

## ВВЕДЕНИЕ

Руководство предназначено для студентов Электротехнического института Томского политехнического университета (ЭЛТИ ТПУ), которые изучают курс «Теоретические основы электротехники» (ТОЭ) и выполняют лабораторные работы по этой дисциплине на стендах учебно-лабораторного комплекса, разработанного в Южно-Уральском государственном университете и изготовленного в НПО «Точмашприбор».

Руководство содержит описания лабораторных работ по установленным режимам линейных электрических цепей и методические указания по их выполнению с учетом специфики комплектации стендов и возможностей реализации на них цели каждой из лабораторных работ.

### **Общие правила работы в электротехнической лаборатории**

1. В лаборатории необходимо соблюдать тишину, чистоту и порядок.
2. Перед занятием в лаборатории студенты обязаны прослушать инструктаж, познакомиться с оборудованием и изучить правила техники безопасности.
3. Для выполнения работ студенты объединяются в постоянные бригады по 2-3 человека.
4. К предстоящей лабораторной работе студенты готовятся заранее, ознакомившись с описанием работы и рекомендованной литературой. Результаты подготовки записываются в тетрадь протоколов, наличие которой обязательно для каждого студента.
5. В тетрадь протоколов при подготовке необходимо внести цель работы, основные соотношения, схемы, заготовки таблиц, ответы на контрольные вопросы.
6. По результатам выполненной работы каждым студентом аккуратно оформляется отчет. В отчете приводятся: цель работы, электрическая схема, основные соотношения, таблицы с результатами опытов и расчетов, примеры расчетов, графики зависимостей, сопровождаемые пояснениями, анализ полученных результатов и выводы.
7. Преподаватель принимает отчеты по предыдущей работе и проверяет готовность студента к предстоящей работе. **Н е п о д г о т о в л е н н ы е** студенты, у которых отсутствуют отчеты или тетрадь протоколов, к работе не допускаются.

8. Получив допуск к работе, студенты собирают цепь на закреплённом за ними рабочем месте. Собранная цепь предъявляется на проверку преподавателю. Не допускается включение цепи без разрешения преподавателя.
9. После проверки цепи преподавателем студенты приступают к экспериментам, которые проводят с соблюдением правил техники безопасности. Результаты наблюдений и вычислений вносятся в таблицы протокола.
10. По окончании работы протокол предъявляется преподавателю. Только после подписи протокола преподавателем, студенты разбирают цепь.
11. На основании протоколов студенты производят обработку результатов наблюдений и оформляют отчёты.

### **Меры безопасности**

1. Сборка электрических цепей производится проводами с исправной изоляцией при отключённом напряжении.
2. Включение собранных цепей в работу производится только с разрешения преподавателя.
3. Касаться руками клемм, открытых токоведущих частей приборов и аппаратов при включённом напряжении запрещается.
4. Все переключения в электрических цепях и их разборку необходимо производить только при снятом напряжении.

После выполнения работы электрическая цепь должна быть разобрана, рабочее место убрано, дополнительные приборы сданы преподавателю.

### **Описание лабораторного стенда**

Стенд учебного лабораторного комплекса состоит из трех блоков: генераторов напряжений, наборной панели и мультиметров. К стенду прилагаются соединительные провода и набор миниблоков нагрузочных элементов, полупроводниковых приборов и трансформаторов.

1. **Блок генераторов напряжений** включает в себя три разновидности источников питания.

- а) Источники синусоидального напряжения промышленной частоты (50 Гц): однофазный генератор (напряжение 24 В, ток до 0,1А) и трехфазный генератор (фазное напряжение 7 В, ток до 0,2А) с выведенной нейтральной точкой (N).

- б) Генератор напряжений специальной формы. Форма напряжения устанавливается с помощью переключателя “**Форма**”. Возможно получение синусоидального напряжения, частота которого регулируется в пределах от 200 Гц до 20 кГц или прямоугольных униполярных и биполярных импульсов. Величина действующего значения напряжения изменяется регулятором “**Амплитуда**”. При этом следует иметь в виду, что при изменении частоты в широких пределах меняется и величина напряжения. Так что для обеспечения одинакового напряжения при разных частотах нужно использовать и регулятор “**Амплитуда**”.
- с) Три генератора постоянного напряжения 15 В (ток до 0,2А), из которых один с регулируемым напряжением от 0 до 15 В. С помощью тумблера (переключателя) можно либо подать напряжение от источника на выходные зажимы (верхнее положение), либо отключить его с одновременным замыканием накоротко выходных зажимов (нижнее положение тумблера).

В скобках для каждого из перечисленных источников указан допустимый ток. Если параметры нагрузки таковы, что ток превышает допустимый, на стенде загорается красная лампочка. Работать с горячей лампочкой запрещено, чтобы не вывести из строя источник. Источники включаются в работу и отключаются выключателем “**Сеть**”.

2. **Наборная панель** состоит из штепсельных гнезд и служит для сборки электрических цепей. Гнезда соединены между собой попарно, по четыре и по двенадцать. В них включаются двухполюсные блоки. Поэтому при последовательном соединении элементов достаточно использовать вдвоенные гнезда. А для формирования узлов разветвленных цепей используются объединения по четыре и по двенадцать гнезд.

3. **Блок мультиметров** состоит из трех одинаковых многофункциональных измерительных приборов. Они могут быть использованы для измерения активных сопротивлений (гнездо  $\Omega$ ), постоянного и переменного тока до 2 А (гнездо **A**) или постоянного и переменного напряжения до 600 В (гнездо **V** - общее с  $\Omega$ ). Гнездо **10 A** в лабораторных работах не используется.

В одно из этих гнезд включается штекер одного из проводов, соединяющих прибор наборной панелью. Штекер другого вставляется в гнездо **СОМ** (*common* - в переводе “общее”), которое используется при измерении любой величины.

Переключатель рода работ позволяет измерить ту или иную величину с необходимой точностью. Для этого риску переключателя

следует установить напротив необходимого предела измерения в один из пяти секторов ( $\Omega$ ,  $V=$ ,  $V\sim$ ,  $A=$ ,  $A\sim$ ).

**Пример 1.** Измерение постоянного напряжения до 15 В (на пример, напряжения источника).

Установить риску переключателя рода работ в сектор  $V=$  напротив предела 20 В. Соединить гнездо **Com** мультиметра с выводом “-” на лицевой панели генератора, напряжение которого предстоит измерить, а гнездо  $V\Omega$  с выводом “+”. Перевести общий выключатель блока мультиметров “**Сеть**” в положение “**вкл**”, затем нажать индивидуальный выключатель задействованного мультиметра (красная кнопка). Включить тумблер на лицевой панели генератора. На шкале прибора высвечивается величина измеряемого напряжения. Если бы перед показанием прибора появлялся знак “-”, то это означало бы, что полярность прибора не соответствует полярности напряжения.

**Пример 2.** Измерение переменного тока до 200 мА.

Риску переключателя установить на предел 200 мА в секторе  $A\sim$ . Подсоединить мультиметр (гнезда **Com** и **A**) к гнездам наборной панели. Включить прибор с помощью клавиши “**Сеть**” и красной кнопки. Снять со шкалы показание.

При необходимости можно подключать и другие измерительные приборы (фазометр, ваттметр, осциллограф др.) к наборной панели по схеме, приведенной в описании лабораторной работы.

4. **Соединительные провода** предназначены для сборки электрической цепи. Используются три вида проводов.

- а) Три пары (красный и черный со специальными наконечниками) проводов служат для надежного подключения мультиметров.
- б) Провода разной длины синего и белого цветов со штекерами на концах используются для соединения источников с наборной панелью, а также для соединения гнезд этой панели между собой при сборке цепи.
- в) Переходники, по виду напоминающие штепсельные вилки с дополнительным контактным гнездом, предназначены для соединения расположенных рядом гнезд панели (иногда с образованием узла с тремя ветвями). Их также целесообразно использовать в тех работах, где на определенных этапах требуется исключить элемент (замкнуть его накоротко). Например, если в начале работы требуется исключить из цепи емкость, то на ее место и включается эта вилка, а когда пона-

добится емкость, то она и подсоединяется вместо удаленной из панели вилки.

Следует стремиться собирать электрическую цепь «красиво», расчетливо располагая миниблоки на наборной панели, обходясь минимально необходимым количеством проводов.

**5. Набор миниблоков** (двухполюсников и четырехполюсников) для сборки пассивной части цепи. В их число входят линейные резисторы, потенциометры, конденсаторы, катушки индуктивности, трансформаторы, ключ, лампа, нелинейный резистор, полупроводниковые приборы.

На миниблоках указывается условное обозначение, номинал нагрузочного элемента и допустимые величины тока, напряжения или мощности, превышать которые при выполнении лабораторной работы недопустимо. Например, все линейные резисторы имеют допустимую мощность 2 Вт. Ниже приводятся краткие сведения о миниблоках (часть в таблицах).

**Таблица 1. Линейные резисторы**

Номинал (Ом)	10	22	33	47	100	150	220	330	470	680
Количество	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1

Номинал (кОм)	1	2,2	4,7	10	22	33	47	100	1000
Количество	3	1	2	2	1	1	1	2	1

Регулируемые сопротивления (потенциометры) имеют максимальные значения сопротивлений 1 кОм и 10 кОм, а мощность по 1 Вт каждый. Нелинейный резистор рассчитан на напряжение до 18 В и ток до 1 мА.

**Таблица 2. Конденсаторы**

Номинал (мкФ)	0,01	0,1	0,22	0,47	1	10	100	470	
Количество	1	1	1	1	1	1	1	1	
Напряжение (В)	100	100	63	63	63	63	63	35	
Примечание							Электролитические		

Ключ позволяет осуществить разрыв ветви, в которую он включен последовательно, или замкнуть накоротко узлы, к которым он присоединен параллельно.

**Таблица 3. Катушки индуктивности**

Номинал (мГн)	10	40	100
Количество	1	1	2
Допустимый ток (мА)	90	65	50

Четыре двухобмоточных трансформатора с одинаковыми двухстержневыми магнитопроводами имеют взаимозаменяемые обмотки с числами витков 100, 300, 900.

Полупроводниковые приборы: терморезисторы (6,8 кОм и 50 Ом), фоторезистор и работающая с ним в паре лампа на 10 В, шесть диодов (100 В, 1 А), стабилитрон (10 В, 5 мА), светодиод (20 мА), варикап, симистор, биполярные транзисторы с р-п-р и п-р-п переходом, однопереходный и полевой транзисторы, тиристор и микросхема, работающая как усилитель постоянного тока.

## РАБОТА 1

### ИССЛЕДОВАНИЕ ЛИНЕЙНОЙ РАЗВЕТВЛЕННОЙ ЦЕПИ ПОСТОЯННОГО ТОКА

**Цель работы.** Проверить выполнение законов Кирхгофа, принципов наложения и взаимности, теорему о линейных соотношениях.

#### *Пояснения к работе*

**Первый закон Кирхгофа.** Алгебраическая сумма токов в узле равна нулю. С одним знаком учитываются токи, подтекающие к узлу, а с другим – отходящие от него:

$$\sum I = 0.$$

**Второй закон Кирхгофа.** Алгебраическая сумма падений напряжения в контуре равна алгебраической сумме ЭДС контура (в левой части со знаком «плюс» учитываются падения напряжения на тех элементах, токи в которых совпадают с выбранным направлением обхода контура, в правой – ЭДС тех источников, стрелки которых совпадают с направлением обхода):

$$\sum IR = \sum E.$$

Взаимно независимыми уравнениями являются уравнения для токов всех узлов цепи за исключением одного. Для любой цепи взаимно независимые уравнения для напряжений получаются, если, записав уравнение для любого контура, мысленно разорвать в нем одну ветвь, а следующие уравнения также с разрывом ветви записывать для оставшихся целых контуров до их исчерпания. Уравнения для напряжений всех контуров – ячеек плоской (планарной) цепи кроме внешнего контура взаимно независимы.

**Принцип наложения.** Ток любой ветви линейной электрической цепи с несколькими источниками может быть представлен в виде алгебраической суммы составляющих от действия каждого источника в отдельности.

**Принцип взаимности.** Если в пассивной линейной цепи выделить две ветви  $ab$  и  $cd$ , в одну из них включить единственную ЭДС  $E_{ab} = E$ , а в другой измерить ток  $I_{cd} = I$ , затем переставить ту же ЭДС во вторую ветвь ( $E_{cd} = E$ ), а ток измерить в первой, то эти два тока окажутся равными ( $I_{ab} = I$ ).

**Теорема о линейных соотношениях.** Если в линейной электрической цепи изменять какой-либо один параметр (ЭДС, сопротивление или задающий ток источника), то любые две величины (токи или на-

пряжения) окажутся связанными линейным соотношением вида  $y = ax + b$ .

*Теорема компенсации.* Любой двухполусник можно заменить источником ЭДС, равной напряжению на зажимах двухполусника и имеющей ту же полярность, и при этом токи и напряжения остальной части цепи не изменятся.

### Схема электрической цепи

В работе используется электрическая цепь, схема которой показана на рис. 1.1.

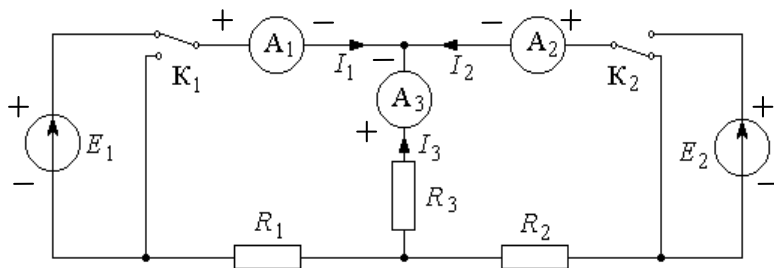


Рис. 1.1

В качестве источников питания используются генераторы постоянных напряжений, внутренние сопротивления которых малы по сравнению с сопротивлением резисторов  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$ . При этом в качестве ЭДС  $E_1$  следует выбрать источник с напряжением, регулируемым в пределах от 5 до 14 вольт, а ЭДС  $E_2$  должна оставаться неизменной во всех опытах. С помощью переключателей (тумблеров на стенде)  $K_1$  и  $K_2$  источники ЭДС либо включаются в цепь (верхнее положение тумблеров), либо заменяются проводником с сопротивлением практически равным нулю (нижнее положение как на схеме, так и на стенде).

Перед сборкой схемы величины ЭДС следует измерить вольтметром с пределом измерения 20 В, причем величину  $E_1$  следует установить в соответствии с вариантом из табл. 1.1, указанным преподавателем. Там же приведены и рекомендуемые значения сопротивлений  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$ . При сборке схемы необходимо обратить внимание на полярности источников и приборов (в частности зажим **СОМ** подключается к корпусу прибора и соответствует знаку «минус»). В процессе работы все три мультиметра используются для измерения постоянных токов в ветвях схемы (предел до 200 мА).



**Таблица 1.1**

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
$E_1$	В	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
$R_1$	Ом	100	150	220	100	150	220	100	220	330	100
$R_2$	Ом	150	100	100	220	220	150	220	100	100	330
$R_3$	Ом	220	220	150	150	100	100	150	330	220	220

*Подготовка к работе*

Проработав теоретический материал, ответить на вопросы.

1. Как выбрать контуры, чтобы уравнения Кирхгофа для них оказались взаимно независимыми?

2. На рис. 1.2 дана структурная схема некоторой цепи (ветви изображены линиями, узлы – точками). Определите для нее число взаимно независимых уравнений, которые можно составить по первому и второму законам Кирхгофа.

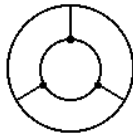


Рис. 1.2

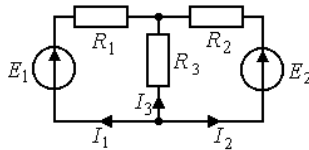


Рис. 1.3

3. На рис. 1.3 изображена исследуемая цепь без измерительных приборов и ключей. Запишите для нее необходимое число взаимно независимых уравнений по законам Кирхгофа.

4. Каковы правила знаков при записи уравнений Кирхгофа?

5. В чем сущность принципа наложения и как его проверить на примере цепи рис.1.1?

6. Поясните принцип взаимности применительно к цепи рис. 1.3 с одной ЭДС  $E_1$  и выведите формулы для аналитической его проверки (докажите тождество выражений для двух токов).

*Программа работы*

1. Измерение параметров схемы. Используя мультиметр в качестве вольтметра, измерить величину ЭДС  $E_2$  и установить значение ЭДС  $E_1$  в соответствии с номером варианта (табл. 1.1), указанного преподавателем. В процессе работы установленное значение  $E_1$  не менять. А пользуясь мультиметром как омметром, уточнить значения сопротивлений  $R_1, R_2, R_3$ . Результаты измерений внести в табл. 1.2.

**Таблица 1.2**

$E_1$	$E_2$	$R_1$	$R_2$	$R_3$
В	В	Ом	Ом	Ом

2. Экспериментальная проверка принципа наложения и законов Кирхгофа. Собрать схему рис. 1.1 и проделать следующие опыты.

*Опыт 1.* Ключ  $K_1$  установить в верхнее положение, ключ  $K_2$  – в нижнее, как это показано на рисунке. В схеме действует только ЭДС  $E_1$ , вместо  $E_2$  включен проводник с сопротивлением равным нулю («закоротка»).

*Опыт 2.* Ключ  $K_2$  установить в верхнее положение, ключ  $K_1$  – в нижнее. В схеме действует только ЭДС  $E_2$ , вместо  $E_1$  включена «закоротка».

*Опыт 3.* Перевести ключ  $K_1$  в верхнее положение. При этом включены обе ЭДС.

Показания приборов со своими знаками внести в верхние три строки табл. 1.3. В четвертую строку этой таблицы записать сумму показаний приборов в опытах 1 и 2. Сравнить результат с показаниями приборов в опыте 3.

Просуммировать значения токов в опытах 1÷3 в соответствии с первым законом Кирхгофа. Результаты записать в правый столбец табл. 1.3. Убедиться, что закон выполняется. Подсчитать сумму падений напряжений в левом (1) и правом (2) контурах схемы для всех трех опытов. Результаты внести в табл. 1.3 и сравнить их с соответствующими ЭДС в каждом из опытов.

**Таблица 1.3**

Опыт	ЭДС		Показания приборов			Результаты вычислений		
	$U_1$	$U_2$	$I_1$	$I_2$	$I_3$	$\sum IR (1)$	$\sum IR (2)$	$\sum I$
	В	В	мА	мА	мА	В	В	мА
1	$E_1$	0						
2	0	$E_2$						
3	$E_1$	$E_2$						
Расчет	$E_1$	$E_2$				<b>Проверка принципа наложения</b>		

3Сделать общие выводы по работе.

## РАБОТА 3

### **КОНДЕНСАТОР И КАТУШКА ИНДУКТИВНОСТИ В ЦЕПИ СИНУСОИДАЛЬНОГО ТОКА**

**Цель работы.** Научиться определять параметры конденсатора и катушки индуктивности, строить векторные диаграммы, а также проверить выполнение законов Кирхгофа в цепи синусоидального тока.

#### *Пояснения к работе*

Реальный конденсатор в отличие от идеального обладает некоторыми тепловыми потерями энергии из-за несовершенства изоляции. В расчетах электрических цепей такой конденсатор представляют обычно параллельной схемой замещения. Параметры этой схемы  $g$  и  $C$  можно определить экспериментально.

При параллельном соединении элементов  $g$  и  $C$  по законам Ома и Кирхгофа в комплексной форме для тока конденсатора имеем:

$$\underline{I}_2 = \underline{I}_g + \underline{I}_C = \underline{U} \underline{Y},$$

где  $\underline{Y} = g + jb_C = y e^{-j\varphi_2}$  – комплексная проводимость;  $g$  – активная,  $b_C = \omega C$  – емкостная,  $y$  – полная проводимости конденсатора;  $\varphi_2 = -\arctg(b_C/g)$  – угол сдвига фаз напряжения и тока конденсатора.

Напряжение на конденсаторе отстает по фазе от тока на угол  $\varphi_2$  и угол сдвига фаз  $-90^\circ < \varphi_2 < 0^\circ$  можно найти по векторной диаграмме.

Реальная катушка индуктивности также обладает тепловыми потерями в отличие от идеальной. Эквивалентную схему замещения такой катушки обычно представляют в виде последовательного соединения элементов  $R$  и  $L$ . И эти параметры можно экспериментально определить, используя показания приборов и векторную диаграмму.

При последовательном соединении элементов  $R$  и  $L$  по законам Ома и Кирхгофа в комплексной форме напряжение катушки равно:

$$\underline{U}_1 = \underline{U}_R + \underline{U}_L = \underline{I} \underline{Z},$$

где  $\underline{Z} = R + jX_L = z e^{+j\varphi_1}$  – комплексное сопротивление;  $R$  – активное,  $X_L = \omega L$  – индуктивное,  $z$  – полное сопротивление катушки;  $\varphi_1 = \arctg(X_L/R)$  – угол сдвига фаз напряжения и тока.

Ток в катушке отстает по фазе от напряжения на угол  $\varphi_1$  и угол сдвига фаз  $0^\circ < \varphi_1 < 90^\circ$  можно также найти по векторной диаграмме.

### Подготовка к работе

1. Какие физические явления отражают в схеме замещения конденсатора элементы  $g$  и  $C$ , а в схеме замещения катушки индуктивности – элементы  $R$ ,  $L$ ?

2. Что такое активная, емкостная, индуктивная, реактивная, полная проводимости? Как они связаны между собой?

3. Что такое активное, емкостное, индуктивное, реактивное, полное сопротивления? Как они связаны между собой?

4. В каких пределах может изменяться угол сдвига фаз напряжения и тока на входе пассивного двухполюсника?

5. Записать уравнение первого закона Кирхгофа для схемы рис. 3.1 и уравнение второго закона для схемы рис. 3.2 как для мгновенных, так и для комплексных значений токов и напряжений.

### Схемы электрических цепей

Схемы активно-емкостной и активно-индуктивной цепей, исследуемые в работе, показаны на рис. 3.1 и 3.2 соответственно.

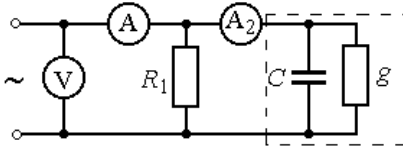


Рис. 3.1

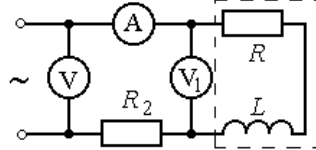


Рис. 3.2

Пунктиром в них обведены конденсатор с параметрами  $g$ ,  $C$  и катушка индуктивности с параметрами  $R$ ,  $L$ . Обе цепи питаются от источника синусоидального напряжения, частоту  $f$  и действующее значение напряжения  $U$  которого можно регулировать. Величины  $U$  и  $f$ , а также параметры схем выбирают из табл. 3.1, согласно указанному преподавателем варианту. Измерения действующих значений токов и напряжений выполняются амперметрами с пределом 200 мА и вольтметрами с пределом 20 В.

### Программа работы

#### А) Исследование активно-емкостной цепи

*Программа работы*

1. Собрать цепь по схеме рис. 3.1 с параметрами согласно варианту, указанному преподавателем (табл. 3.1).

**Таблица 3.1**

Вариант		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$U$	В	4	4,5	5	4	4,5	5	4,5	4	4,5	5
$f$	Гц	500	1000	2000	1000	500	500	1000	2000	1000	500
$R_1$	Ом	330	150	100	220	470	680	470	220	330	470
$C$	мкФ	1	1	1	1	1	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47
$R_2$	Ом	680	680	1000	1000	470	220	220	470	470	150
$L$	мГн	100	100	100	100	100	40	40	40	40	40

2. Установить необходимые частоту и напряжение источника и записать показания приборов и параметры схемы в табл. 3.2 (величину сопротивления  $R_1$  уточнить измерением омметром).

**Таблица 3.2**

$f = \dots$ Гц; $\omega = 2\pi f = \dots$ рад/с; $R_1 = \dots$ Ом; $C = \dots$ мкФ										
Данные опыта			Результаты расчета							
$U$	$I$	$I_2$	$I_1$	$\varphi_2$	$g$	$C$	$I$	$I_2$	$I_1$	$I_1 + I_2$
В	мА	мА	мА	град	См	мкФ	мА	мА	мА	мА

3. Вычислить ток в сопротивлении  $R_1$ :  $I_1 = U/R_1$ . Записать его величину в табл. 3.2. Выбрать масштаб векторов токов  $m_1$  (мА/мм). Принять начальную фазу входного напряжения равной нулю:  $\underline{U} = U$ . Построить  $\underline{U}$  и  $\underline{I}_1$  на комплексной плоскости вдоль оси вещественных чисел. Они совпадают по фазе. Дополнить остальными двумя токами лучевую диаграмму. Векторы  $\underline{I}_1$  и  $\underline{I}_2$  образуют при сложении параллелограмм, диагональю которого является ток  $\underline{I}$  (все векторы токов строятся в одном масштабе  $m_1$ ). Вершину этого параллелограмма можно найти с помощью засечек циркулем. Угол  $\varphi_2$ , на который ток  $\underline{I}_2$  опережает входное напряжение, также внести в табл. 3.2. Пример векторной диаграммы показан на рис. 3.3.

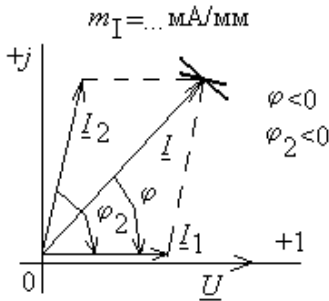


Рис. 3.3

4. Подсчитать параметры конденсатора  $g$  и  $C$ . Сравнить рассчитанное значение  $C$  с величиной емкости, установленной в схеме. Результаты этих вычислений внести в табл. 3.2, причем

$$g = \frac{I_2}{U} \cdot \cos \varphi_2; \quad C = \frac{I_2}{\omega U} \cdot |\sin \varphi_2|.$$

5. Записать в табл.3.2, исходя из векторной диаграммы, числовые значения комплексов действующих значений токов в показательной форме  $\underline{I} = I e^{-j\varphi}$ ,  $\underline{I}_2 = I_2 e^{-j\varphi_2}$ ,  $\underline{I}_1 = I_1 e^{j0^\circ}$ , например,  $\underline{I} = 28.3e^{j56^\circ}$  и проверить выполнение первого закона Кирхгофа в комплексной форме. Для этого подсчитать  $\sum \underline{I} = \underline{I}_1 + \underline{I}_2$  и сравнить результат со значением  $\underline{I}$ , полученном в эксперименте.

## Б) Исследование активно-индуктивной цепи

### Программа работы

1. Собрать электрическую цепь по схеме, показанной на рис. 3.2 с параметрами, соответствующими варианту из табл. 3.1, который указан преподавателем.

2. Установить требуемые значения  $U$  и  $f$ . Параметры цепи и показания приборов записать в табл. 3.3 (величину сопротивления  $R_2$  уточнить измерением омметром).

Таблица 3.3

$f = \dots \text{Гц}; \quad \omega = 2\pi f = \dots \text{рад/с}; \quad R_2 = \dots \text{Ом}; \quad L = \dots \text{мГн}$										
Данные опыта			Результаты расчета							
$U$	$I$	$U_1$	$U_2$	$\varphi_1$	$R$	$L$	$\underline{U}$	$\underline{U}_1$	$\underline{U}_2$	$\underline{U}_1 + \underline{U}_2$
В	мА	В	В	град	Ом	мГн	В	В	В	В

3. Вычислить напряжение на сопротивлении  $R_2$ :  $U_2 = IR_2$ . Записать его величину в табл. 3.3. Выбрать масштаб векторов напряжений  $m_U$  (В/мм). Принять начальную фазу тока равной нулю:  $\underline{I} = I$ . Отложить  $\underline{I}$  и  $\underline{U}_2$  на комплексной плоскости вдоль оси абсцисс. Дополнить топографическую диаграмму напряжений векторами  $\underline{U}_1$  и  $\underline{U}$  (все векторы напряжений строятся в одном масштабе  $m_U$ ). Векторы напряжений образуют треугольник, одна из вершин которого лежит в начале координат, а найти другую можно с помощью засечек, сделанных циркулем. Пример векторной диаграммы показан на рис. 3.4.

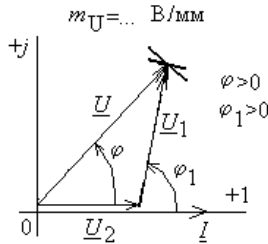


Рис. 3.4

4. Найти из диаграммы угол  $\varphi_1$  между током и напряжением на катушке и вычислить параметры катушки  $R, L$ . Найденную величину  $L$  сравнить со значением, установленным в схеме. Результаты вычислений внести в табл. 3.3, причем

$$R = \frac{U_1}{I} \cdot \cos \varphi_1; \quad L = \frac{U_1}{\omega I} \cdot \sin \varphi_1.$$

5. На основании диаграммы записать числовые значения комплексных действующих значений напряжений в показательной форме

$$\underline{U} = Ue^{j\varphi}, \underline{U}_1 = U_1e^{j\varphi_1}, \underline{U}_2 = U_2e^{j0^\circ}, \text{ например, } \underline{U} = 4.5e^{j64^\circ}$$

и проверить выполнение второго закона Кирхгофа. Для этого подсчитать  $\Sigma \underline{U} = \underline{U}_1 + \underline{U}_2$  и сравнить результат со значением  $U$ , полученном в эксперименте.

6. Сделать общие выводы по работе.

## Список литературы

1. Демирчян К.С., Нейман Л.Р., Коровкин Н.В., Чечурин В.Л. Теоретические основы электротехники: В 3 томах. – СПб.: Питер, 2003. – Том 1. – 463 с.
2. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники. Электрические цепи. – М.: Высшая школа, 1996. – 638 с.
3. Зевеке Г.В., Ионкин П.А., Нетушил А.Д., Страхов С.В. Основы теории цепей. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 528 с.