом$	$R_4, Ом$	$R_5, Ом$	$R_6, Ом$
1									
2									
3									
4									
5									
6									

Примечание. При сборке схемы (см. рис. 4) электроизмерительные приборы устанавливать на максимальный предел, а выход токовой обмотки ваттметра брать с отвода 2,5 А. В амперметрах замыкатели установить в гнезда 1 А, а на вольтметре и ваттметре нажать кнопки 600 В.

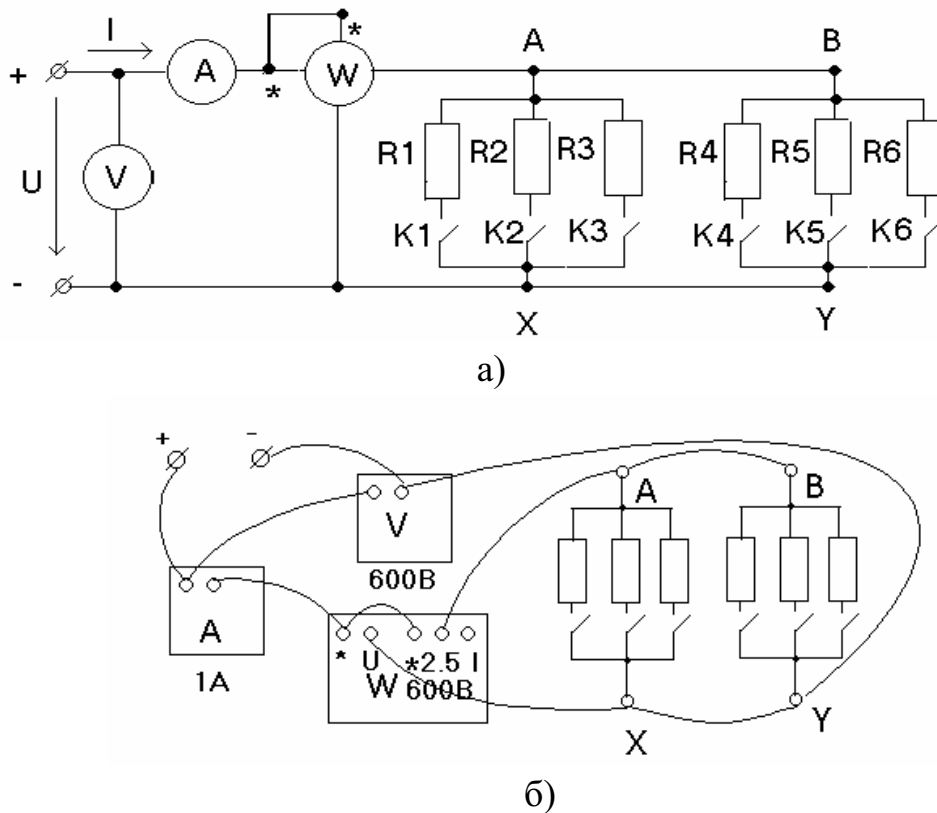


Рис. 4: а – схема электрическая принципиальная;
б – схема электрических соединений (электромонтажная)

При расчете величин R_i из табл. 3 обосновать применение расчетных формул

$$R_i = \frac{U_i}{I_i}; R_i = \frac{U_i^2}{P_i}.$$

Указание. При выборе формулы исходить из класса точности применяемых приборов.

После окончания опыта напряжение источника снизить до нуля (ручку автотрансформатора повернуть влево до упора) и отключить источник питания нажатием красной кнопки.

3.4. Исследование вольт-амперной характеристики нагрузки (R_H).

Для этого в электрической цепи по схеме (см. рис. 4) амперметр с пределом измерения 1 А заменить на амперметр с пределом 5 А, замкнуть все ключи К1-К6 (положение вверх). Убедиться, что ручка автотрансформатора повернута влево до упора. После проверки схемы преподавателем включить источник постоянного напряжения и, плавно изменяя его выходное напряжение от нуля до предельно допустимого через равные интервалы, снять зависимость $I = f(U)$ для резистивной нагрузки. При проведении опыта необходимо помнить, что предельно допустимый ток шести параллельно включенных резисторов в шесть раз больше $I_{\text{доп}}$ одного резистора (см. п. 3.2). Результаты записать в табл. 4.

Таблица 4

$U, \text{В}$	0								
$I, \text{А}$	0								

3.5. Исследование параметров активного двухполюсника (внутреннего сопротивления и э.д.с. неидеального источника э.д.с.).

В схеме предыдущего опыта установить входное напряжение U_H цепи равным 80 В. Измерить ток I_H в цепи, затем разомкнуть все ключи (положение вниз) и измерить напряжение на входе схемы U_{xx} . В соответствии с п. 4.2 методических указаний рассчитать э.д.с. и внутреннее сопротивление источника питания.

3.6. По результатам измерений и расчета п.п. 3.4 и 3.5 построить на одном графике вольт-амперные характеристики источника питания и нагрузки, руководствуясь известными соотношениями:

$$U_{\text{н}} = I_{\text{н}} R_{\text{н}} \text{ и } U_{\text{н}} = E - I_{\text{н}} R_{\text{вн}}.$$

Учебно-исследовательская работа.

3.7. Исследование модели линии передачи. Определить коэффициент полезного действия источника питания при исследовательском соединении резистивных элементов фаз $A-X$ и $B-Y$, если один из резистивных элементов фазы $A-X$ считать сопротивлением линии электропередачи, а резистивные элементы фазы $B-Y$ – переменной нагрузкой (см. п. 4.3 методических указаний).

4. Методические указания

4.1. При расчете допустимого тока через резистивный элемент необходимо воспользоваться формулой допустимой тепловой мощности, рассеиваемой этим элементом (в соответствии с законом Джоуля – Ленца),

$$P_{\text{доп}} = I_{\text{доп}}^2 R \text{ или } P_{\text{доп}} = \frac{U_{\text{доп}}^2}{R};$$

откуда $I_{\text{доп}} = \sqrt{\frac{P_{\text{доп}}}{R}}$ и $U_{\text{доп}} = \sqrt{P_{\text{доп}} R}$.

В качестве R взять среднее значение девяти резисторов, сопротивление которых измерено прибором В7-16А в п. 3.1 в соответствии с формулой

$$R_{\text{ср}} = \frac{1}{9} \sum_{i=1}^n R_i.$$

4.2. При измерении параметров схемы замещения неидеального источника э.д.с. можно воспользоваться методом двух режимов:

I. *Режим холостого хода.* При этом измеряется напряжение на зажимах источника питания при отключенной нагрузке $U_{\text{хх}}$ (все ключи на рис.4 разомкнуты), которое численно равно э.д.с., т.е. $U_{\text{хх}} = E$.

II. *Режим нагрузки.* При этом измеряется ток I_H и напряжение U_H схемы (см. рис. 4) при некоторой нагрузке, тогда $U_H = E - I_H R_{вн}$. Откуда внутреннее сопротивление источника

$$R_{вн} = \frac{E - U_H}{I_H}, \text{ Ом.}$$

4.3. Для расчета коэффициента полезного действия источника питания необходимо измерить мощность, отдаваемую источником P_E , и мощность, потребляемую нагрузкой P_H , тогда

$$\eta = \frac{P_H}{P_E} 100 \% .$$

5. Контрольные вопросы

1. Каковы особенности измерения сопротивлений методом амперметра и вольтметра?
2. Что такое омметр?
3. В чем заключается принцип действия приборов магнитоэлектрической системы, электромагнитной системы?
4. Что такое вольт-амперная характеристика двухполюсника?
5. Каковы параметры активных двухполюсников?
6. В каком случае двухполюсник называют активным?
7. Как определить режим работы активного двухполюсника?
8. Как определить погрешность измерения?
9. Какая разница между достоверным и точным измерениями?
10. Как определяется цена деления амперметра, вольтметра, ваттметра?
11. Как осуществить выбор измерительных приборов для конкретных измерений?
12. Что такое электрическое сопротивление?
13. Каков физический смысл допустимой мощности рассеяния резистивного элемента?
14. В чем смысл мостовых методов измерения сопротивлений?

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЗИСТИВНЫХ ДЕЛИТЕЛЕЙ НАПРЯЖЕНИЯ И ТОКА

Цель работы – овладеть методикой расчета делителей напряжения и тока, а также овладеть методами измерения параметров резистивных делителей напряжения и тока.



В результате проведения работы студенты должны знать основные формы записи уравнений, описывающих линейные пассивные резистивные делители напряжения и тока и представление последних схемами замещения; уметь рассчитывать параметры делителей напряжения и тока и их эквивалентных схем замещения; приобрести навыки экспериментального исследования параметров и режимов работы резистивных делителей напряжения и тока.

1. Объект и средства исследования

Объектом исследования служат Γ -образные, мостовые и T -образные делители напряжения и тока, собираемые из двухполюсных резистивных элементов, расположенных на сменной панели № 4, и источников питания, расположенных на панели № 2 лабораторного стенда типа ЛСОЭ-5.

В работе используется регулируемый источник переменного тока и постоянного напряжения 0 – 240 В, расположенный на панели № 2 стенда. Включают источник 0 – 240 В путем нажатия черной кнопки, находящейся над зажимами 0 – 240 В панели № 2. При этом должна загореться сигнальная лампа, расположенная над кнопкой. Регулируют напряжение 0 – 240 В поворотом ручки автотрансформатора, находящегося слева от зажимов 0 – 240В на панели № 2 стенда. Отключают источник питания нажатием красной кнопки. Измеряют ток, напряжения и активную мощность амперметрами, вольтметрами и ваттметрами, параметры которых приведены в табл. 1.

Таблица 1

Тип прибора	Система	Пределы измерений	Количество
Вольтметр Э545		0 – 600 В	1
Вольтметр Э544	>>	0 – 250 В	1
Амперметр Э537	>>	0,5 – 1 А	2
Амперметр Э537	>>	2,5 – 5 А	1
Ваттметр Д5065		75 – 500 Вт	1

При сборке схемы и выполнении работы следует руководствоваться инструкцией по технике безопасности № 1 (находится в лаборатории).

2. Подготовка к работе

2.1. Ознакомиться с методами построения схем резистивных Γ -образных, мостовых и T -образных делителей напряжения и тока.

2.2. Ознакомиться с принципом действия измерительных приборов (амперметров, вольтметров, ваттметров) и методами определения погрешности измерения.

2.3. Рассчитать коэффициент передачи напряжения K^U и тока K^i схем делителей напряжения и тока, показанных на рис. 1, 2 и 3.

2.4. Записать аналитические выражения и построить функциональные зависимости выходного напряжения U_2 схемы (см. рис. 1) от изменения эквивалентного сопротивления ветви $C-Z$ при неизменных параметрах остальных ветвей и источника, а также тока ветви $C-Z$ от тока ветви $A-X$ при тех же условиях.

2.5. Проверить выполнение законов Кирхгофа для схемы замещения (см. рис. 1) и построить функциональную зависимость к.п.д. схемы, считая ветвь $C-Z$ нагрузкой.

2.6. Оформить отчет по лабораторной работе с полностью выполненным заданием раздела 2, схемами и таблицами.

3. Рабочее задание

3.1. Исследование делителей напряжения на постоянном токе. Собрать электрическую цепь Γ -образного делителя напряжения, электрическая принципиальная и электромонтажная схемы которого показаны на

рис. 1. На вход схемы подключить источник постоянного напряжения 0 – 240 В, ручка автотрансформатора которого при сборке схемы должна быть выведена влево до отказа.

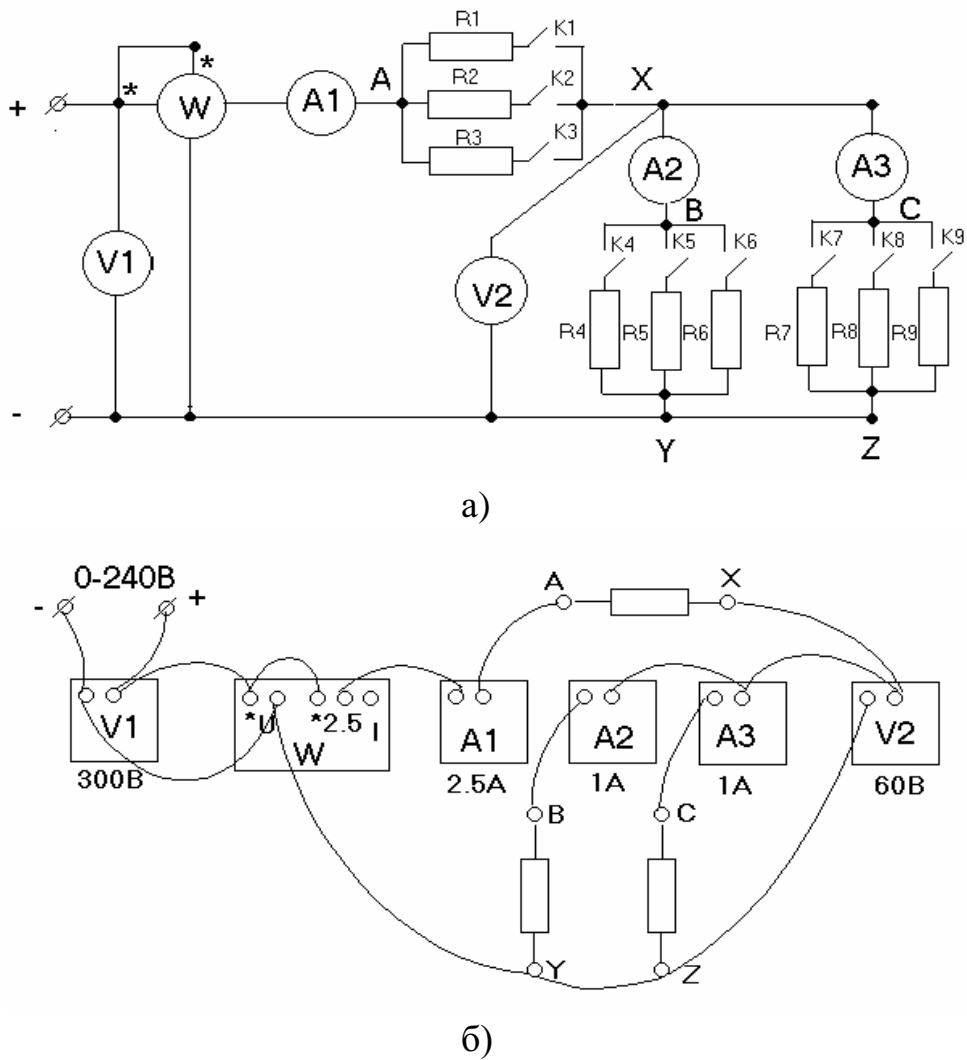


Рис. 1: а – схема электрическая принципиальная; б – электромонтажная

3.1.1. После проверки схемы преподавателем включить питание источника 0 – 240 В и, вращая регулятор автотрансформатора вправо, выставить при разомкнутых ключах K_1 , K_2 , K_3 по вольтметру $V1$ напряжение, указанное преподавателем. Замыкая последовательно ключи $K_4 - K_9$ при замкнутых ключах $K_1 - K_3$ измерить напряжение на входе и выходе схемы,

а также токи ветвей и показание ваттметра. Результаты шести опытов записать в табл.2. После проведения опыта отключить напряжение источника питания.

Таблица 2

№ п/п	ОПЫТ						РАСЧЕТ									
	$U_1,$ В	$U_2,$ В	$I_1,$ А	$I_2,$ А	$I_3,$ А	$P,$ Вт	$P_1,$ Вт	$P_2,$ Вт	$P_3,$ Вт	$\Delta P,$ Вт	$P_{\text{расч}},$ Вт	$R_{\text{вх}},$ Ом	$R_{\text{э2}},$ Ом	$k = \frac{R_{\text{э2}}}{R_{\text{вх}}}$	$\eta,$ %	
1																
·																
·																
·																
6																

В табл. 2 приняты обозначения: $P_1 = I_1^2 R_{AX}$; $P_2 = I_2^2 R_{BY}$; $P_3 = I_3^2 R_{CZ}$;

$$P_{\text{расч}} = P_1 + P_2 + P_3; \Delta P = P - P_{\text{расч}}; R_{\text{вх}} = \frac{U_1}{I_1}; R_{\text{э2}} = \frac{U_2}{(I_2 + I_3)}.$$

3.1.2. По результатам измерений п. 3.1.1 рассчитать мощность, потребляемую каждой ветвью цепи, и проверить выполнение баланса мощностей.

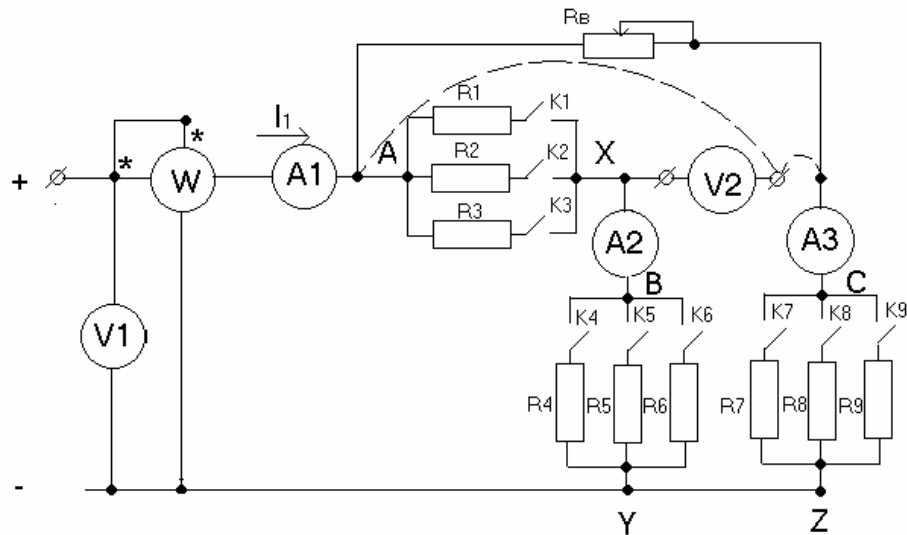
Рассчитать входное сопротивление цепи $R_{\text{вх}}$ относительно зажимов источника питания и эквивалентное сопротивление $R_{\text{э2}}$ участка цепи с параллельным соединением ветвей.

Вычислить отношение $k = \frac{R_{\text{э2}}}{R_{\text{вх}}}$ и построить зависимость $U_2 = kU_1$, а также $U_2 = f(U_1)$ по результатам эксперимента. Результаты расчета записать в табл. 2.

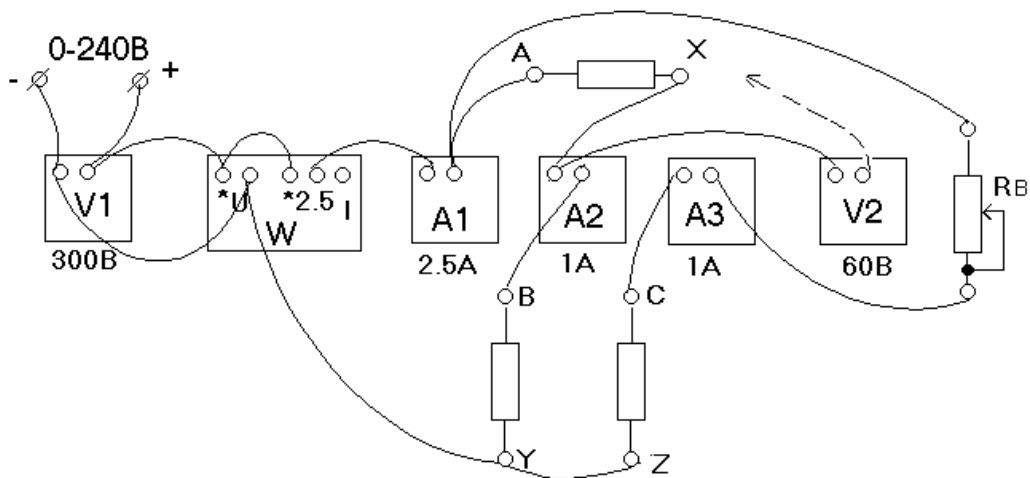
В одной системе координат построить зависимости мощности $P_{2\text{э}} = f_1(R_{\text{э2}})$ и коэффициента полезного действия (к.п.д.) $\eta = f_2(R_{\text{э2}})$ от эквивалентного сопротивления $R_{\text{э2}}$, где $P_{2\text{э}} = P_2 + P_3$; $\eta = \frac{P_{2\text{э}}}{P} 100\%$.

3.1.3. Собрать электрическую цепь мостового делителя напряжения, электрическая и электромонтажная схемы которого показаны на рис. 2. Вход электрической цепи присоединить к источнику постоянного напря-

жения 0 – 240 В, ручка автотрансформатора которого при сборке схемы должна быть выведена влево до отказа. В качестве резистора R_B использовать реостат R_B , расположенный на машинной стойке.



а)

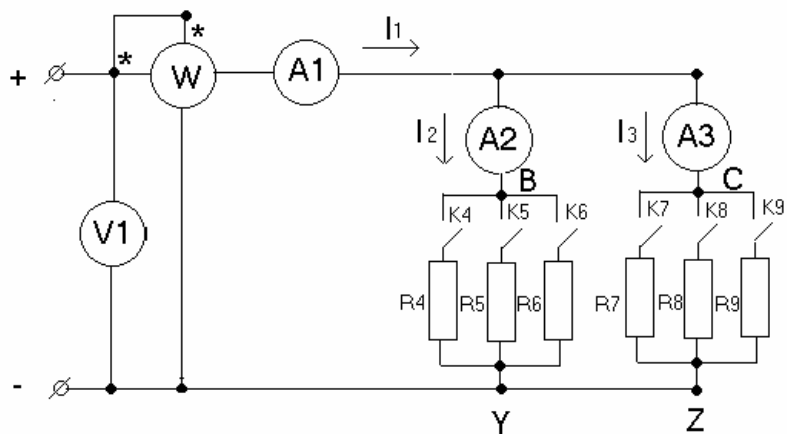


б)

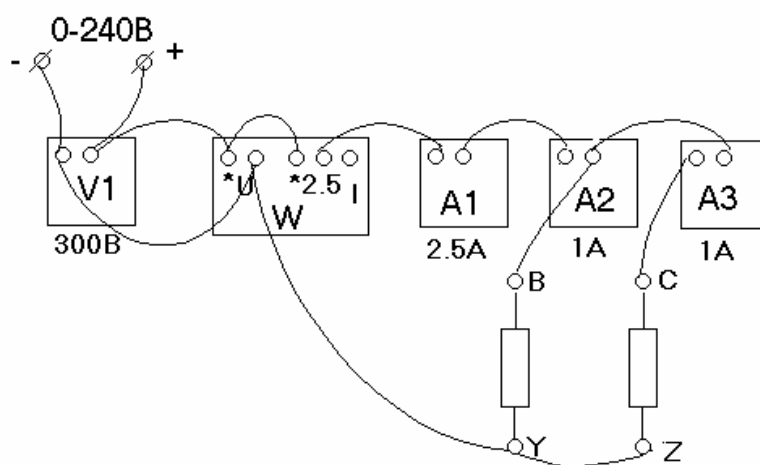
Рис. 2: а – схема электрическая принципиальная; б – электромонтажная

3.1.4. После проверки схемы преподавателем включить питание источника 0 – 240 В и, вращая регулятор автотрансформатора вправо, выставить при разомкнутых ключах $K_1 - K_9$ по вольтметру V_1 напряжение, указанное преподавателем.

3.2.1. После проверки схемы преподавателем включить питание источника 0 – 240 В и, вращая регулятор автотрансформатора вправо, выставить при разомкнутых $K_4 – K_9$ по вольтметру V1 напряжение, указанное преподавателем.



а)



б)

Рис. 3: а – схема электрическая принципиальная; б – электромонтажная

Изменяя сопротивление ветвей путем замыкания ключей, провести не менее шести опытов измерения токов ветвей и потребляемой мощности. Результаты измерений записать в табл. 4.

3.2.2. По числовым данным табл. 4 рассчитать сопротивления параллельных ветвей R_{BY} и R_{CZ} , а также их отношение и мощность, потребляемую каждой ветвью, и проверить выполнение баланса мощностей.

Таблица 4

№ П/П	ОПЫТ					РАСЧЕТ					
	$U_1,$ В	$I_1,$ А	$I_2,$ А	$I_3,$ А	$P,$ Вт	$R_{BY},$ Ом	$R_{CZ},$ Ом	$\frac{R_{CZ}}{R_{BY}}$	$\frac{I_1}{I_2}$	$P_{BY},$ Вт	$P_{CZ},$ Вт
1											
·											
·											
·											
6											

По результатам расчета построить графики $I_2 = f_1(I_1)$ и $I_3 = f_2(I_1)$, сравнить их с экспериментальными.

Учебно-исследовательская работа

Исследовать делитель напряжения по схеме (см. рис.1) на переменном токе. При этом предусмотреть измерение мощности в каждой параллельной ветви. Измерения выполнить в соответствии с пунктами 3.1.1 и 3.1.2.

4. Методические указания

4.1. Замыканию ключа K_i соответствует положение ручки тумблера (переключатель перекидной типа ТВ1-1) вверх, размыканию – вниз.

4.2. Коэффициент передачи напряжения от ветви m (как правило, содержащую источник ЭДС с напряжением U_m) и ветви n с напряжением U_n определяется по формуле $K_{nm}^u = U_n / U_m$. В цепях постоянного тока $K^u \leq 1$. Знак равенства может быть только при $n = m$. Аналогично записывается выражение для коэффициента передачи тока $K_{nm}^i = I_n / I_m$, где I_n и I_m токи ветвей n и m соответственно.

Например, для мостовой схемы (см. рис. 2) токи ветвей в соответствии с законом Ома равны:

$$I_2 = \frac{U_1}{R_{AX} + R_{BY}}, \quad I_3 = \frac{U_1}{R_B + R_{CZ}}. \quad (1)$$

При обходе контура с элементами R_{AX} , R_B и V_2 против часовой стрелки в соответствии со вторым законом Кирхгофа получим:

$$U_2 = I_3 R_B - I_2 R_{AX} = U_1 \left[\frac{R_B}{R_B + R_{CZ}} - \frac{R_{AX}}{R_{AX} + R_{BY}} \right] = k U_1,$$

$$k_{21}^U = \frac{U_2}{U_1} = \frac{R_B}{R_B + R_{CZ}} - \frac{R_{AX}}{R_{AX} + R_{BY}} = \frac{R_B R_{BY} - R_{AX} R_{CZ}}{(R_B + R_{CZ})(R_{AX} + R_{BY})}.$$

Из полученного выражения следует условие баланса моста

$$R_B R_{BY} - R_{AX} R_{CZ} = 0 \text{ или } k_{21}^U = 0.$$

4.3. Параметры элементов мостовой цепи можно определить по результатам эксперимента, используя законы Ома и Кирхгофа. Так, из формул (1) следует:

$$R_{AX} + R_{BY} = \frac{U_1}{I_2} \text{ и } R_B + R_{CZ} = \frac{U_1}{I_3}.$$

С учетом значения $R_{AX} = \frac{U_{AX}}{I_2}$ получим:

$$R_{BY} = \frac{U_1}{I_2} - \frac{U_{AX}}{I_2} = \frac{U_1 - U_{AX}}{I_2},$$

$$R_B = \frac{I_2 R_{AX} + U_2}{I_3} = \frac{U_{AX} + U_2}{I_3},$$

$$R_{CZ} = \frac{U_1}{I_3} - R_B = \frac{U_1 - U_{AX} - U_2}{I_3}.$$

4.4. При определении мощности, потребляемой резистивным элементом, целесообразно закон Джоуля – Ленца записывать в виде

$$P_i = I_i^2 R_i.$$

4.5. При определении тока параллельных ветвей схемы (см. рис. 3,а) можно использовать формулы разброса, согласно которым

$$I_2 = I_1 \frac{R_{CZ}}{R_{BY} + R_{CZ}}, \quad I_3 = I_1 \frac{R_{BY}}{R_{BY} + R_{CZ}}.$$

Из приведенных выражений следует $\frac{I_2}{I_3} = \frac{R_{CZ}}{R_{BY}}$, что соответствует

утверждению о распределении тока в ветвях пропорционально их сопротивлению и равенству падения напряжений на элементах цепи, включенных параллельно. Коэффициенты передачи тока для схемы (см. рис. 3,а) записываются в виде

$$k_{21}^i = \frac{I_2}{I_1} = \frac{R_{CZ}}{R_{BY} + R_{CZ}}, \quad k_{31}^i = \frac{I_3}{I_1} = \frac{R_{BY}}{R_{BY} + R_{CZ}}.$$

4.6. Экспериментальная часть расчетно-лабораторной работы рассчитана на четырехчасовое лабораторное занятие.

5. Контрольные вопросы и задания

1. Объясните физический смысл процесса деления напряжения, тока.
2. Приведите примеры использования делителей напряжения и тока в электрической практике.
3. Приведите доказательство взаимосвязи между делителями тока и делителями напряжения.
4. На каком принципе основана работа многопредельных амперметров, вольтметров, ваттметров?
5. Докажите взаимосвязь между коэффициентами передачи Γ -образного и мостового резистивных делителей напряжения.
6. Можно ли амперметр использовать в качестве вольтметра и наоборот? Для каких типов измерительных систем это справедливо?
7. Можно ли Γ -образный делитель напряжения использовать в качестве делителя тока?
8. В какой из исследуемых в работе схем делителей напряжения более высокий к.п.д.?
9. Как определить к.п.д. делителя тока?
10. Как влияет сопротивление нагрузки на точность деления напряжения делителем напряжения?
11. Влияет ли сопротивление нагрузки на работу делителя тока? Ответ обосновать аналитически.

ИССЛЕДОВАНИЕ НЕРАЗВЕТВЛЕННОЙ ОДНОФАЗНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЦЕПИ С ИСТОЧНИКОМ СИНУСОИДАЛЬНОГО ТОКА

Цель работы – ознакомление с методами параметров пассивных двухполюсников на переменном токе и методами определения фазовых сдвигов при изменении параметров элементов электрической цепи.

В результате проведения работы студенты должны знать основные формы записи уравнений, описывающих линейные пассивные двухполюсники на переменном токе, и представление их схемами замещения; уметь рассчитывать параметры двухполюсников на переменном токе и их эквивалентных схем замещения; приобрести навыки экспериментальных исследований линейных однофазных электрических цепей с источником синусоидального тока.

1. Объект и средства исследования

Объектом исследования служат резистивные, индуктивные и емкостные элементы, расположенные на панелях № 3 и № 4 лабораторного стенда ЛСОЭ-5.

В качестве индуктивного элемента L используется одна из обмоток трансформатора Тр, расположенного в блоке № 3. Там же расположена батарея электрических конденсаторов, используемых в качестве емкостного элемента C .

По определению индуктивный (емкостной) элемент относится к числу идеализированных элементов, запасующих энергию в магнитном (электрическом) поле с последующим возвратом ее в электрическую цепь.

Обозначение элементов (рис. 1).

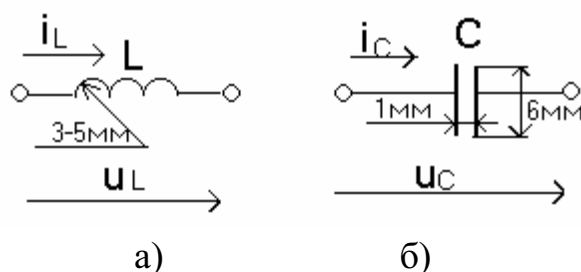


Рис. 1: а – индуктивный элемент; б – емкостный элемент

Взаимосвязь между токами и напряжениями исследуемых элементов выражается формулами

$$U_L = L \frac{di_L}{dt}; \quad i_L = \frac{1}{L} \int U_L dt; \quad i_c = C \frac{dU_c}{dt}; \quad U_c = \frac{1}{C} \int i_c dt.$$

При воздействии синусоидального напряжения (тока) $u = U_m \sin(\omega t + \varphi_u)$ или $i = I_m \sin(\omega t + \varphi_i)$, где $\omega = 2\pi f = \frac{2\pi}{T}$ – циклическая частота, с^{-1} ; f – частота повторения синусоидального сигнала (Гц), а T – его период, с, получим:

$$\begin{aligned} U_L &= L \frac{d}{dt} (I_m \sin(\omega t + \varphi_i)) = \omega L I_m \cos(\omega t + \varphi_i) = \\ &= I_m X_L \sin(\omega t + \varphi_i + 90^\circ) = U_{mL} \sin(\omega t + \varphi_{ul}), \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} U_c &= \frac{1}{C} \int I_m \sin(\omega t + \varphi_i) dt = -\frac{I_m}{\omega C} \cos(\omega t + \varphi_i) = \\ &= I_m X_c \sin(\omega t + \varphi_i - 90^\circ) = U_{mc} \sin(\omega t + \varphi_{uc}), \end{aligned}$$

где U_{mL} и U_{mc} – соответственно амплитуда напряжений на индуктивности и емкости;

$$X_L = \omega L = 2\pi f L = \frac{2\pi}{T} L \text{ – индуктивное сопротивление, Ом;}$$

$$X_c = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi f C} = \frac{T}{2\pi C} \text{ – емкостное сопротивление, Ом;}$$

$\varphi_{ul} = \varphi_i + 90^\circ$ – начальная фаза напряжения на индуктивности (эл.град.);

$\varphi_{uc} = \varphi_i - 90^\circ$ – начальная фаза напряжения на емкости (эл.град.).

Тепловые потери в идеализированных индуктивном и емкостном элементах отсутствуют, а энергия, запасаемая в электрическом поле конденсатора W_c и магнитном поле индуктивной катушки W_L , определяется по формулам

$$W_c = \int_0^u u_c i_c du = \frac{C U^2}{2}; \quad W_L = \int_0^i u_L i_L di = \frac{L I^2}{2}.$$

При включении индуктивного элемента на постоянное напряжение ($\omega = 2\pi f = 0$) падение напряжения на нем в установившемся режиме

$U_L = 0$, так как производная $\frac{di}{dt} = 0$, а индуктивное сопротивление $X_L = \omega L = 0$. Ток индуктивного элемента I при этом определяется суммарным сопротивлением резистивных элементов, включенных с ним последовательно. Формула для расчета энергии, запасенной в магнитном поле индуктивного элемента, включенного на постоянный ток, остается прежней.

Аналогично для емкостного элемента при $\omega = 0$ получим $X_C = \frac{1}{\omega C} = \infty$, что соответствует размыканию участка электрической цепи, поэтому все напряжение участка будет приложено к емкостному элементу, но ток через него протекать не будет. Формула для расчета энергии, запасенной в электрическом поле конденсатора, остается прежней.

Реальная катушка индуктивности, являясь наиболее близким по физическому смыслу элементом идеализированному индуктивному элементу, обладает потерями. Поэтому схема замещения реального индуктивного

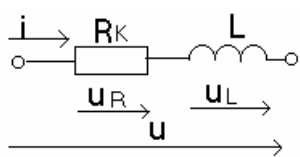


Рис. 2

элемента моделируется двумя элементами: активным и индуктивным (рис. 2). Резистивный элемент моделирует потери активной мощности и определяется величиной активного (омического) сопротивления катушки индуктивности.

$$u = u_R + u_L = iR_k + L \frac{di}{dt}, \text{ если } i = I_m \sin(\omega t + \varphi_i), \text{ то}$$

$$u = R_k I_m \sin(\omega t + \varphi_i) + L \frac{d}{dt} [I_m \sin(\omega t + \varphi_i)] = U_{mR} \sin(\omega t + \varphi_{uR}) +$$

$$+ L I_m \omega \cos(\omega t + \varphi_i) = U_{mR} \sin(\omega t + \varphi_{uR}) + U_{mL} \sin(\omega t + \varphi_i + 90^\circ) =$$

$$= U_{mR} \sin(\omega t + \varphi_{uR}) + U_{mL} \sin(\omega t + \varphi_{uL}),$$

где $U_{mR} = R_k I_m$ – амплитуда напряжения на резистивном элементе;

$U_{mL} = I_m X_L = I_m \omega L$ – амплитуда напряжения на индуктивном элементе;

$X_L = \omega L$ – индуктивное сопротивление, Ом;

$\varphi_{uR} = \varphi_i$; $\varphi_{uL} = \varphi_i + 90^\circ$ – начальные фазы активной (на R_k) и реактивной (на L) составляющих напряжения u .

Взаимосвязь действующих значений тока и напряжения на зажимах индуктивной катушки устанавливается законом Ома:

$$U = I\sqrt{R_k^2 + X_L^2} = Iz, \text{ где } z = \sqrt{R_k^2 + X_L^2} \text{ – полное сопротивление цепи } RL.$$

Тепловая (активная) мощность цепи RL рассчитывается по формулам

$$P = I^2 R_k ; P = \frac{U_R^2}{R} ; P = IU \cos \varphi,$$

где $\varphi = \arctg \frac{X_L}{R}$ – угол сдвига фаз между входным напряжением U и током в цепи I .

Аналогично для емкостного элемента с потерями (электрического конденсатора) (рис. 3) с учетом обозначений на рисунке можно записать:

$$u = u_R + u_c = iR + \frac{1}{C} \int idt.$$

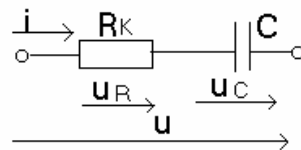


Рис.3

При $i = I_m \sin(\omega t + \varphi_i)$ после подстановки в исходное уравнение и преобразований получим:

$$u = U_{mR} \sin(\omega t + \varphi_{uR}) + U_{mC} \sin(\omega t + \varphi_{uc}),$$

где $U_{mC} = I_m X_c$ – амплитуда напряжения на емкостном элементе;

$X_c = \frac{1}{\omega C}$ – емкостное сопротивление, Ом;

$\varphi_{uc} = \varphi_i - 90^\circ$ – начальная фаза напряжения U_c .

Действующее значение напряжения и фазовый сдвиг между ним и током в цепи определяются по формулам $U = I\sqrt{R^2 + X_c^2}$; $\varphi = \arctg \frac{-X_c}{R}$.

Потери активной мощности определяются аналогично рассмотренным выше для индуктивного элемента.

При использовании комплексных чисел выражения для законов Ома и Кирхгофа рассматриваемых схем замещения принимают вид соответственно:

$$\dot{U} = \dot{I} R_k + jX_L \dot{I} = IR_k e^{j\varphi_{ur}} + jIX_L e^{j(\varphi_i+90^\circ)} = U_{Rk} e^{j\varphi_{ur}} + U_{L} e^{j(\varphi_i+90^\circ)};$$

$$\dot{I} = \frac{\dot{U}}{Z} = \frac{\dot{U}}{R_k + jX_L}; R_k + jX_L = \sqrt{R_k^2 + X_L^2} e^{j\arctg \frac{X_L}{R}};$$


$$\dot{U} = \dot{I} R - jX_c \dot{I} = IR e^{j\varphi_{ur}} + jIX_c e^{j(\varphi_i-90^\circ)} = U_R e^{j\varphi_{ur}} + U_c e^{j(\varphi_i-90^\circ)};$$

$$\dot{I} = \frac{\dot{U}}{Z} = \frac{\dot{U}}{R_k + jX_c}; R_k + jX_c = \sqrt{R_k^2 + X_c^2} e^{-j\arctg \frac{X_c}{R}}.$$

В работе используется регулируемый источник переменного тока $\sim 0 - 240$ В, расположенный на панели № 2 стенда. Включается источник $\sim 0 - 240$ В нажатием красной кнопки, которая находится над зажимами $\sim 0 - 240$ В. При включенном источнике горит сигнальная лампа на панели № 2. Напряжение $\sim 0 - 240$ В регулируется поворотом ручки автотрансформатора, находящегося слева от зажимов $\sim 0 - 240$ В на панели № 2 стенда. Отключается источник питания нажатием красной кнопки.

Токи и напряжения измеряются амперметрами и вольтметрами, параметры которых приведены в табл. 1.

Таблица 1

Тип прибора	Система	Пределы измерений	Количество
Вольтметр		0 – 600 В	1
Вольтметр	>>	0 – 250 В	1
Амперметр	>>	0,5 – 1 А	1
Ваттметр		75 – 500 Вт	1

При сборке схем и выполнении работы следует руководствоваться инструкцией по технике безопасности № 1 (находится в лаборатории).

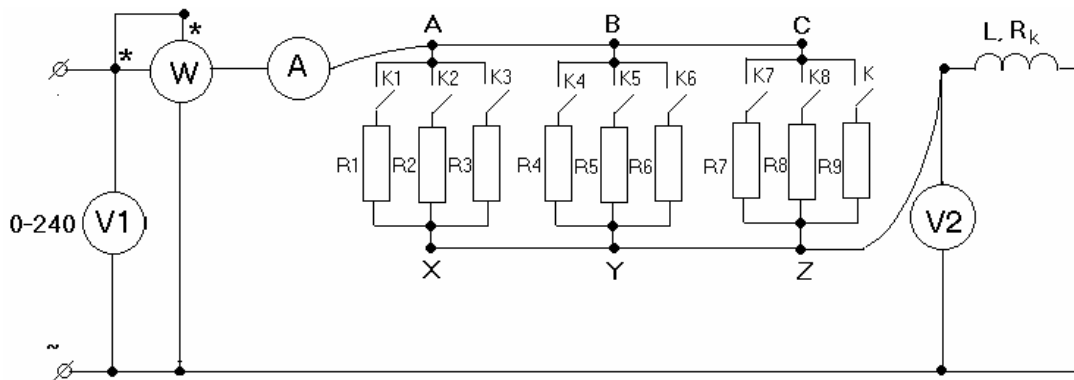
2. Подготовка к работе

2.1. Построить качественно (без учета численных значений элементов) векторные диаграммы цепи RL , RC и RLC (см. рис. 1, 2). Объяснить и записать соотношения, по которым можно определить значения R , L , C , используя построенные векторные диаграммы.

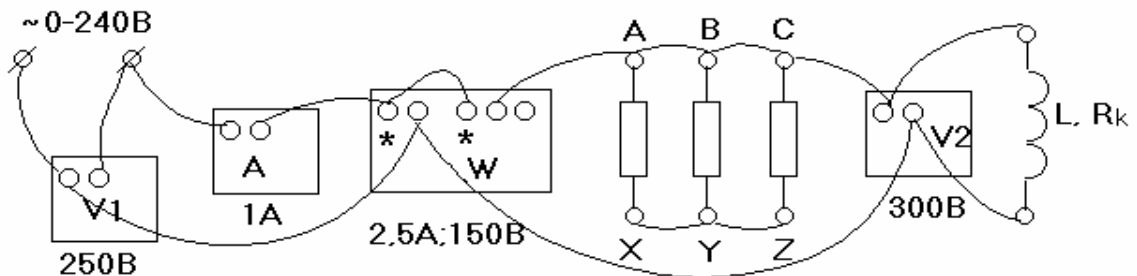
2.2. Подготовить таблицы для записи результатов опытов и зарисовать схему опыта по п.п. 3.1 – 3.8.

3. Рабочее задание

3.1. Собрать цепь, электрическая принципиальная и электромонтажная схемы которой показаны на рис. 4. При сборке схемы использовать резистивные элементы R_{AX} , R_{BY} , R_{CZ} , расположенные на панели № 3, и измерительные приборы, перечисленные в табл. 1.



а)



б)

Рис. 4: а – схема электрическая принципиальная; б – электромонтажная

3.2. После проверки схемы преподавателем регулятор автотрансформатора на панели № 2 поставить в крайнее левое положение, включить источник питания 0 – 240 В, установить напряжение на ходе схемы в пределах 100 – 200 В (по указанию преподавателя) при разомкнутых ключах К1-К9 (ручка тумблера в нижнем положении).

3.3. Определить активное сопротивление R_k и индуктивность катушки L электрической цепи, показанной на рис. 4,а, при помощи измерения действующих значений тока и напряжения, а также активной мощности при последовательном замыкании ключей К1 – К9 (добавлять по одному) (см. п. 4.1). Результаты записать в табл. 2.

Таблица 2

№ п/п	Опыт				Расчет				
	U_1 , В	U_2 , В	I , А	P , Вт	R_k , Ом	X_L , Ом	L , Гн	$\cos \varphi$	φ , эл.град
1									
2									
3									

3.4. В электрической цепи, показанной на рис. 4,а, индуктивность заменить конденсатором C , используя для этой цели магазин емкостей (панель № 3). Провести измерения для определения значения емкости конденсатора C при замкнутом ключе К1 и последовательном замыкании ключей магазина емкости. Результаты шести опытов записать в табл. 3.

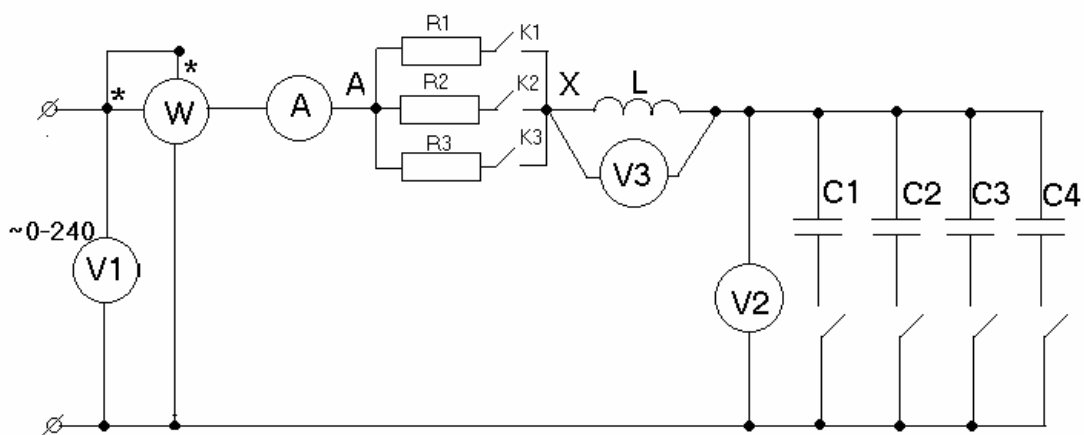
Таблица 3

№ п/п	Опыт				Расчет				
	U_1 , В	U_2 , В	I , А	P , Вт	R_k , Ом	X_C , Ом	C , мкФ	$\cos \varphi$	φ , эл.град
1									
2									
3									
...									

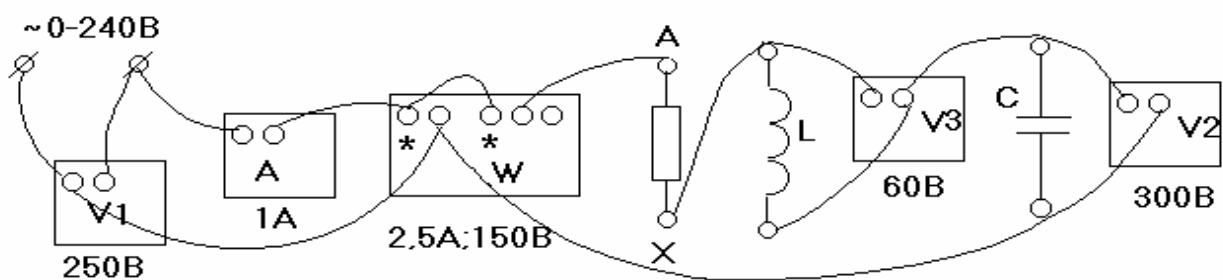
3.5. По результатам п. 3.4 рассчитать угол сдвига фаз между входным напряжением и током в цепи при изменении емкости конденсаторов.

3.6. По результатам опытов пп. 3.2 – 3.5 построить графики зависимостей $\varphi = f_1(R)$, $\varphi = f_2(X_c)$ и векторные диаграммы напряжений электрической цепи.

3.7. Собрать цепь, электрическая принципиальная и электромонтажная схемы которой показаны на рис. 5, подключить ее к зажимам источника переменного тока 0 – 240 В, установить на входе цепи напряжение 100 – 200 В (по указанию преподавателя).



а)



б)

Рис. 5: а – схема электрическая принципиальная; б – электромонтажная

3.8. Для цепи по п. 3.7 исследовать зависимость действующих значений тока и напряжений, а также активной мощности при изменении емкости конденсатора. При этом ключи К1 – К3 замкнуты, а ключи магазина

емкостей замыкаются последовательно. Результаты шести опытов записать в табл. 4.

Таблица 4

№ п/п	Опыт					Расчет				
	$U_1,$ В	$U_2,$ В	$I,$ А	$U_3,$ В	$P,$ Вт	$R_K,$ Ом	$X_C,$ Ом	$C,$ мкФ	$\cos \varphi$	$\varphi,$ эл.град
1										
2										
3										
...										

3.9. По результатам измерений п. 3.8 построить в одних координатах графики зависимостей $I = f_1(X_c)$, $U_2 = f_2(X_c)$, $P = f_3(X_c)$.

Учебно-исследовательская работа

Исследование резонансных свойств цепи RLC . Изменением емкости в схеме рис. 2 установить максимальное значение напряжения на конденсаторе и значение, отличающиеся в $\sqrt{2}$ раз от максимального. Рассчитать ширину полосы пропускания контура и его добротность.

4. Методические указания

4.1. Поскольку векторная диаграмма токов (напряжений) является отображением законов Кирхгофа векторами на комплексной плоскости, то перед ее построением целесообразно записать систему уравнений по законам Кирхгофа для рассматриваемой цепи.

Например, для схемы по рис. 5,а можно записать:

$$\dot{U} = \dot{U}_R + \dot{U}_L + \dot{U}_C = \dot{I}R + jX_L \dot{I} - jX_C \dot{I}.$$

Цепь неразветвленная, поэтому общим вектором для всех слагаемых приведенного выражения является вектор тока \dot{I} и его начальную фазу можно принять равной нулю (т.е. совместить вектор тока с положительной действительной полуосью комплексной плоскости). Тогда, используя правила умножения вектора на скаляр и на мнимую единицу, можно постро-

ить векторную диаграмму напряжений. Нетрудно убедиться, что вектор напряжения $\dot{U}_R = \dot{I}R$ будет совпадать по направлению с вектором тока. Вектор напряжения $\dot{U}_L = j\dot{I}X_L$ будет опережать вектор тока на 90° , поскольку $j = \sqrt{-1} = 1e^{j90^\circ}$ (в соответствии с формулой Эйлера). Вектор напряжения $\dot{U}_C = -j\dot{I}X_C$ будет отставать на -90° , так как $-j = -\sqrt{-1} = 1e^{-j90^\circ}$ и знак «минус» = e^{j180° .

Математическая запись изложенного:

$$\dot{U}_R = Ie^{j\varphi_i}R = IRe^{j\varphi_i}; \quad \dot{U}_L = j\dot{I}X_L = Ie^{j\varphi_i}e^{j90^\circ}X_L = IX_Le^{j(\varphi_i+90^\circ)};$$

$$\dot{U}_C = -j\dot{I}X_C = Ie^{j\varphi_i}e^{j180^\circ}e^{j90^\circ}X_C = IX_Ce^{j(\varphi_i+270^\circ)} = IX_Ce^{j(\varphi_i-90^\circ)}.$$

Векторная диаграмма (предполагается, что масштабы тока m_i и напряжения m_u выбраны) показана на рис. 6.

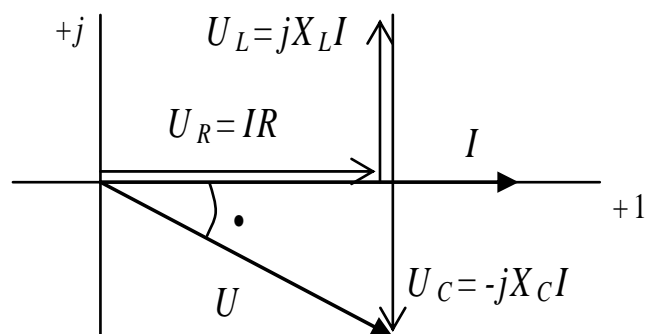


Рис. 6

4.2. Для определения активного сопротивления R и индуктивности катушки L цепи RL можно использовать выражения для активной мощности:

$$P = I^2 R; \quad P = U^2 / R; \quad P = UI \cos \varphi,$$

откуда

$$R = P / I^2 = U^2 / P; \quad \cos \varphi = P / UI.$$

В цепи RL угол сдвига фаз между током и входным напряжением определяется по формуле

$$\varphi = \arctg \frac{\omega L}{R} \text{ или } \operatorname{tg} \varphi = \frac{\omega L}{R},$$

где $\omega = 2\pi f$, $f = 50$ Гц – частота питающей сети (промышленная частота).

Индуктивное сопротивление X_L определяется по формуле $X_L = U_2 / I$, тогда $L = U_2 / I\omega$.

Аналогично для цепи RC можно записать

$$\varphi = -\arctg \frac{1}{\omega CR}; \operatorname{tg} \varphi = -\frac{1}{\omega CR}; X_C = U_2 / I; C = I / \omega U_2.$$

5. Контрольные вопросы и задания

1. Как устроены и что измеряют амперметр, вольтметр, ваттметр?
2. Как выражаются комплексное сопротивление и комплексная проводимость?
3. Как выражается полное сопротивление цепи?
4. Запишите закон Ома цепи синусоидального тока при последовательном соединении элементов.
5. Сформулируйте и запишите закон Ома и закон Кирхгофа в комплексной форме.
6. По каким формулам вычисляют полную, активную и реактивную мощности?
7. Как выражается комплекс полной мощности?
8. Как формулируется баланс мощностей в цепи переменного тока?
9. Как определяется цена деления амперметра, вольтметра, ваттметра?
10. Как зависят величины реактивных сопротивлений от частоты сети?
11. Что произойдет, если цепь переменного тока включить на постоянный ток?
12. Постройте и объясните треугольник сопротивлений, треугольник мощности для цепи RLC переменного тока.

ИССЛЕДОВАНИЕ РАЗВЕТВЛЕННОЙ ОДНОФАЗНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЦЕПИ С ИСТОЧНИКОМ СИНУСОИДАЛЬНОГО ТОКА

Цель работы – изучение влияния переменного параметра в одной из параллельных ветвей на величины и начальные фазы токов ветвей и источника питания.

В результате проведения работы студенты должны знать основные формы записи уравнений, описывающих линейную однофазную разветвленную цепь переменного тока; уметь рассчитывать параметры разветвленной цепи переменного тока; приобрести навыки экспериментального исследования параметров и режимов работы однофазных цепей переменного тока.




1. Объект и средства исследования

Объектом исследования служит электрическая цепь, состоящая из двух параллельных RL и RC ветвей, резистивные, емкостные и индуктивные элементы которой расположены на панелях № 3 и № 4 лабораторного стенда ЛСОЭ-5.

В работе используется регулируемый источник переменного напряжения $\sim 0 - 240$ В, расположенный на панели № 2 стенда. Включают источник $\sim 0 - 240$ В нажатием черной кнопки, которая находится над зажимами с гравировкой $\sim 0 - 240$ В. При этом должна загореться сигнальная лампа на панели № 2. Регулируют напряжение $\sim 0 - 240$ В поворотом ручки автотрансформатора, находящегося слева от зажимов $\sim 0 - 240$ В на панели № 2 стенда. Отключают источник питания нажатием красной кнопки.

Измеряют ток, напряжения и потребляемую мощность амперметрами, вольтметрами и ваттметром, параметры которых приведены в табл. 1.

Таблица 1

Тип прибора	Система	Пределы измерений	Количество
Вольтметр Э545		0 – 300 В	1
Вольтметр Э544	>>	0 – 250 В	1
Амперметр Э537		0 – 2,5 А	1
Амперметр Э537	>>	0 – 0,5 А	2
Ваттметр Д5065		0 – 3000 Вт	1

При сборке схем и выполнении работы следует руководствоваться инструкцией по технике безопасности № 1 (находится в лаборатории).

2. Подготовка к работе

2.1. Ознакомиться с амплитудными и фазовыми соотношениями в простейших цепях синусоидального тока при параллельном соединении ветвей.

2.2. Для электрической цепи, схема которой изображена на рис. 1, записать выражения для токов ветвей, коэффициента мощности, резонансной частоты и входного сопротивления цепи Z относительно зажимов источника питания.

2.3. Построить качественно (без учета численных значений) векторные диаграммы токов и напряжений для электрической цепи по схеме рис. 1.

3. Рабочее задание

3.1. Собрать цепь, электрическая принципиальная схема которой показана на рис. 1, а схема соединений – на рис. 2. В качестве резистора R_1 использовать резисторы, присоединенные к зажимам $A-X$ и $B-Y$ панели № 4, соединив их параллельно, в качестве резистора R_2 – переменный резистор.

стор R_B , расположенный на панели машинной стойки. Индуктивность L и магазин емкостей расположены на панели № 3.

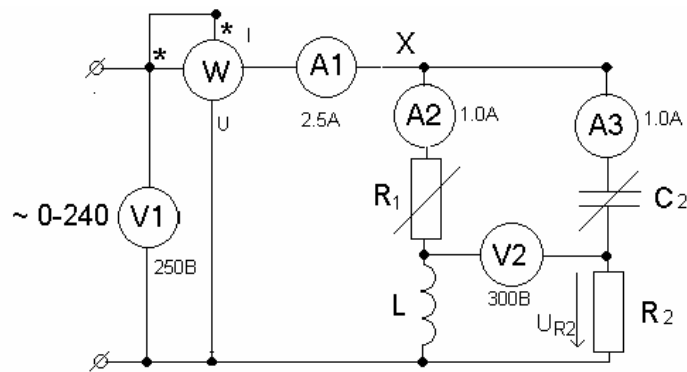


Рис. 1

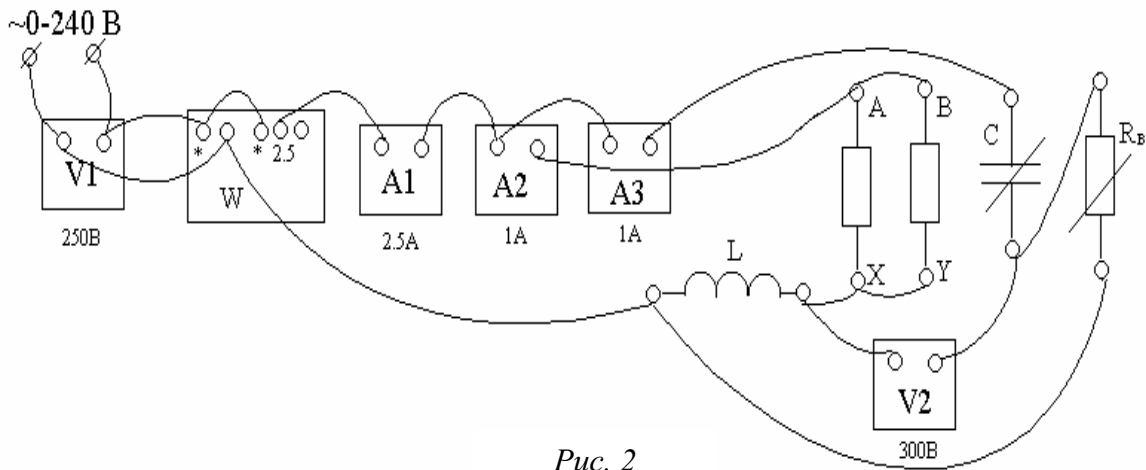


Рис. 2

3.2. Рассчитать максимально допустимое действующее значение напряжения $U_{\text{доп}}$ на резисторе R_2 , если известно, что его максимальное сопротивление 1000 Ом, максимально допустимая мощность рассеивания 50 Вт.

3.3. Регулятор автотрансформатора поставить в крайнее левое положение (нулевое). После проверки схемы преподавателем включить источник питания $\sim 0 - 240$ В и при разомкнутых ключах К1 – К6 на панели № 4 и отключенных емкостях на панели № 3 установить напряжение источника, указанное преподавателем.

3.4. Включить ключи К1 – К6, емкость C_2 установить равной 4 мкФ (ключ над цифрой 4 магазина емкостей C поставить вверх). Изменяя сопротивление резистора R_2 от минимального до максимального (6 точек), записать показания приборов. Следует иметь в виду, что при максимальном значении сопротивления ток I_3 будет минимальным.

3.5. Установить R_2 в положение, соответствующее току $I_3 = 0,1$ А при $C_2 = 4$ мкФ. Изменяя емкость C_2 последовательным включением тумблеров, записать показания приборов (6 точек). Если ток $I_3 < 0,1$ А, то следует увеличить напряжение на входе.

3.6. Сохраняя положение резистора R_2 и емкости C_2 в соответствии с п. 3.5, поочередно отключая ключи К1 – К6, снять показания приборов (6 точек).

Результаты измерений пп. 3.4–3.6 записать соответственно в табл. 2–4.

Таблица 2

№ п/п	Опыт						Расчет	
	U_1 , В	U_2 , В	I_1 , А	I_2 , А	I_3 , А	P , Вт	R_2 , Ом	$\cos \varphi$
1								
·								
·								
6								

3.7. По результатам измерений п.3.4. построить зависимости $U_2 = f_1(R_2)$; $I_1 = f_2(R_2)$; $I_2 = f_3(R_2)$; $I_3 = f_4(R_2)$; $\cos \varphi = f_5(R_2)$; $P = f(R_2)$.

Таблица 3

№ п/п	Опыт						Расчет			
	U_1 , В	U_2 , В	I_1 , А	I_2 , А	I_3 , А	P , Вт	X_c , Ом	C , мкФ	$\cos \varphi$	φ , град
1										
·										
·										
6										

Таблица 4

№ п/п	Опыт						Расчет		
	$U_1, В$	$U_2, В$	$I_1, А$	$I_2, А$	$I_3, А$	$P, Вт$	$R_1, Ом$	$\cos \varphi$	$\varphi, град$
1 . . 6									

3.8. По результатам измерений п. 3.5 построить в одних координатах графики зависимостей $I_1 = f_1(X_c)$; $I_2 = f_2(X_c)$; $I_3 = f_3(X_c)$; $P = f_4(X_c)$; $U_2 = f_5(X_c)$.

3.9. По результатам измерений п. 3.6 построить зависимости $U_1, I_1, I_2, I_3, P, \cos \varphi = f(R_1)$.

Учебно-исследовательская работа

Исследование резонансных свойств параллельного контура и снятие зависимостей величин токов от значений параметров цепи. Определение параметров элементов цепи (см. рис. 1) при которых наступит резонанс токов.

4. Методические указания

4.1. При расчете максимально допустимого действующего значения напряжения на резистивном элементе можно воспользоваться выражениями, которые приведены в п. 4.1 методических указаний к лабораторной работе № 1.

4.2. Для построения векторной диаграммы токов и напряжений параллельной цепи необходимо сначала записать полную систему уравнений по законам Кирхгофа для рассматриваемой цепи в комплексной

по законам Кирхгофа для рассматриваемой цепи в комплексной форме. Например, для схемы, показанной на рис. 3, можно записать:

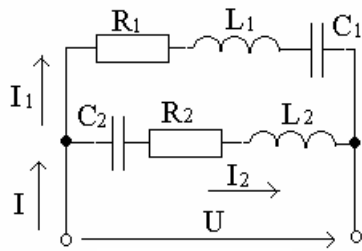


Рис. 3

1. $\dot{I} = \dot{I}_1 + \dot{I}_2$;
2. $\dot{U} = -j\dot{I}_2 X_{C_2} + \dot{I}_2 R_2 + j\dot{I}_2 X_{L_2}$;
3. $\dot{U} = \dot{I}_1 R_1 + j\dot{I}_1 X_{L_1} - j\dot{I}_1 X_{C_1}$.

Общий вектор для уравнений 2 и 3 – это вектор \dot{U} , поэтому его начальную фазу (аргумент) можно принять равной нулю и совместить с действительной положительной полуосью комплексной плоскости.

Далее, полагая, к примеру, что характер первой ветви индуктивный, а второй – емкостной, строим сначала векторную диаграмму токов в масштабе токов (раскладывая их на активные и реактивные составляющие), а затем – напряжений (по уравнениям 2 и 3).

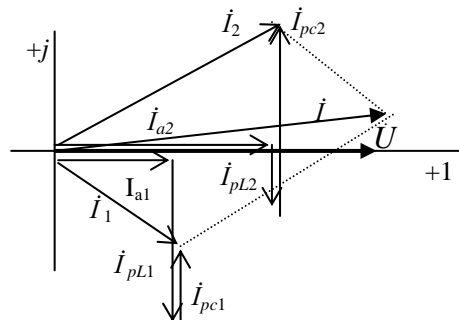


Рис. 4

Векторы токов на рис. 4 определяются по формулам:

$$\dot{I}_{a_1} = \dot{U} g_1; g_1 = \frac{R_1}{R_1^2 + (X_{L_1} - X_{C_1})^2};$$

$$\dot{I}_{pL_1} = -j\dot{U} b_{L_1}; b_{L_1} = \frac{X_{L_1}}{R_1^2 + (X_{L_1} - X_{C_1})^2};$$

$$\dot{I}_{pC_1} = j\dot{U} b_{C_1}; b_{C_1} = \frac{X_{C_1}}{R_1^2 + (X_{L_1} - X_{C_1})^2};$$

$$\dot{I}_{a_2} = \dot{U} g_2; g_2 = \frac{R_2}{R_2^2 + (X_{L_2} - X_{C_2})^2};$$

$$\dot{I}_{p_{L_2}} = -j\dot{U} b_{L_2}; b_{L_2} = \frac{X_{L_2}}{R_2^2 + (X_{L_2} - X_{C_2})^2};$$

$$\dot{I}_{p_{C_2}} = j\dot{U} b_{C_2}; b_{C_2} = \frac{X_{C_2}}{R_2^2 + (X_{L_2} - X_{C_2})^2}.$$

$$\dot{I}_1 = \dot{U} g_1 - j\dot{U} b_{L_1} + j\dot{U} b_{C_1}; \dot{I}_2 = \dot{U} g_2 - j\dot{U} b_{L_2} + j\dot{U} b_{C_2}; \dot{I} = \dot{I}_1 + \dot{I}_2.$$

С учетом положения векторов \dot{U} , \dot{I}_1 , \dot{I}_2 , \dot{I} строим векторную диаграмму напряжений по уравнениям 2 и 3 в масштабе напряжений, как это показано на рис. 5.

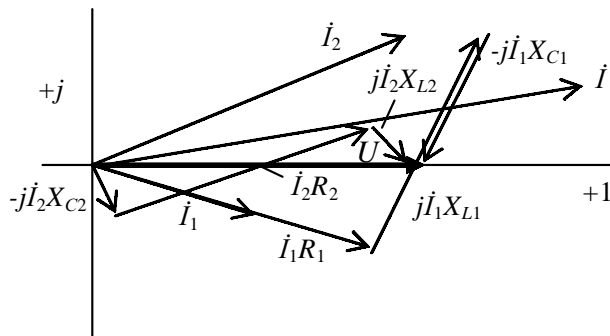


Рис. 5

При построении векторных диаграмм учтены правила умножения вектора на скаляр и на $\pm j$ или $\pm \sqrt{-1}$:

а) умножение на скаляр – изменение модуля вектора с сохранением значения аргумента;

б) умножение на $+\sqrt{-1}$ и на скаляр – изменение модуля вектора с изменением аргумента на $+90^\circ$ (против часовой стрелки);

в) умножение на $-\sqrt{-1}$ и на скаляр – изменение модуля вектора с изменением аргумента на -90° (по часовой стрелке).

5. Контрольные вопросы и задания

1. Дайте определение комплексной проводимости.
2. Что понимают под активной и реактивной проводимостями?
3. Запишите комплексное сопротивление двух параллельно соединенных ветвей?
4. Как зависят величины реактивных проводимостей от частоты сети?
5. Запишите закон Ома для синусоидального тока при параллельном соединении элементов.
6. Запишите формулы для вычисления активной, реактивной и полной мощности.
7. Определите коэффициент мощности цепи, используя треугольник мощностей.
8. Запишите комплекс полной мощности.
9. Как выполняется баланс мощности в цепи синусоидального тока?
10. Какими приборами измеряют напряжение и ток в цепях переменного тока? Как обозначают систему прибора? Как они устроены и как определить их погрешность?

РЕКОМЕНДАТЕЛЬНЫЙ БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Электротехника / Под. ред. В.Г. Герасимова. – М.: Высш. шк., 1985. – 480 с.
2. Борисов Ю.М., Липатов Д.Н., Зорин Ю.Н. Электротехника. – М.: Энергоиздат, 1985. – 552 с.
3. Волынский Б.А., Зейн Е.Н., Шатерников В.Е. Электротехника. – М.: Энергоиздат, 1987. – 526 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ	3
Расчетно-лабораторная работа № 1	4
Расчетно-лабораторная работа № 2	14
Расчетно-лабораторная работа № 3	24
Расчетно-лабораторная работа № 4	35
РЕКОМЕНДАТЕЛЬНЫЙ БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	43

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
К РАСЧЕТНО-ЛАБОРАТОРНЫМ РАБОТАМ
ПО ЭЛЕКТРОТЕХНИКЕ
ДЛЯ СТУДЕНТОВ ЗАОЧНОГО ОБУЧЕНИЯ

Составители

КОЛЕСНИК Григорий Платонович
МАКСИМОВ Юрий Павлович
ПЕЧАЛИНА Ирина Рудольфовна
и др.

Ответственный за выпуск – зав. кафедрой профессор С.А. Сбитнев

Редактор Е.А. Амирсейидова

Корректор Е.В. Афанасьева

Компьютерная верстка и дизайн обложки Е.Г. Радченко

ЛР № 020275. Подписано в печать 20.02.03.

Формат 60x84/16. Бумага для множит. техники. Гарнитура Таймс.

Печать офсетная. Усл. печ. л. 2,56. Уч.-изд. л.2,72. Тираж 100 экз.

Заказ

Редакционно-издательский комплекс

Владимирского государственного университета.

600000, Владимир, ул. Горького, 87.