

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Кузбасский государственный технический
университет имени Т.Ф. Горбачева»

Кафедра общей электротехники

Составитель: Т. М. Черникова

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

Методические указания к лабораторным работам

Рекомендованы учебно-методической комиссией специальности
21.05.04 Горное дело для использования в образовательном процессе

Кемерово 2022

Рецензенты:

Дабаров В.В., доцент кафедры общей электротехники;

Ананьев К.А., председатель УМК специальности 21.05.04 Горное дело

Черникова Татьяна Макаровна

Электротехника: методические указания к лабораторным работам : для обучающихся специальности 21.05.04 Горное дело специализации 09 Горные машины и оборудование всех форм обучения / сост.; Т. М. Черникова. Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева. – Кемерово, 2022. – Текст : электронный.

В работе предлагается обучающимся самостоятельно рассмотреть и решить вопросы подготовки к выполнению, оформлению и защите лабораторных работ по электрическим цепям. Даны краткие теоретические положения, облегчающие подготовку к занятиям, методические указания по выполнению и оформлению отчетов к лабораторным работам, ссылки на литературу.

© Кузбасский государственный
технический университет имени
Т. Ф. Горбачева, 2022

© Черникова Т. М.,
составление, 2022

СОДЕРЖАНИЕ

Основное электрооборудование, используемое для лабораторных работ.....	4
Правила выполнения лабораторных работ.....	7
Правила электробезопасности при выполнении лабораторных работ.....	8
Лабораторная работа № 1. Электроизмерительные приборы и измерения основных электрических величин.....	9
Лабораторная работа № 2. Исследование простейших цепей постоянного тока.....	14
Лабораторная работа № 3. Исследование последовательной цепи переменного тока.....	17
Лабораторная работа № 4. Исследование параллельной цепи переменного тока.....	23
Лабораторная работа № 5. Исследование трехфазной цепи при соединении приемников по схеме «звезда».....	28
Лабораторная работа № 6. Исследование трехфазной цепи при соединении приемников по схеме «треугольник».....	33
Лабораторная работа № 7. Исследование электрических цепей, содержащих источник несинусоидального напряжения.....	37
Список рекомендуемой литературы.....	42

ОСНОВНОЕ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ, ИСПОЛЬЗУЕМОЕ ДЛЯ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

Все лабораторные работы по исследованию электрических цепей постоянного и переменного тока выполняются на универсальном стенде №1, лицевая панель которого показана на рис. 1.

На стенд подается либо переменное напряжение 220 В, либо трехфазное регулируемое напряжение от 100 В до 380 В.

Стенд содержит силовой однофазный трансформатор, от которого запитаны автотрансформатор $T1$, позволяющий регулировать переменное напряжение в диапазоне (0-30) В, а также независимые стабилизированные источники постоянной ЭДС $E1$ и $E2$, значения напряжения которых можно изменять от 0 до 25 В. На клеммы от силового трансформатора подано также переменное напряжение 6 В, предназначенное для запитывания измерительных приборов.

Перечисленные источники питания работают после включения тумблера $QA1$, при этом загорается лампочка EL . В сеть 220 В включен предохранитель FU на 0,5 А. Источники $E1$ и $E2$ включаются с помощью тумблеров $QA2$, $QA3$ и $QA4$, $QA5$, регулируются переменными резисторами $R8$ и $R9$, напряжения источников регистрируются вольтметрами $PV1$ и $PV2$ соответственно.

Трехпозиционные переключатели $QA3$ и $QA5$ позволяют отключать $E1$ и $E2$ от выходных клемм (в среднем положении), а также закорачивать выходные клеммы источников.

Автотрансформатор $T1$ включается тумблером $QA6$, а регулируемое движком выходное напряжение регистрируется вольтметром $PV3$.

Стенд содержит трехфазный трансформатор $T2$, начала и концы всех обмоток которого выведены на лицевую панель. С помощью вольтдобавочных обмоток возможно независимое регулирование вторичного напряжения на каждой фазе. Регулирование осуществляется галетными переключателями $QA7$ – $QA9$, фазные напряжения регистрируются вольтметрами $PV4$ – $PV6$.

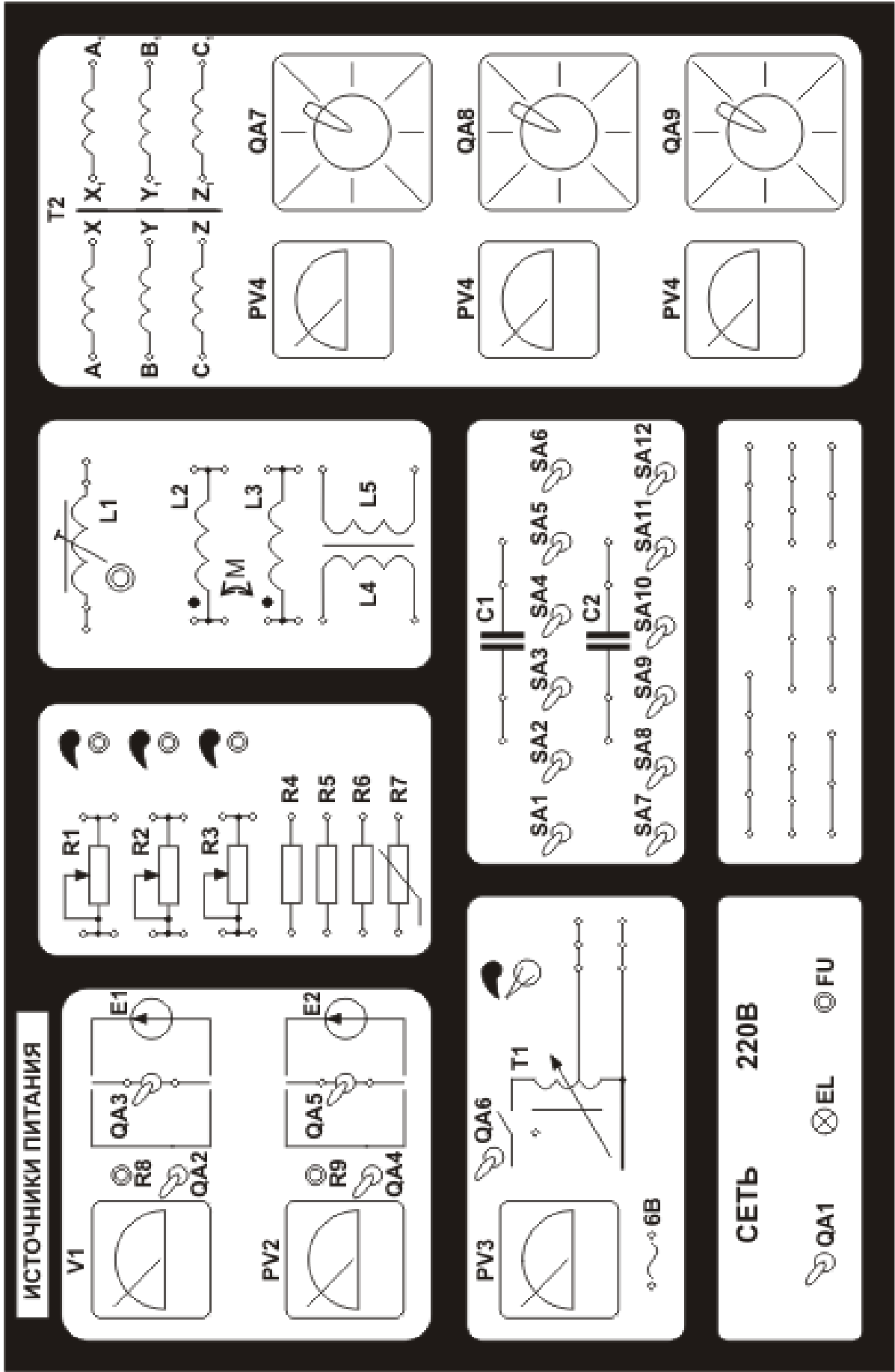


Рис. 1. Лицевая панель универсального стенда № 1

В качестве нагрузок на стенде используются три переменных резистора $R1 - R3$, максимальное сопротивление которых составляет 10 кОм, три постоянных резистора $R4 - R6$ и нелинейное сопротивление $R7$, катушка переменной индуктивности $L1$, катушки со взаимной индукцией $L2, L3$ и $L4, L5$, а также группы конденсаторов $C1$ и $C2$ – батареи параллельно подключаемых конденсаторов, емкость которых изменяется с помощью тумблеров $SA1 - SA12$.

Максимальный ток через нагрузку не должен превышать 300 мА.

Для обеспечения возможности параллельных соединений на стенде предусмотрены общие шины.

При выполнении лабораторных работ используются аналоговые и цифровые приборы: амперметры, вольтметры, ваттметры и омметры. При их использовании требуется изучить правила эксплуатации соответствующих приборов. При измерениях строго запрещается превышать номинальные значения приборов.

Действующие значения синусоидальных токов и напряжений измеряют цифровыми приборами, а также аналоговыми приборами электромагнитной и электродинамической систем. Для измерения активной мощности используются ваттметры электродинамической системы.

Приборы для измерения однофазных токов и напряжений имеют на лицевой стороне условный знак – волнистую линию (\sim).

У ваттметра имеются две обмотки и четыре зажима. Два из них, отмеченные звездочками, называются генераторными. При измерении активной мощности эти зажимы включаются в один узел. Второй зажим токовой обмотки подключается последовательно, а обмотки напряжения – параллельно измеряемому участку электрической цепи.

Цена деления ваттметра определяется по формуле

$$C_W = \frac{U_H \cdot I_H}{N}, \text{ Вт/дел.},$$

где U_H – номинальное напряжение прибора, В; I_H – номинальный ток, А; N – число делений шкалы.

ПРАВИЛА ВЫПОЛНЕНИЯ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

В начале каждого занятия студент обязан представить преподавателю, ведущему лабораторные занятия, рабочую тетрадь с материалами предварительной подготовки к очередной лабораторной работе. Студент, не подготовившийся к занятию и показавший неудовлетворительные знания, к выполнению работы не допускается.

Допущенные к выполнению работы студенты приступают к сборке электрической цепи на лабораторном стенде. Перед началом работы на стенде необходимо убедиться, что стенд отключен от всех источников энергии.

В соответствии с указаниями к работе следует выбрать необходимое оборудование на стенде и измерительные приборы.

Сборку электрической цепи рекомендуется производить от одного из зажимов источника энергии к другому. При этом целесообразно сначала соединить участки по главной токовой последовательной цепи, а затем к собранной части цепи следует присоединять элементы параллельных ветвей. В последнюю очередь включаются вольтметры и обмотка напряжения у ваттметра. Для соединения нескольких ветвей в один узел рекомендуется использовать общие шины на стенде.

При сборке схемы цепи постоянного тока необходимо соблюдать требуемую полярность включения источников и измерительных приборов.

Сборку электрической цепи должен выполнять один студент, а второй обязан подготавливать соединительные провода и контролировать правильность сборки схемы. При сборке следующей схемы они меняются местами.

Собранную цепь следует обязательно показать для проверки преподавателю. Перед включением цепи необходимо установить регулируемые источники энергии в нулевые положения, полностью ввести реостаты, у приборов установить максимальные пределы измерения. Убедившись в соблюдении данных условий и получив разрешение преподавателя, можно включить цепь под напряжение.

При возникновении неисправности в цепи сначала следует отключить источники, а затем обратиться к преподавателю.

Показания приборов в соответствии с порядком выполнения работы записываются в таблицы рабочей тетради.

Размер листов отчета должен соответствовать формату А4. Начинается отчет с титульного листа. В самом отчете следует указать название, цель работы, привести схемы исследуемых цепей, таблицы с экспериментальными и вычисленными данными, требуемые графики.

Графики строятся на листах миллиметровой бумаги. При выполнении графиков по осям координат проставляются буквенные обозначения исследуемых величин, единицы их измерения, наносится масштабная сетка. При построении в одних осях нескольких графиков функций одной переменной необходимо провести дополнительные масштабные шкалы для каждой из них и построить эти кривые разноцветными карандашами. Графики следует строить в виде плавных непрерывных кривых, захватывающих наибольшее число опытных (расчетных) точек или занимающих среднее положение между ними.

Каждый студент обязан оформить отчет по выполненной работе к очередному занятию. Студент, не представивший отчет по предыдущей работе, к выполнению следующей не допускается.

ПРАВИЛА ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

Универсальные стенды лаборатории являются действующими электроустановками и при нарушении Правил техники безопасности могут оказаться источниками опасности поражения электрическим током. Прохождение тока через тело человека может привести к тяжелым поражениям нервной, дыхательной и сердечно-сосудистой систем.

При одновременном прикосновении к двум неизолированным точкам цепи, находящейся под напряжением, тело человека становится звеном этой цепи и по нему протекает ток. Сопротивление тела человека как элемент электрической цепи определяется состоянием верхнего слоя кожи и зависит от многих факторов (влажность, состояние нервной системы и др.), поэтому оно может изменяться от нескольких сотен Ом до нескольких тысяч Ом.

При неблагоприятных обстоятельствах напряжение порядка 40-60 В может вызвать серьезную травму. Установлено, что прохож-

дение переменного тока 50 мА через тело человека в течение 0,2-0,5 с является опасным, а прохождение тока 100 мА – смертельным. Опасность возрастает с увеличением напряжения.

Исходя из сказанного, следует руководствоваться следующими правилами безопасности:

1) доступ к стендам и аппаратуре во время занятий производится только с разрешения преподавателя;

2) перед началом сборки схемы необходимо убедиться в том, что все источники энергии отключены, регуляторы напряжения установлены в нулевое положение, состояние изоляции проводов исправное;

3) необходимо обеспечить надежный контакт наконечников проводов с клеммами стенда, ненужные провода со стола необходимо убирать;

4) включение схемы производить только после проверки преподавателем правильности сборки;

5) при возникновении неисправности (зашкаливание прибора, появление дыма, характерного запаха и др.) немедленно отключить все источники энергии и сообщить о случившемся преподавателю;

6) при выполнении работы запрещается касаться руками, ручкой, карандашом и другими предметами неизолированных участков цепи, находящихся под напряжением;

7) любые присоединения к цепи, ее разборку производить при отключенных источниках;

8) при выполнении работы не разрешается отходить от стенда, находящегося под напряжением;

9) всем студентам до начала работ в лаборатории необходимо ознакомиться с настоящей инструкцией и расписаться в лабораторном журнале по технике безопасности.

Лабораторная работа №1

ЭЛЕКТРОИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И ИЗМЕРЕНИЯ ОСНОВНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН

Цель работы: изучение принципа действия электроизмерительных приборов, измерение основных электрических величин и определение погрешностей измерений.

Основные теоретические положения

Электроизмерительными приборами называют технические средства с нормированными метрологическими характеристиками, предназначенные для выработки сигналов, функционально связанных с измеряемыми электрическими величинами, в форме, доступной для непосредственного восприятия наблюдателем.

Различают аналоговые и цифровые приборы. В аналоговых приборах электрическая энергия измеряемой величины преобразуется в механическую энергию подвижной части прибора - стрелки.

По способу преобразования различают: магнитоэлектрические, электромагнитные, электродинамические и др. приборы. Обозначения некоторых систем приборов приведено на рис. 1.1.

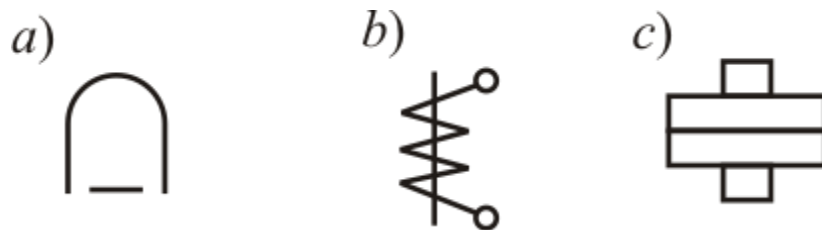


Рис. 1.1: a) магнитоэлектрический прибор; b) электромагнитный прибор; c) электродинамический прибор

В магнитоэлектрическом приборе используется действие магнитного поля постоянного магнита на подвижную катушку с током I . Угловое перемещение α стрелки прибора:

$$\alpha = SI, \quad (1.1)$$

где S – чувствительность прибора.

Данные приборы имеют равномерную шкалу.

Для создания вращающего момента в электромагнитном приборе используется действие магнитного поля неподвижной катушки на подвижный сердечник:

$$\alpha = SI^2 \frac{dL}{d\alpha}, \quad (1.2)$$

где L – индуктивность катушки.

Эти приборы имеют неравномерную шкалу.

В механизме электродинамического прибора используется взаимодействие магнитных полей подвижной и неподвижной катушек, по которым проходят токи I_1 и I_2 :

$$\alpha = SI_1 I_2 \frac{dM}{d\alpha}. \quad (1.3)$$

Электродинамические приборы имеют неравномерную шкалу. Определение цены деления прибора C осуществляется делением рабочего предела измерения прибора A_m на количество делений шкалы прибора N :

$$C = \frac{A_m}{N}. \quad (1.4)$$

Для расширения диапазона измерения прибора используют шунты -резисторы, включаемые параллельно амперметру, а также добавочные резисторы, включаемые последовательно с вольтметром. В этих случаях новые цены делений C' и C'' определяется по формулам:

$$C' = C \left(1 + \frac{R_A}{R_{ш}} \right), \quad (1.5)$$

$$C'' = C \left(1 + \frac{R_\partial}{R_V} \right), \quad (1.6)$$

где R_A и R_V – внутренние сопротивления амперметра и вольтметра соответственно; $R_{ш}$ – сопротивление шунта; R_∂ – добавочное сопротивление.

Отличие результатов измерения A от его действительного значения A_0 называется погрешностью измерения. Различают абсолютную погрешность

$$\Delta = A - A_0, \quad (1.7)$$

относительную

$$\delta = \frac{\Delta}{A_0} \cdot 100\%, \quad (1.8)$$

приведенную

$$\gamma = \frac{\Delta}{A_n} \cdot 100\%, \quad (1.9)$$

где A_n – конечное значение диапазона измерения.

Класс точности приборов численно равен приведенной погрешности.

Задание для самостоятельной подготовки

1. Изучите конструкцию и принцип действия магнитоэлектрического, электромагнитного и электродинамического приборов.
2. Выведите формулы 1.5 и 1.6.
3. Составьте бланк отчета.

Порядок выполнения работы

1. Запишите технические характеристики используемых приборов в табл. 1.1.

Таблица 1.1

Название прибора	Тип системы	Род тока	Пределы измерения	Количество делений шкалы	Цена деления	Класс точности	Внутреннее сопротивление, Ом
Амперметр							
Вольтметр							
Ваттметр							

2. Поочередно соберите электрические цепи, приведенные на рис. 1.2 и 1.3.

В каждом случае, задаваясь тремя значениями сопротивления переменного резистора $R1$, предварительно замеренными с помощью омметра, определите показания приборов.

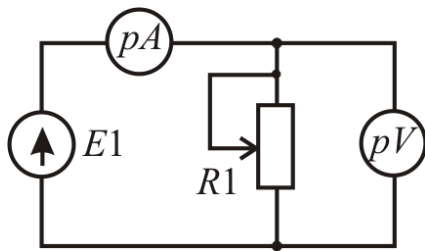


Рис. 1.2

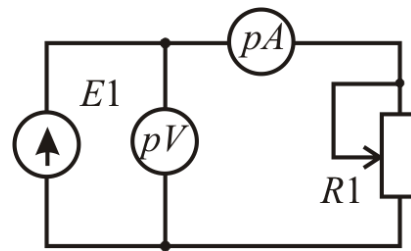


Рис. 1.3

Вычислите значения сопротивления $R1$ по формулам:
для схемы рис. 1.2

$$R1 = \frac{U}{I - \frac{U}{R_V}}, \quad (1.10)$$

для схемы рис. 1.3

$$R1 = \frac{U - I \cdot R_A}{I} \quad (1.11)$$

Рассчитайте абсолютные и относительные погрешности, считая действительными значениями сопротивления $R1_0$ величины, определенные омметром. Результаты занесите в табл. 1.2.

Таблица 1.2

Схема измерений	Измерено			Вычислено		
	$U, В$	$I, А$	$R1_0, Ом$	$R1, Ом$	$\Delta, Ом$	$\delta, \%$
По рис. 1.2						
По рис. 1.3						

4. Соберите цепь по схеме рис. 1.4.

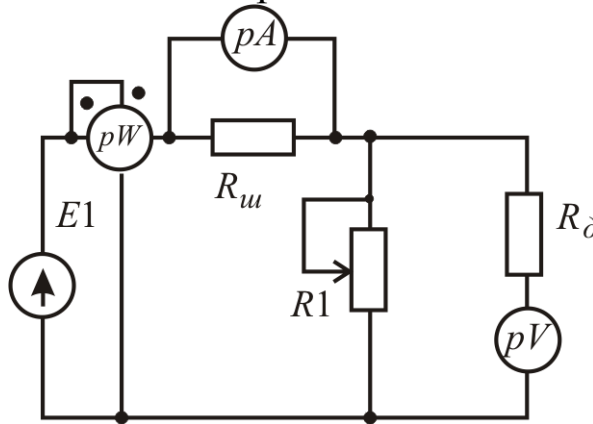


Рис. 1.4

Замерьте с помощью омметра действительные значения сопротивлений $R_{ш}$, $R_{д}$ и $R1$ и определите новую цену деления приборов. Снимите показания приборов для трех значений сопротивления $R1$.

Рассчитайте значения сопротивления $R1$, мощности и погрешностей в измерении $R1$ для каждого замера. Результаты занесите в табл. 1.3.

Таблица 1.3

Измерено				Вычислено			
$U, В$	$I, А$	$P, Вт$	$R1_0, Ом$	$R1, Ом$	$P=RI^2, Вт$	$\Delta, Ом$	$\delta, \%$

Литература: [1, §11.2–11.3; §12.1–12.3; 2, § 12.1–12.3; §12.10; 3, §7.1.1–7.1.3; §7.2.1–7.2.5; §7.4.1–7.4.4; §7.5.1–7.5.2.].

Лабораторная работа №2 ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОСТЕЙШИХ ЦЕПЕЙ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Цель работы: экспериментальная проверка основных теоретических соотношений и зависимостей между токами, напряжениями, мощностями и сопротивлениями в простейших электрических цепях постоянного тока.

Основные теоретические положения

Закон Ома для резистивного участка цепи, не содержащего источников энергии:

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

Активная мощность этого участка цепи:

$$P = UI = RI^2 = \frac{U^2}{R}. \quad (2.2)$$

В последовательной цепи, приведенной на рис. 2.1, через все элементы протекает один и тот же ток. Напряжение источника равно арифметической сумме напряжений на всех резистивных участках цепи:

$$U = \sum_{k=1}^n U_k. \quad (2.3)$$

Эквивалентное (общее) сопротивление последовательной цепи равно сумме сопротивлений всех участков этой цепи:

$$R_{\Sigma} = \sum_{k=1}^n R_k. \quad (2.4)$$

Оно может быть найдено по экспериментальным значениям напряжения источника U и тока цепи I с помощью закона Ома:

$$R_{\Sigma} = \frac{U}{I}. \quad (2.5)$$

При изменении одного из сопротивлений последовательной цепи максимальная мощность выделяется на данном участке при ра-

венстве данного сопротивления сумме всех остальных сопротивлений цепи.

В параллельной цепи, приведенной на рис. 2.2, все ветви находятся под одним и тем же напряжением U , а токи в ветвях обратно пропорциональны их сопротивлениям.

Общий ток равен арифметической сумме токов ветвей:

$$I = \sum_{k=1}^n I_k . \quad (2.6)$$

Эквивалентная резистивная проводимость параллельной цепи равна сумме проводимостей всех ветвей цепи:

$$g_{\mathcal{E}} = \sum_{k=1}^n g_k = \sum_{k=1}^n \frac{1}{R_k} . \quad (2.7)$$

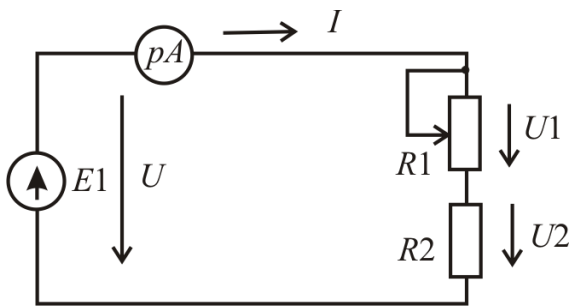


Рис. 2.1

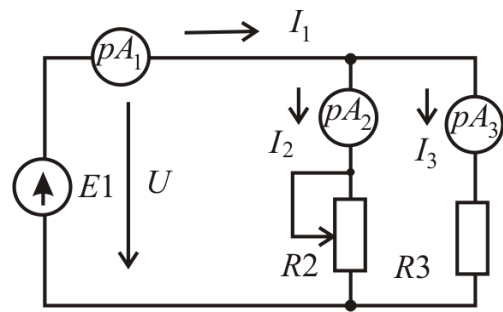


Рис. 2.2

Эквивалентное резистивное сопротивление параллельной цепи

$$R_{\mathcal{E}} = \frac{1}{g_{\mathcal{E}}} = \frac{U}{I}, \quad (2.8)$$

где U и I – напряжение и ток источника.

Последовательно-параллельная цепь, приведенная на рис. 2.3, является комбинацией участков, соединенных последовательно и параллельно. К отдельным участкам такой цепи применимы соотношения между напряжениями, токами и сопротивлениями, имеющими место в последовательной и параллельной цепях.

Ток в каждой из параллельных ветвей может быть найден по формуле разброса токов в параллельных ветвях, например, для схемы рис. 2.3:

Постройте совмещенные графики зависимостей I , U_1 , U_2 , P_1 , $P = f(R1)$.

2. Соберите электрическую цепь по схеме на рис. 2.2.

При неизменном напряжении источника исследуйте зависимость тока источника (общего тока) и токов в параллельных ветвях от величины сопротивления $R2$. Результаты измерений занесите в табл. 2.2.

Таблица 2.2

№	Измерено				Вычислено					
	U , В	I_1 , А	I_2 , А	I_3 , А	$R2$, Ом	$R3$, Ом	R_{Σ} , Ом	P_2 , Вт	P_3 , Вт	P , Вт
1										
2										
3										

Постройте совмещенные графики зависимостей I_1 , I_2 , I_3 , P_3 , $P = f(R2)$.

3. Соберите электрическую цепь по схеме на рис. 2.3.

При неизменном напряжении источника исследуйте влияние величины сопротивления $R3$ на ток источника, токи в параллельных ветвях и напряжения на участках цепи. Результаты измерений занесите в табл. 2.3.

Таблица 2.3

№	Измерено						Вычислено							
	U В	U_1 В	U_{23} В	I_1 А	I_2 А	I_3 А	$R1$ Ом	$R2$ Ом	$R3$ Ом	R_{Σ} Ом	P_1 Вт	P_2 Вт	P_3 Вт	P Вт
1														
2														
3														

Постройте совмещенные графики зависимостей I_1 , I_2 , I_3 , U_1 , U_{23} , P_1 , $P_2 = f(R3)$.

Литература: [1, §1.1 – 1.9; 2, §1.1–1.4; §1.6 – 1.10].

Лабораторная работа № 3 ИССЛЕДОВАНИЕ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОЙ ЦЕПИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Цель работы: экспериментальная проверка основных тео-

ретических соотношений между током, напряжениями и мощностями на участках цепи, сдвига фаз между приложенным напряжением и током при изменении одного из сопротивлений элементов цепи.

Основные теоретические положения

Элементами цепи переменного тока являются: активные сопротивления, катушки индуктивности и конденсаторы.

В катушке индуктивности, в свою очередь, выделяются индуктивное сопротивление $X_L = \omega L$ и собственное активное сопротивление R_k , обусловленное сопротивлением проводов обмотки.

Полное сопротивление катушки Z_k определяется по треугольнику сопротивлений индуктивного элемента, приведенному на рис. 3.1:

$$Z_k = \sqrt{R_k^2 + X_L^2}. \quad (3.1)$$

Полное сопротивление последовательной цепи, состоящей из резистора R и катушки, можно определить по закону Ома:

$$Z = \frac{U}{I} = \sqrt{(R + R_k)^2 + X_L^2}. \quad (3.2)$$

Напряжение на резисторе U_R совпадает по фазе с током I , а напряжение на катушке U_k опережает ток на угол φ_k . Действующие значения этих напряжений равны:

$$U_R = R \cdot I, \quad (3.3)$$

$$U_k = Z_k \cdot I. \quad (3.4)$$

Приложенное к цепи напряжение источника опережает ток на угол φ :

$$\varphi = \arctg \frac{X_L}{R + R_k}. \quad (3.5)$$

Активная мощность катушки P_k и активная мощность цепи P равны:

$$P_k = R_k \cdot I^2 = U_{ак} \cdot I, \quad (3.6)$$

$$P = (R + R_k) \cdot I^2 = U \cdot I \cdot \cos \varphi. \quad (3.7)$$

При изменении сопротивления резистора от 0 до ∞ активная мощность достигает максимума при $(R + R_k) = X_L$:

$$P_m = \frac{U^2}{2 \cdot (R + R_k)}. \quad (3.8)$$

Реактивная мощность индуктивной катушки равна

$$Q_L = U I \sin \varphi = X_L I^2 = U_{pk} I. \quad (3.9)$$

При изменении X_L от 0 до ∞ реактивная мощность максимальна при $X_L = (R + R_k)$:

$$Q_{L_m} = \frac{U^2}{2X_L}. \quad (3.10)$$

Полная мощность цепи определяется по формуле:

$$S = U I = \sqrt{P^2 + Q^2} = Z I^2. \quad (3.11)$$

Полное сопротивление цепи, состоящей из последовательно соединенных резистора R и конденсатора с емкостным сопротивлением $X_C = \frac{1}{\omega C}$, можно найти по треугольнику сопротивлений, изображенному на рис. 3.2:

$$Z = \sqrt{R^2 + X_C^2}. \quad (3.12)$$

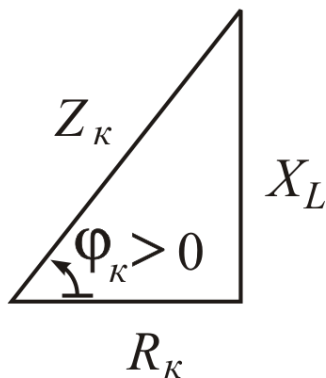


Рис. 3.1

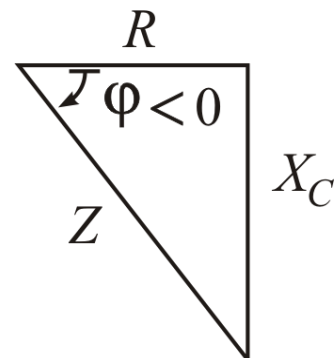


Рис. 3.2

Напряжение на конденсаторе U_C отстает по фазе от тока в цепи на угол 90° , т. е. $\varphi_C = -90^\circ$.

Действующее значение напряжения U_C равно

$$U_C = X_C \cdot I. \quad (3.13)$$

Активная и полная мощности цепи определяются по формулам:

$$P = U I \cos \varphi = R I^2; \quad (3.14)$$

$$S = UI = \sqrt{P^2 + Q^2} = Z I^2. \quad (3.15)$$

Реактивная мощность конденсатора

$$Q_C = U I \cdot \sin \varphi = -X_C \cdot I^2 = -U_C I. \quad (3.16)$$

Задание для самостоятельной подготовки

1. Для исследуемой электрической цепи, схема которой показана на рис. 4.3, на основе анализа приведенных в работе формул постройте качественно:

а) графики $I = f_1(R)$, $P = f_2(R)$, $Q = f_3(R)$;

б) топографические диаграммы для случаев:

$$X_L > R > R_k \quad \text{и} \quad R > X_L > R_k;$$

в) треугольник мощностей.

2. Для исследуемой электрической цепи, схема которой показана на рис. 4.4, постройте качественно:

а) графики $I = f_4(R)$, $P = f_5(R)$, $Q = f_6(R)$;

б) топографические диаграммы для случаев:

$$R < X_C, \quad R = X_C, \quad R > X_C;$$

в) треугольник мощностей.

3. Составьте бланк отчета.

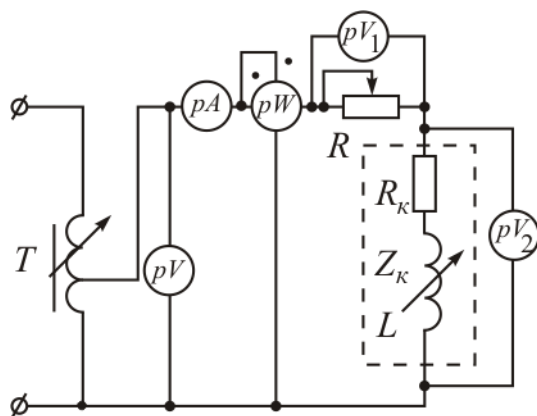


Рис. 3.3

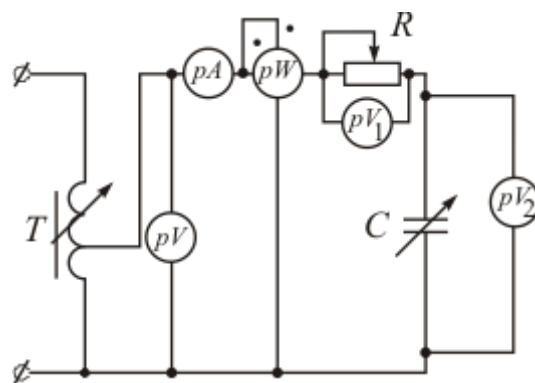


Рис. 3.4

Порядок выполнения работы

1. Соберите электрическую цепь по схеме рис. 3.3. При полностью выведенном сопротивлении резистора R ($R=0$) измерьте показания приборов и рассчитайте параметры катушки индуктивности. Результаты занесите в табл. 3.1.

Таблица 3.1

№	Измерено					Вычислено										
	U	U_1	U_2	I	P	Z	R	Z_k	$R+R_k$	R_k	X_L	$\cos\varphi$	φ	Q	S	
	В	В	В	А	Вт	Ом	Ом	Ом	Ом	Ом	Ом	—	град	ВАр	ВА	
Опыт для определения Z_k, R_k, X_L		0														
1																
2																
...																
6																

2. При неизменном напряжении на входе цепи исследуйте зависимость тока, напряжений на участках цепи и активной мощности от величины R , изменяя ее от 0 до ∞ (режим холостого хода). Результаты опытов занесите в табл. 3.1.

3. При неизменном напряжении на входе цепи исследуйте зависимость тока, напряжений на участках цепи и активной мощности от сопротивления катушки X_L . Результаты опытов занесите в табл. 3.2.

Таблица 3.2

№	Измерено					Вычислено									
	U	U_1	U_2	I	P	Z	R	Z_K	$R+R_K$	R_K	X_L	$\cos\varphi$	φ	Q	S
	В	В	В	А	Вт	Ом	Ом	Ом	Ом	Ом	Ом	—	град	Вар	ВА
1															
2															
...															
6															

4. Соберите электрическую цепь по схеме рис. 3.4. При неизменном напряжении на входе цепи исследуйте зависимость тока, напряжений на элементах цепи и активной мощности от величины R . Результаты опытов занесите в табл. 3.3.

Таблица 3.3

№	Измерено					Вычислено							
	U	U_1	U_2	I	P	Z	R	X_C	$\cos\varphi$	φ	Q	S	
	В	В	В	А	Вт	Ом	Ом	Ом	—	град	ВАр	ВА	
1													
2													
...													
6													

5. При неизменном напряжении на входе цепи исследуйте зависимость тока, напряжений на элементах цепи и активной мощности от сопротивления конденсатора X_C . Результаты занесите в табл. 3.4.

Таблица 3.4

№	Измерено					Вычислено							
	U	U_1	U_2	I	P	Z	R	X_C	$\cos\varphi$	φ	Q	S	
	В	В	В	А	Вт	Ом	Ом	Ом	—	град	ВАр	ВА	
1													
2													
...													
6													

6. На основании опытных данных выполните необходимые расчеты и заполните табл. 3.1 – 3.4.

7. Постройте графики зависимостей I , U_1 , P , Q , $\cos \varphi$ от величины $(R+R_k)$ по данным табл. 1.1; I , U_2 , P , Q , $\cos \varphi$ от величины X_L по данным табл. 1.2; I , U_1 , P , Q , $\cos \varphi$ от величины R по данным табл. 3.3; I , U_2 , P , Q , $\cos \varphi$ от величины X_C по данным табл. 3.4.

8. Постройте векторные (топографические) диаграммы для одного из опытов по данным табл. 3.1 и табл. 3.2 или табл. 3.3 и табл. 3.4.

9. Постройте треугольники мощностей для одного из опытов по данным табл. 3.1 и табл. 3.2 или табл. 3.3 и табл. 3.4. Найдите по ним полную мощность и сравните ее с расчетной.

Литература: [1, §2.1–2.12; 2, §2.1–2.15; 3, §2.1–2.9].

Лабораторная работа № 4 **ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ ЦЕПИ** **ПЕРЕМЕННОГО ТОКА**

Цель работы: экспериментальная проверка основных теоретических соотношений и зависимостей между напряжением, токами и мощностями при изменении проводимости активной или реактивной ветви.

Основные теоретические положения

Полную, активную и реактивную проводимости катушки индуктивности по схеме рис. 4.1 можно определить по формулам:

$$y_k = \frac{I_k}{U}, \quad (4.1)$$

$$g_k = \frac{P}{U^2}, \quad (4.2)$$

$$b_L = \sqrt{y_k^2 - g_k^2}. \quad (4.3)$$

Катушке будет соответствовать треугольник проводимостей, показанный на рис. 4.2.

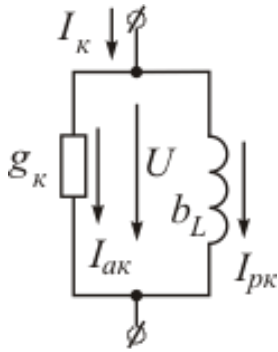


Рис. 4.1

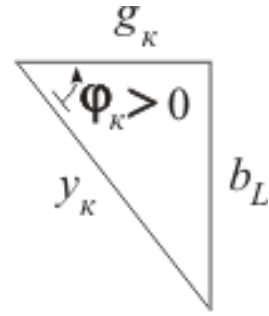


Рис. 4.2

При параллельном соединении резистора и катушки индуктивности полная проводимость цепи

$$y = \frac{I}{U} = \sqrt{(g_R + g_k)^2 + b_L^2}, \quad (4.4)$$

где g_k – активная проводимость резистора.

Ток катушки

$$I_k = \sqrt{I_{ак}^2 + I_{рк}^2}, \quad (4.5)$$

$$I_{ак} = g_k \cdot U, \quad (4.6)$$

$$I_{рк} = b_L \cdot U. \quad (4.7)$$

Общий ток цепи

$$I = \sqrt{(I_R + I_{ак})^2 + I_{рк}^2}. \quad (4.8)$$

Мощности цепи определяются по формулам:

$$P = (g_R + g_k)U^2, \quad (4.9)$$

$$Q_L = I_{рк}U = b_L U^2, \quad (4.10)$$

$$S = UI = yU^2. \quad (4.11)$$

Коэффициент мощности

$$\cos \varphi = \frac{P}{S} = \frac{I_R + I_{ак}}{I}. \quad (4.12)$$

Активная проводимость конденсатора обычно не учитывается, так как его активные потери малы. При параллельном

включении резистора и конденсатора полная проводимость цепи равна

$$y = \frac{I}{U} = \sqrt{g_R^2 + b_C^2}, \quad (4.13)$$

где $b_C = \omega C$.

Общий ток цепи

$$I = \sqrt{I_R^2 + I_C^2}, \quad (4.14)$$

где $I_R = g_R U$, $I_C = b_C U$.

Мощности цепи определяются по формулам:

$$P = I_R U = g_R U^2, \quad (4.15)$$

$$Q_C = -I_C U = -b_C U^2, \quad (4.16)$$

$$S = U I = y U^2. \quad (4.17)$$

Задание для самостоятельной подготовки

1. Для цепи, схема которой показана на рис. 4.3, качественно постройте:

а) векторную диаграмму и треугольник мощностей при $g_1 = b_L = 0,2 g_k$;

б) графики I_1 , P , $\cos \varphi$ в зависимости от величины $(g_1 + g_k)$ при $b_L = \text{const}$;

в) графики I_2 , I , Q_L в зависимости от b_L при $(g_1 + g_k) = \text{const}$.

2. Для цепи, схема которой показана на рис. 4.4, качественно постройте:

а) векторную диаграмму и треугольник мощностей при $g_1 = 2b_C$;

б) графики I , P , $\cos \varphi$ в зависимости от величины g_1 при $b_C = \text{const}$;

в) графики I_2 , I , Q_C в зависимости от b_C при $g_1 = \text{const}$.

3. Составьте бланк отчета.

Порядок выполнения работы

1. Соберите электрическую цепь по схеме рис. 4.3. При неизменном напряжении на входе цепи исследуйте зависимости токов и активной мощности от величины g_1 . Результаты опытов занесите в табл. 4.1.

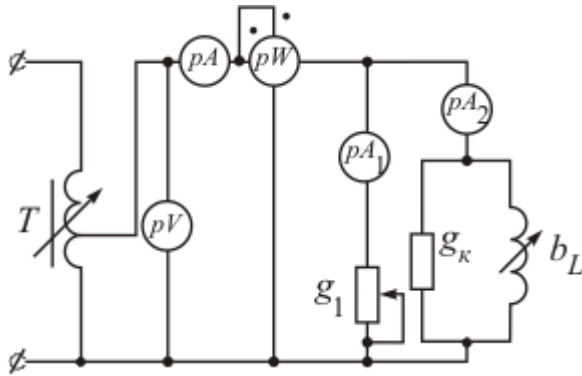


Рис. 4.3

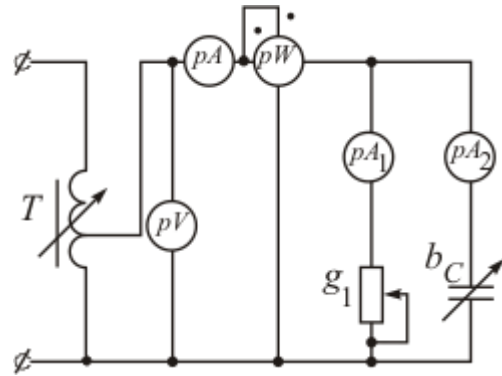


Рис. 4.4

Таблица 4.1

№	Измерено					Вычислено									
	U	I	I_1	I_2	P	y	g_1	y_k	$g_1 + g_k$	g_k	b_L	$\cos\varphi$	φ	Q	S
	В	А	А	А	Вт	См	См	См	См	См	См	—	град	ВАр	ВА
1															
2															
...															
6															

2. При неизменном напряжении на входе цепи исследуйте зависимости токов и активной мощности от величины b_L . Результаты опытов занесите в табл. 5.2.

Таблица 4.2

№	Измерено					Вычислено									
	U	I	I_1	I_2	P	y	g_1	$g_1 + g_k$	g_k	b_L	$\cos\varphi$	φ	y_k	Q	S
	В	А	А	А	Вт	См	См	См	См	См	—	град	См	ВАр	ВА
1															
2															
...															
6															

3. Соберите электрическую цепь по схеме рис. 4.4. При неизменном напряжении на входе цепи исследуйте зависимости

токов и активной мощности от величины g_1 . Результаты опытов занесите в табл. 4.3.

4. При неизменном напряжении на входе цепи исследуйте зависимости токов и активной мощности от величины b_C . Результаты опытов занесите в табл. 4.4.

5. На основании опытных данных выполните необходимые расчеты и заполните табл. 4.1 – 4.4.

6. Постройте графики зависимостей $I, I_1, P, \cos \varphi$ от величины $(g_1 + g_k)$ по данным табл. 2.1; I, I_2, Q, S от величины b_L по данным табл. 5.2; $I, I_1, P, \cos \varphi$ от величины g_1 по данным табл. 4.3; I, I_2, Q, S от величины b_C по данным табл. 4.4.

Таблица 4.3

№	Измерено					Вычислено						
	U	I	I_1	I_2	P	y	g_1	b_C	$\cos \varphi$	φ	Q	S
	В	А	А	А	Вт	См	См	См	—	град	ВАр	ВА
1												
2												
...												
6												

7. Постройте векторные диаграммы для одного из опытов по данным табл. 4.1 и табл. 4.2 или табл. 4.3 и табл. 4.4. По диаграммам определите угол φ и сравните его с расчетным.

8. Постройте треугольники мощностей для одного из опытов по данным табл. 4.1 и табл. 4.2 или табл. 4.3 и табл. 4.4. Найдите по ним полную мощность и сравните ее с расчетной.

Таблица 4.4

№	Измерено					Вычислено						
	U	I	I_1	I_2	P	y	g_1	b_C	$\cos \varphi$	φ	Q	S
	В	А	А	А	Вт	См	См	См	—	град	ВАр	ВА
1												
2												
...												
6												

Литература: [1, §2.13, 2.17, 2.19; 2, §2.15–2.17, 2.20, 2.21; 3, §2.13–2.19].

Лабораторная работа № 5
ИССЛЕДОВАНИЕ ТРЕХФАЗНОЙ ЦЕПИ
ПРИ СОЕДИНЕНИИ ПРИЕМНИКОВ
ПО СХЕМЕ «ЗВЕЗДА»

Цель работы: анализ режимов работы трехфазной цепи при соединении нагрузки по схеме «звезда» с нейтральным и без нейтрального провода.

Основные теоретические положения

В данной работе трехфазные источник и приемник соединены по схеме «звезда».

Выводы, к которым присоединены зажимы ЭДС с высоким потенциалом, обозначаются точками A , B и C , высокие потенциалы нагрузки – точками a , b и c . Узловые точки источника N и приемника n называются нейтральными (нулевыми) точками, а соединяющий их провод (в четырехпроводной схеме) – нейтральным проводом. Остальные провода, соединяющие источник с приемником, называются линейными. Лучи звезд источника и приемника называются фазами.

При соединении по схеме «звезда» линейные токи равны фазным.

Напряжения между линейными проводами называются линейными, напряжения между точками A , B и C и нейтральной точкой источника N – фазными напряжениями источника, напряжения между точками a , b и c и нейтральной точкой приемника n – фазными напряжениями приемника.

При симметричном режиме работы цепи между линейными U_l и фазными U_ϕ напряжениями существует соотношение

$$U_l = \sqrt{3}U_\phi. \quad (5.1)$$

Анализ режимов работы трехфазной цепи удобно производить с помощью векторной диаграммы, пример которой показан на рис. 5.1.

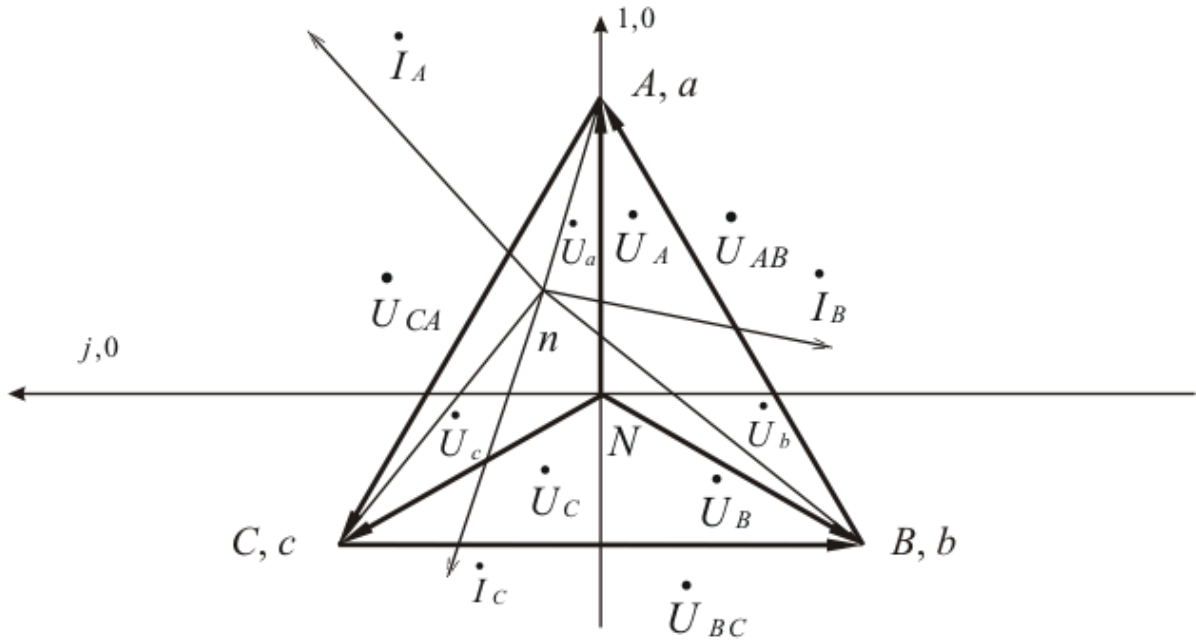


Рис. 5.1

Принято векторную диаграмму трехфазной цепи строить на комплексной плоскости, вещественная ось которой вертикальна.

Порядок построения векторной диаграммы следующий.

Первоначально на комплексной плоскости откладываются фазные напряжения симметричного источника, имеющие выражения:

$$\begin{cases} \dot{U}_A = U_\phi \cdot e^{j0^\circ}; \\ \dot{U}_B = U_\phi \cdot e^{-j120^\circ}; \\ \dot{U}_C = U_\phi \cdot e^{j120^\circ}. \end{cases} \quad (5.2)$$

Тем самым определяется положение на плоскости точек A , B и C . Нейтральная точка источника N располагается в центре координат. Соединив между собой точки A , B и C , можно получить линейные напряжения:

$$\begin{cases} \dot{U}_{AB} = U_{л} \cdot e^{j30^\circ}; \\ \dot{U}_{BC} = U_{л} \cdot e^{-j90^\circ}; \\ \dot{U}_{CA} = U_{л} \cdot e^{j150^\circ}. \end{cases} \quad (5.3)$$

Затем откладываются фазные напряжения приёмника при условии идеальности линейных проводов (сопротивления проводов между источником и приёмником равны нулю), т.е. $\dot{\varphi}_A = \dot{\varphi}_a$, $\dot{\varphi}_B = \dot{\varphi}_b$, $\dot{\varphi}_C = \dot{\varphi}_c$.

Замеренные вольтметром на лучах звезды приёмника величины этих напряжений \dot{U}_a , \dot{U}_b и \dot{U}_c в масштабе откладываются из соответствующих точек диаграммы A , B и C с помощью циркуля. Точка пересечения дуг окружностей, радиусы которых равны фазным напряжениям приёмника, является нейтральной точкой приёмника n .

Положение точки n определяется сопротивлением и наличием или отсутствием нейтрального провода. При симметричной нагрузке точки N и n совпадают на диаграмме независимо от того, включен нейтральный провод или нет, при включенном нейтральном проводе точки N и n совпадают всегда, даже при несимметричной нагрузке.

При отсутствии нейтрального провода и несимметричной нагрузке нулевая точка приёмника может находиться как в площади треугольника ABC , так и вне её. В случае аварийных режимов – обрыва или короткого замыкания фазы точка n перемещается соответственно либо по сторонам треугольника ABC , либо занимает положение точек A , B или C (при отключенном нейтральном проводе).

После нахождения положения точки n от неё под углом φ_i к соответствующим фазным напряжениям приёмника откладываются фазные токи. В случае четырехпроводной схемы ток нейтрального провода определяется векторным суммированием фазных токов.

Задание для самостоятельной подготовки

1. Постройте качественные векторные диаграммы для трех- и четырехпроводных трехфазных цепей для однородной активной нагрузки и равномерной (элементы L , C , R в любых фазах) нагрузки.
2. Постройте качественную векторную диаграмму при учёте сопротивления нейтрального провода для несимметричного приемника.
3. Составьте бланк отчета.

Порядок выполнения работы

1. На универсальном стенде №1 запитайте первичную обмотку трансформатора $T2$. С помощью галетных переключателей $QA7 - QA9$ установите одинаковые значения фазных напряжений источника на вторичных обмотках трансформатора, измеряя их цифровым вольтметром.

2. Соберите цепь по схеме, приведенной на рис. 5.2.

Произведите замеры показаний приборов при различных режимах трехфазной цепи, которые указаны в табл. 5.1.

Симметрия или равномерность нагрузки фаз достигается изменением фазных сопротивлений при равенстве фазных токов.

Для определения угла сдвига фаз между напряжением и током в опытах № 8 и № 9 в фазы B и C включите ваттметры.

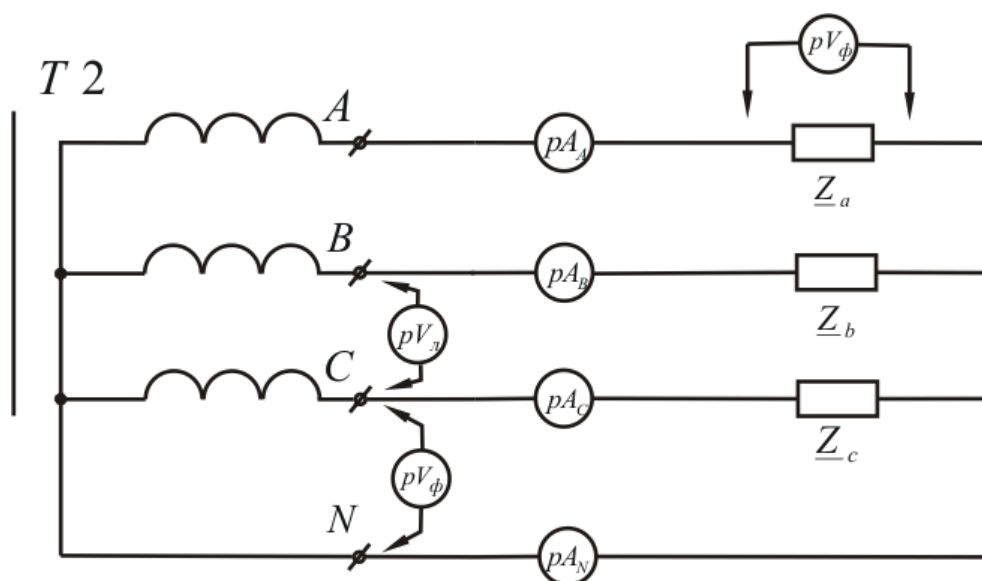


Рис. 5.2

3. Для каждого опыта постройте в масштабе векторные диаграммы напряжений и токов. Из построенных диаграмм определите для каждого опыта напряжение между нейтральными точками U_{nN} и ток в нейтральном проводе I_N . Данные расчетов запишите в табл. 5.1 и сравните их с опытными данными.

Таблица 5.1

№	ИЗМЕРЕНО									Из векторной диаграммы		Состояние приёмника	Система цепи
	U_l В	U_a В	U_b В	U_c В	U_{nN} В	I_A А	I_B А	I_C А	I_N А	U_{nN} В	I_N А		
1												Симметричная активная нагрузка $\underline{Z}_a = R1,$ $\underline{Z}_b = R2,$ $\underline{Z}_c = R3$	Четырёхпроводная (с нейтральным проводом)
2												— // —	Трёхпроводная (без нейтрального провода)
3												Несимметричная активная нагрузка	Четырёхпроводная
4												— // —	Трёхпроводная
5												Обрыв фазы А, в других фазах – активная нагрузка	Четырёхпроводная
6												— // —	Трёхпроводная
7												Короткое замыкание фазы А, в других фазах	Трёхпроводная

№	ИЗМЕРЕНО									Из векторной диаграммы		Состояние приёмника	Система цепи
	$U_{л}$ В	U_a В	U_b В	U_c В	U_{nN} В	I_A А	I_B А	I_C А	I_N А	U_{nN} В	I_N А		
7												зах – активная нагрузка	
8												Равномерная нагрузка $\underline{Z}_a = R_1$, $\underline{Z}_b = X_c$ ($\varphi_c < 0$), $\underline{Z}_c = \underline{Z}_k$ ($\varphi_k > 0$)	Четырёхпроводная
9												— // —	Трёхпроводная

Литература: [1, 3.1–3.10; 2, §3.1–3.6; 3, §3.1–3.5, 3.7].

Лабораторная работа № 6 ИССЛЕДОВАНИЕ ТРЕХФАЗНОЙ ЦЕПИ ПРИ СОЕДИНЕНИИ ПРИЕМНИКОВ ПО СХЕМЕ «ТРЕУГОЛЬНИК»

Цель работы: анализ режимов работы трехфазной цепи, при соединении нагрузки по схеме «треугольник».

Основные теоретические положения

В данной работе трехфазный источник включен по схеме «звезда», а приемник – по схеме «треугольник», при этом фазами приемника являются ветви треугольника.

Линейное напряжение равно фазному напряжению на приемнике, а между линейным $I_{л}$ и фазным I_{ϕ} токами при симметричном режиме существует соотношение

$$I_l = \sqrt{3} \cdot I_\phi. \quad (6.1)$$

Построение векторной диаграммы начинается со звезды фазных напряжений и треугольника линейных напряжений источника

$$\begin{cases} \dot{U}_{AB} = U_l \cdot e^{j30^\circ}; \\ \dot{U}_{BC} = U_l \cdot e^{-j90^\circ}; \\ \dot{U}_{CA} = U_l \cdot e^{j150^\circ}. \end{cases} \quad (6.2)$$

Затем под углами φ_i к соответствующим напряжениям приёмника откладываются фазные токи $\dot{I}_{ab}, \dot{I}_{bc}, \dot{I}_{ca}$.

На рис. 6.1 построена векторная диаграмма для случая, когда в фазе ab включена активная нагрузка, в фазе bc – индуктивная и в фазе ca – ёмкостная нагрузка.

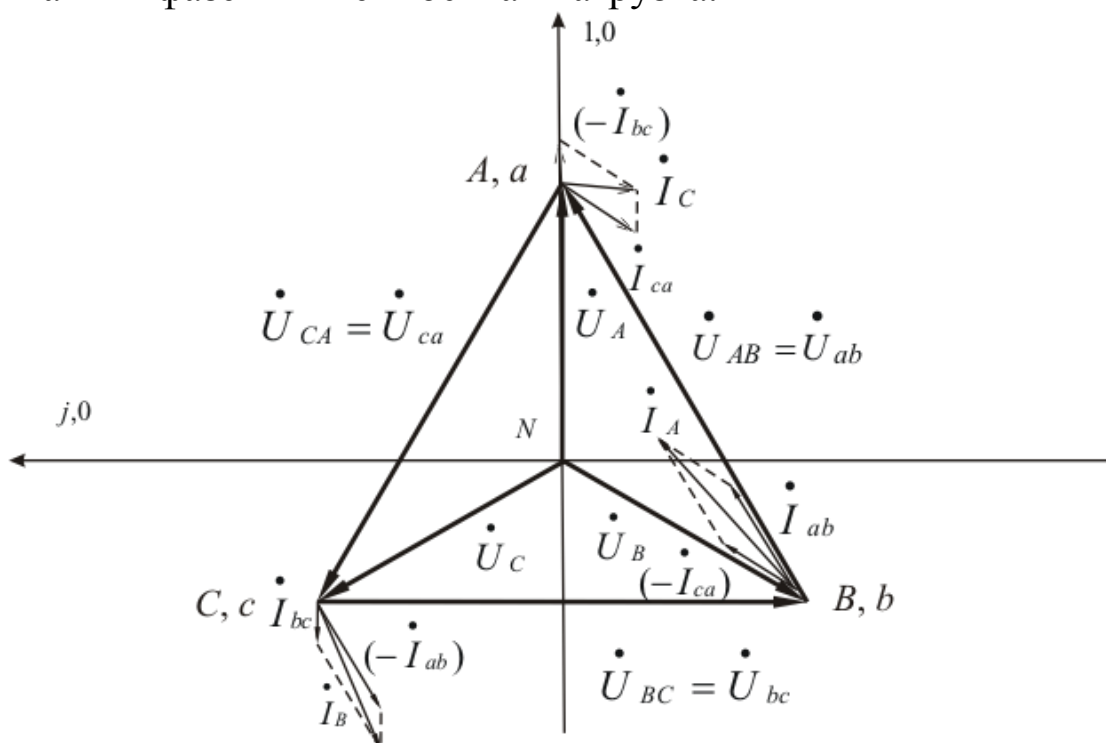


Рис. 6.1

В общем случае линейные токи определяются по первому закону Кирхгофа:

$$\left\{ \begin{array}{l} \dot{I}_A = \dot{I}_{ab} - \dot{I}_{ca}; \\ \dot{I}_B = \dot{I}_{bc} - \dot{I}_{ab}; \\ \dot{I}_C = \dot{I}_{ca} - \dot{I}_{bc}. \end{array} \right. \quad (6.3)$$

При обрыве фазы изменяются лишь два линейных тока, при обрыве линии цепь становится однофазной.

Задание для самостоятельной подготовки

1. Постройте качественные векторные диаграммы для однофазной и равномерной нагрузок.
2. Постройте качественную векторную диаграмму для случая двухфазного короткого замыкания при наличии реального источника энергии.
3. Составьте бланк отчета.

Порядок выполнения работы

1. На универсальном стенде № 1 запитайте первичную обмотку трансформатора $T2$. С помощью галетных переключателей $QA7 - QA9$ установите одинаковые значения фазных напряжений на вторичных фазных обмотках трансформатора, измеряя их цифровым вольтметром.

2. Соберите цепь по схеме, приведенной на рис. 6.2. Произведите замеры показаний приборов при различных режимах трехфазной цепи, которые указаны в табл. 6.1.

Симметрия или равномерность нагрузки фаз достигается изменением фазных сопротивлений при равенстве фазных токов.

Для определения угла сдвига фаз между напряжением и током в опыте №5 в фазы bc и ca включите ваттметры.

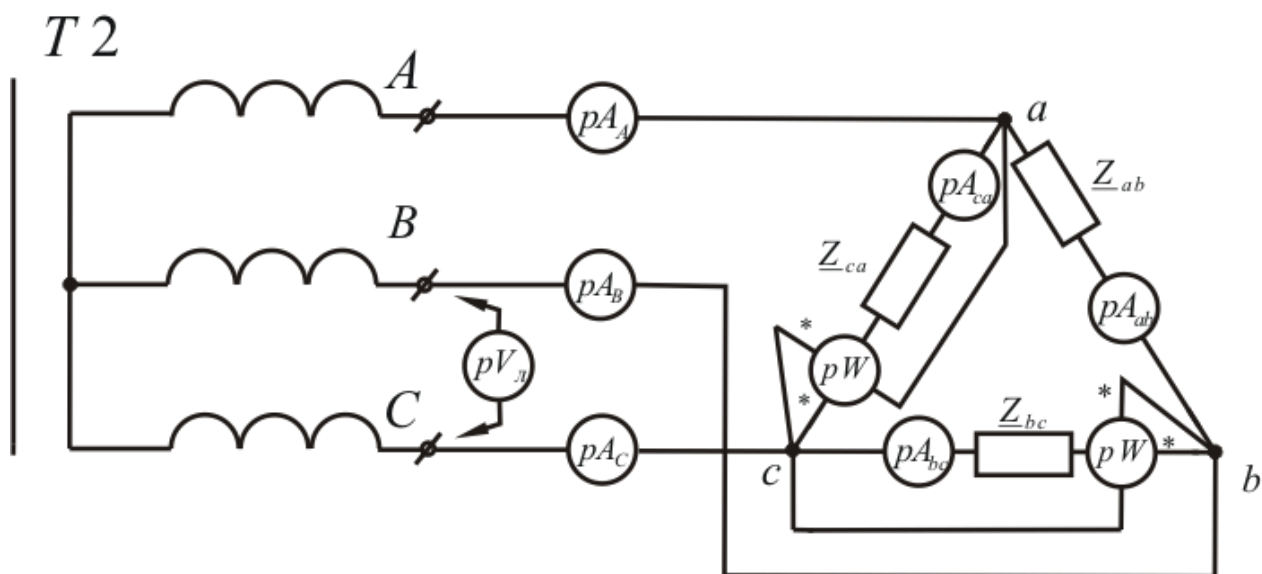


Рис. 6.2

Таблица 6.1

№	ИЗМЕРЕНО							Из векторной диаграммы			Состояние приёмника
	$U_{л}$ В	I_A А	I_B А	I_C А	I_{ab} А	I_{bc} А	I_{ca} А	I_A А	I_B А	I_C А	
1											Симметричная активная нагрузка $Z_{ab} = R1$, $Z_{bc} = R2$, $Z_{ca} = R3$
2											Несимметричная активная нагрузка
3											Обрыв фазы ab , в других фазах – активная нагрузка
4											Обрыв линии, несимметричная активная нагрузка

№	ИЗМЕРЕНО						Из векторной диаграммы			Состояние приёмника
	$U_{л}$ В	I_A А	I_B А	I_C А	I_{ab} А	I_{bc} А	I_{ca} А	I_A А	I_B А	
5										Равномерная нагрузка, $\underline{Z}_{ab} = R_1$, $\underline{Z}_{bc} = X_c$, $(\varphi_c < 0)$, $\underline{Z}_{ca} = \underline{Z}_k$ $(\varphi_k > 0)$

3. Для каждого опыта постройте в масштабе векторные диаграммы напряжений и токов. Из построенных диаграмм определите для каждого опыта линейные токи. Данные расчетов занесите в табл. 6.1 и сравните их с опытными данными.

Литература: [1, 3.1–3.10; 2, §3.1–3.6; 3, §3.1–3.5, 3.7].

Лабораторная работа № 7 ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ, СОДЕРЖАЩИХ ИСТОЧНИК НЕСИНУСОИДАЛЬНОГО НАПРЯЖЕНИЯ

Цель работы: изучение влияния катушки индуктивности и конденсатора на кривые тока и напряжения, рассмотрение разложения несинусоидальных кривых в ряд Фурье графоаналитическим методом.

Основные теоретические положения

Любая периодическая функция, удовлетворяющая условиям Дирихле, может быть представлена в виде бесконечного гармонического ряда – ряда Фурье:

$$f(t) = A_0 + \sum_{k=1}^{\infty} A_{km} \sin(k\omega t + \psi_k). \quad (7.1)$$

Иначе

$$f(t) = A_0 + \sum_{k=1}^{\infty} (A'_{kM} \sin k\omega t + A''_{kM} \cos k\omega t), \quad (7.2)$$

где $A'_{kM} = A_{kM} \cos \psi_k$; $A''_{kM} = A_{kM} \sin \psi_k$; $A = \sqrt{(A'_{kM})^2 + (A''_{kM})^2}$;

$$\psi_k = \operatorname{arctg} \frac{A''_{kM}}{A'_{kM}}.$$

Разложение в ряд Фурье кривых геометрически правильной формы приводится в справочниках. Так, например, кривую напряжения на выходе мостового выпрямителя можно разложить в ряд Фурье по формуле

$$u(t) = \frac{4U_M}{\pi} \left(\frac{1}{2} + \frac{1}{3} \cos 2\omega t - \frac{1}{15} \cos 4\omega t + \frac{1}{35} \cos 6\omega t \right). \quad (7.3)$$

Кривые произвольной формы можно разложить в ряд Фурье графо-аналитическим методом, для чего период функции $f(t)$ разбивается на n равных частей. Постоянная составляющая, амплитуды синусной и косинусной составляющих k -х гармоник определяются по формулам:

$$A_0 = \frac{1}{n} \sum_{p=1}^n f_p(t); \quad (7.4)$$

$$A'_{kM} = \frac{2}{n} \sum_{p=1}^n f_p(t) \sin_p(k\omega t); \quad (7.5)$$

$$A''_{kM} = \frac{2}{n} \sum_{p=1}^n f_p(t) \cos_p(k\omega t), \quad (7.6)$$

где $f_p(t)$ – значение функции $f(t)$ в середине p -го интервала; $\sin_p(k\omega t)$, $\cos_p(k\omega t)$ – значение функции синуса и косинуса в середине p -го интервала.

При разложении следует учесть, что кривые, симметричные относительно оси абсцисс, не содержат постоянной составляющей и четных гармоник, а, кроме того, разложение таких кривых можно произвести, исследуя лишь первый полупериод функции

$f(t)$. Для случая разбивки периода функции $f(t)$ на $n=24$ части в табл. 7.1 приведены значения аргумента $k\omega$ для первого полупериода функции.

Таблица 7.1

№ гармоники	Значения аргумента $k\omega t$ (в градусах) для интервала №:											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Первая	7,5	22,5	37,5	52,5	67,5	82,5	97,5	112,5	127,5	142,5	157,5	172,5
Третья	22,5	67,5	112,5	157,5	202,5	247,5	292,5	337,5	22,5	67,5	112,5	157,5
Пятая	37,5	112,5	187,5	262,5	337,5	52,5	127,5	202,5	277,5	352,5	67,5	142,5

Действующее значение несинусоидальной величины (ток, напряжение) равно квадратному корню из суммы квадратов постоянной составляющей и действующих значений отдельных гармоник.

$$A = \sqrt{A_0^2 + A_1^2 + A_2^2 + A_3^2 + \dots} \quad (7.7)$$

Активная мощность в несинусоидальной цепи определяется по формуле:

$$P = \sum_{k=0}^{\infty} U_k I_k \cos \varphi_k, \quad (7.8)$$

реактивная мощность – по формуле:

$$Q = \sum_{k=1}^{\infty} U_k I_k \sin \varphi_k. \quad (7.9)$$

В данных цепях возникает мощность искажения:

$$T = \sqrt{S^2 - (P^2 + Q^2)}, \text{ ВА.} \quad (7.10)$$

Расчет цепи несинусоидального тока заключается в разло-

жении источника несинусоидальной ЭДС на гармонические составляющие, составление для каждой гармоники схемы замещения и определения в них токов. При расчете необходимо учитывать, что индуктивные сопротивления с ростом номера гармоник возрастают, а емкостные – уменьшаются:

$$X_{Lk} = k\omega L = kX_{L1}, \quad (7.11)$$

$$X_{Ck} = \frac{1}{k\omega C} = \frac{X_{C1}}{k}. \quad (7.12)$$

Задания для самостоятельной подготовки

1. Перечислите свойства периодических несинусоидальных симметричных функций, относящиеся к составу гармоник.
2. Объясните причины возникновения мощности искажения в цепях с высшими гармониками.
3. В чем отличие явления резонанса в цепях синусоидального тока и несинусоидальных цепях?
4. Составьте бланк отчета.

Порядок выполнения работы

Данная работа выполняется на стенде № 2.

1. Проградуируйте осциллограф, для чего, подав от автотрансформатора T известное напряжение U , измерьте амплитуду синусоидальной кривой на экране осциллографа. Масштаб в единицах напряжения определите по формуле

$$m_U = \frac{\sqrt{2}U}{y}, \quad \text{В/мм},$$

где y – амплитуда напряжения на экране осциллографа, мм.

Для определения масштаба в единицах тока m_i в активном элементе R достаточно взять отношение:

$$m_i = \frac{m_U}{R}, \quad \text{А/мм}.$$

3. Соберите цепь по схеме рис. 7.1.

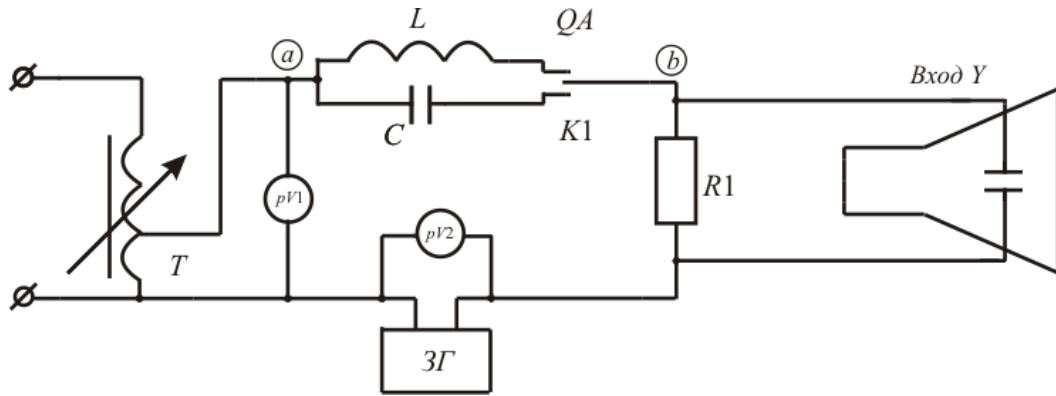


Рис. 7.1

3. Установите закоротку на точки a и b . Подайте заданное преподавателем напряжение частотой 50 Гц от трансформатора T и напряжение частотой 250 Гц от звукового генератора (ЗГ) на сопротивление нагрузки $R1$. Амплитуда напряжения пятой гармоники должна составлять не более 20 % от амплитуды напряжения первой гармоники. Снимите осциллограмму несинусоидального напряжения.

4. Уберите закоротку между точками a и b и снимите осциллограмму тока в цепи при включенной с помощью контакта QA коммутатора $K1$ индуктивности L .

5. Переключите контакт QA на емкость C и снимите осциллограмму тока в полученной схеме.

6. Разложите кривую напряжения и токов, полученные в опытах пунктов 3-5, на гармоники до пятой включительно.

7. Соберите цепь по схеме рис. 7.2, включив мостовой выпрямитель $П2$.

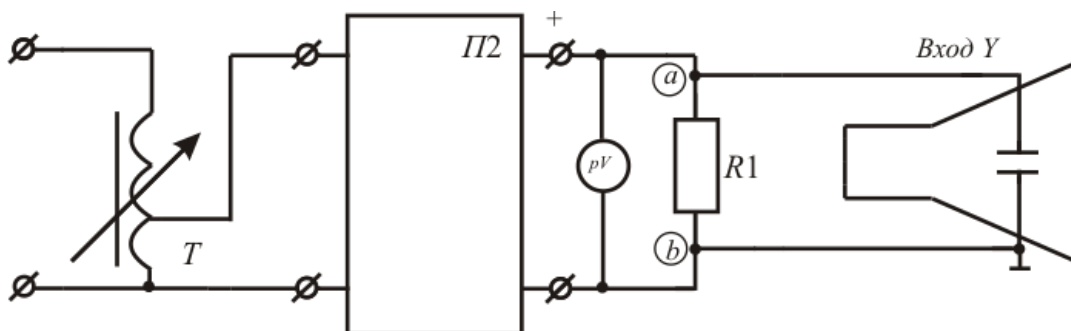


Рис. 7.2

8. Снимите осциллограмму напряжения u_{ab} и определите амплитуду напряжения.

9. Соберите цепь по схеме рис. 7.3, добавив сглаживающий

фильтр $\Pi 1$ (фильтр второй гармоники).

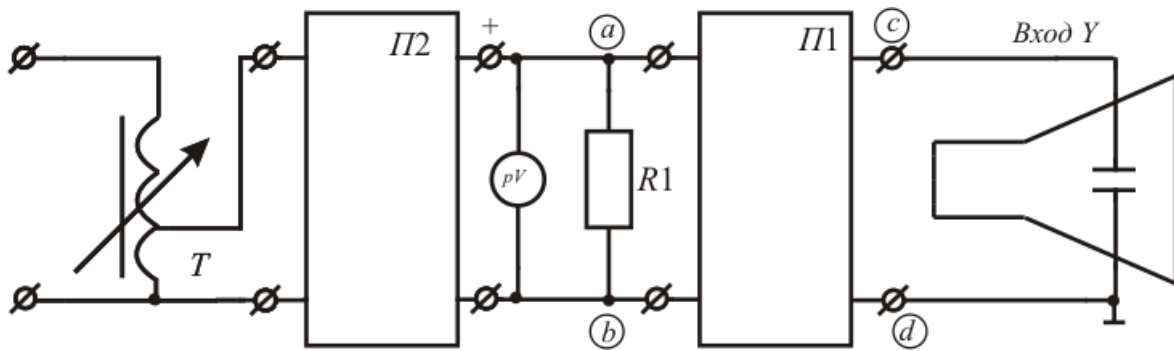


Рис. 7.3

10. Снимите осциллограмму напряжения u_{cd} и определите амплитуду напряжения второй гармоники.

11. Разложите напряжения u_{ab} в тригонометрический ряд. Результаты опыта данных пункта 10 сравните с расчетными.

Литература: [7, § 13.1–13.9].

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Касаткин, А. С. Электротехника : учебник для студентов неэлектротехн. специальностей вузов / А. С. Касаткин, М. В. Немцов. – Москва: Академия, 2008. – 544 с.

2. Рекус, Г. Г. Общая электротехника и основы промышленной электроники / Г. Г. Рекус. – Москва : Высш. шк., 2008. – 416 с.

3. Новожилов, О. П. Электротехника и электроника: учебник / О. П. Новожилов. – Москва : Гардарики, 2008. – 613 с.

4. Иванов, И. И. Электротехника и основы электроники : учебник [Электронный ресурс] / И. И. Иванов, Г. И. Соловьев, В. Я. Фролов. – 7-е изд., перераб. и доп. – СПб: Лань, 2012. – 736с. – Режим доступа

http://e.lanbook.com/books/element.php?p11_cid=25&p11_id=3190.

5. Ермуратский, П. В. Электротехника и электроника [Электронный ресурс]/ П. В. .Г.П. Лычкина, Ю. Б. Минкин. – Москва : ДМК Пресс, 2011. – 417 с.

<http://www.biblioclub.ru/book/129904/>

6. Немцов В. М. Электротехника и электроника [Электрон-

ный ресурс]/ В. М. Немцов.– Москва : Абрис, 2012. – 560 с.
<http://www.biblioclub.ru/book/117664/>

7. Атабеков, Г. И. Теоретические основы электротехники. Линейные электрические цепи / Г. И. Атабеков. – Спб: Лань, 2009.– 592 с.

http://e.lanbook.com/books/element.php?p11_cid=25&p11_id=90