



Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования  
«Гомельский государственный технический  
университет имени П. О. Сухого»

Кафедра «Теоретические основы электротехники»

## **ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА**

**ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ  
по одноименному курсу  
для студентов специальностей  
1-43 01 03 «Электроснабжение»  
и 1-53 01 05 «Автоматизированные электроприводы»**

**Электронный аналог печатного издания**

**Гомель 2007**

УДК 621.317(075.8)  
ББК 31.221я73  
И74

*Рекомендовано к изданию научно-методическим советом  
энергетического факультета ГГТУ им. П. О. Сухого  
(протокол № 4 от 08.12.2005 г.)*

Авторы-составители: *С. А. Грачев, Я. О. Шабловский*

Рецензент: канд. тех. наук, доц. каф. «Электроснабжение»  
ГГТУ им. П. О. Сухого *О. Г. Широков*

**И74 Информационно-измерительная техника** : лаб. практикум по одним курсу для студентов специальностей 1-43 01 03 «Электроснабжение» и 1-53 01 05 «Автоматизированные электроприводы» / авт.-сост.: С. А. Грачев, Я. О. Шабловский. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2007. – 45 с. – Систем. требования: PC не ниже Intel Celeron 300 МГц ; 32 Mb RAM ; свободное место на HDD 16 Mb ; Windows 98 и выше ; Adobe Acrobat Reader. – Режим доступа: <http://gstu.local/lib>. – Загл. с титул. экрана.

ISBN 978-985-420-558-8.

Содержит описание лабораторных работ по измерению токов и напряжений в цепях постоянного и однофазного переменного тока, по определению сопротивлений емкостей и индуктивностей, а также по исследованию фазовых соотношений между напряжением и током.

Для студентов специальностей 1-43 01 03 «Электроснабжение» и 1-53 01 05 «Автоматизированные электроприводы».

**УДК 621.317(075.8)  
ББК 31.221я73**

**ISBN 978-985-420-558-8**

© Грачев С. А., Шабловский Я. О.,  
составление, 2007  
© Учреждение образования  
«Гомельский государственный технический  
университет имени П. О. Сухого», 2007

## ВВЕДЕНИЕ

Основным элементом лабораторного практикума является универсальный стенд УИЛС-1. Как показал опыт постановки лабораторно-практических занятий с использованием стендов и соответствующего методического обеспечения, удастся успешно решить вопросы фронтального проведения лабораторных работ без увеличения имеющихся площадей, повышения методического уровня и культуры занятий, уменьшения энергопотребления, более полного обеспечения требований правил техники безопасности и др. Стенд открывает возможность успешно внедрять новую перспективную форму обучения, предусматривающую чередование расчетов электрических схем с проводимыми экспериментами и ориентированную, в основном, на самостоятельную работу студента под контролем преподавателя.

## ПРАВИЛА ТЕХНИКИ БЕЗОПАСНОСТИ В ЛАБОРАТОРИЯХ КАФЕДРЫ ТОЭ

Лабораторные стенды УИЛС-1 являются действующими электроустановками и при определенных условиях могут стать источником опасности поражения электрическим током. Тело человека обладает свойством электропроводности, и при соприкосновении с токоведущими частями установки, находящейся под напряжением, оно становится звеном электрической цепи. Возникающий в теле человека электрический ток может вызвать ожог кожи (электрическую травму) или нанести тяжелые поражения нервной, сердечной и дыхательной системам организма (электрический удар).

Установлено, что как постоянный, так и переменный электрические токи при определенных условиях и величине 0,05 А являются опасными, а при величине 0,1 А – смертельными. Поэтому следует всегда помнить о возможности поражения электрическим током и выполнять следующие правила:

1. Сборку электрической цепи следует производить только при *отключенных* источниках питания.
2. Перед включением электрических цепей под напряжением переключатели пределов измерительных приборов необходимо *установить* на значения, *превышающие* расчетные электрические величины.

3. Включение источников энергии разрешается лишь после *проверки* преподавателем правильности собранных электрических цепей.

4. При сборке электрических цепей необходимо обеспечить высокую *плотность* контактов всех разъемных соединений. Неиспользованные провода следует *убрать* со стола в отведенное для них место.

5. Убедитесь в *исправности* изоляции и *целостности* соединительных проводов. Не пользуйтесь проводами без штырей.

6. Все *переключения*, выполняемые по ходу работы (переключение или отключение отдельных элементов цепи, изменение пределов измерения и т. п.), или *разборка* цепи под напряжением категорически *запрещаются*.

7. Помните, что отключенный конденсатор может сохранять *опасный* остаточный заряд и не забывайте разрядить его до включения в цепь.

8. *Не прикасайтесь* к неизолированным элементам соединительных и коммутационных устройств, находящихся под напряжением.

9. Особую *осторожность* соблюдайте при исследовании участков цепей с *последовательным* соединением катушек индуктивности и конденсаторов.

10. Обнаружив любую неисправность в стенде (нагрев резисторов, катушек; отклонение стрелок за пределы шкалы), находящемся под напряжением, немедленно *отключите* сеть и *сообщите* об этом преподавателю.

В случае *поражения* электрическим током следует немедленно *отключить* установку от сети, *освободить* пострадавшего от действия электрического тока и *поставить* в известность о случившемся преподавателя.

К проведению лабораторных работ допускаются студенты, знающие правила техники безопасности и расписавшиеся в специальном журнале. Инструктаж по технике безопасности проводит преподаватель.

*Ответственность* за соблюдение правил техники безопасности возлагается на *студентов*, работающих в лаборатории, а *контроль* за их выполнением ведется *преподавателями* и сотрудниками кафедры, участвующими в проведении лабораторных занятий.

## **ТРЕБОВАНИЯ К ПОДГОТОВКЕ, ВЫПОЛНЕНИЮ, ОФОРМЛЕНИЮ И ЗАЩИТЕ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ**

Студент, выполняющий ЛР по курсу ТОЭ, обязан хорошо знать теоретические вопросы по теме ЛР, программу и методику проведения эксперимента. Студент должен проводить работу сознательно, критически оценивая полученные результаты, быть готовым к обработке результатов эксперимента в лаборатории.

Степень подготовки студента к выполнению работы устанавливается преподавателем в виде собеседования во время занятия.

Основные этапы работы студента следующие:

1. Подготовка к выполнению ЛР и к собеседованию.
2. Собеседование-допуск.
3. Выполнение ЛР.
4. Обработка экспериментальных данных и анализ полученных результатов.
5. Оформление отчета и его защита.

### **1. Подготовка к выполнению лабораторных работ**

Выполнению работы должны предшествовать:

- изучение теоретических вопросов (по литературе, указанной в описании работы, по лекциям, по задачам, рассмотренным на практических занятиях);
- изучение описания ЛР;
- составление рабочего бланка отчета (студент должен иметь тетрадь в клеточку на 24...48 листов).

В рабочем бланке отчета следует:

1. Составить для каждого пункта рабочего задания электрические схемы проведения эксперимента с необходимыми измерительными приборами.
2. Подготовить необходимые таблицы для записи показаний приборов и вычисляемых по ним величин, предусмотрев специальную графу для записи единиц измерений.

*Примечание.* Так как заранее нельзя предвидеть необходимое число опытных данных и иногда приходится зачеркивать неправильные данные и опыт повторять снова, то следует заготавливать таблицы протокола с возможностью их продолжения.

3. Указать пути обработки экспериментальных данных для решения поставленной задачи (привести соответствующие расчетные

формулы, показать качественно графические построения, векторные диаграммы и т. д.).

4. Снабдить электрические схемы экспериментов и таблицы заголовками, кратко и четко указывающими сущность опытов.

Рабочий бланк отчета составляется каждым студентом отдельно и представляется преподавателю для собеседования по допуску к выполнению ЛР. Для обработки экспериментальных данных студент должен иметь в лаборатории миллиметровку, кальку (если предполагается снятие изображения с экрана осциллографа), линейку, циркуль, счетный инструмент (микрокалькуляторы).

## **2. Собеседование-допуск**

Собеседование-допуск проводится в часы занятий в лаборатории перед выполнением экспериментальной части работы. Во время собеседования студент должен ответить на вопросы преподавателя по существу предстоящей работы, технике эксперимента, расчетной части и пр.

## **3. Выполнение лабораторных работ**

Перед сборкой электрической цепи студент должен ознакомиться с имеющейся на стенде измерительной аппаратурой и сопоставить ее с намеченной схемой эксперимента.

Сборку электрической цепи надо начинать с ее токовой части, включая в каждую ветвь перемычку для замены ее при измерении тока амперметром. Провода от вольтметров и обмоток напряжения ваттметров и фазометров присоединяются к соответствующим точкам цепи в последнюю очередь.

Перед включением источника питания необходимо убедиться в правильности собранной схемы, показав ее для проверки преподавателю.

Не производя запись показаний приборов, следует убедиться экспериментально в возможности получить заданные пределы изменения режима испытуемого объекта, определить качественно характер исследуемой зависимости и установить диапазоны изменения измеряемых величин. На основании этого предварительного эксперимента выбрать интервалы, через которые следует производить запись показаний приборов на различных участках исследуемой зависимости. При проведении опыта убедиться в том, что по точкам, полученным на основании измерений, можно построить кривую исследуемой

зависимости со всеми ее характерными особенностями (максимумы, минимумы и т. д.). Обычно для получения исследуемых зависимостей достаточно предусмотреть измерения для 6...8 различных режимов.

При записи показаний приборов нужно обязательно указывать единицы измеряемых величин. Если цена делений прибора непосредственно на шкале не указана, то ее нужно указать. Для каждого режима в этом случае записываются две цифры – число делений по шкале прибора и вычисленное по цене делений значение измеряемой величины. Приборы с неравномерной шкалой непригодны для проведения измерений в начальной части шкалы – между нулевым и первым делением.

Все записи делать ручкой, четко и аккуратно. Если при измерении допущена ошибка, то неправильные результаты зачеркиваются и записываются новые значения.

Как правило, оформление отчета должно проводиться в лаборатории в часы лабораторных занятий. По окончании каждой части работы, до разборки цепи, следует оценить правильность полученных результатов, обработать данные эксперимента и представить этот материал преподавателю для проверки, а по окончании всей (или части) работы представить рабочую тетрадь преподавателю для визирования и отметки в групповом журнале.

Представление для визирования неряшливо оформленных записей не допускается.

#### **4. Обработка экспериментальных данных и анализ полученных результатов**

Отчет в целом должен быть составлен таким образом, чтобы для понимания содержания и результатов проведенной работы не требовалось никаких устных пояснений.

Рекомендации по обработке результатов эксперимента:

1. Графические зависимости рекомендуется наносить на координатных сетках размером не менее 75x75 мм. По осям надо указать отдельно стандартные условные обозначения величин и единиц измерения. На осях указать деления с одинаковыми интервалами (масштаб), соответствующие откладываемым величинам в указанных единицах измерений. Величина, являющаяся аргументом, указывается *над* осью абсцисс, а единица этой величины – *под* осью; функция указывается *справа*, а ее единица – *слева* от оси ординат.

При изображении на одном графике зависимостей нескольких различных величин надо строить дополнительные шкалы параллельно основным (рис. 1). На графиках следует четко показать все точки, соответствующие экспериментальным данным (отметить крестиками), учитывающим погрешность измерения (рис. 2). Вычерчивать графики необходимо различными цветными карандашами.

2. Векторные диаграммы, строящиеся по опытным данным, выполняются карандашом в масштабе, который указывается рядом с диаграммой, например:  $m_U = 10 \text{ В/мм}$ ;  $m_I = 1 \text{ мА/см}$ .

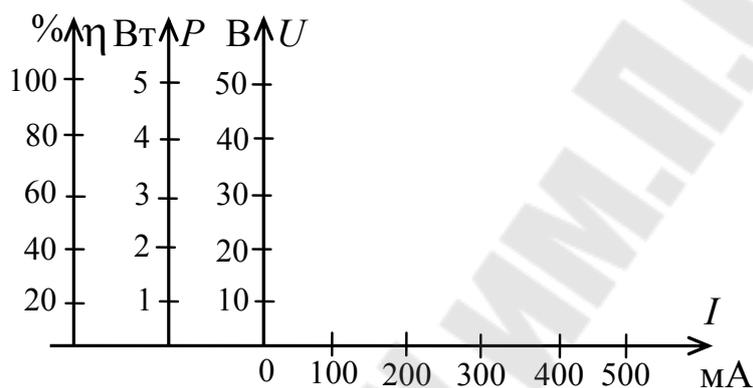


Рис. 1. График зависимостей

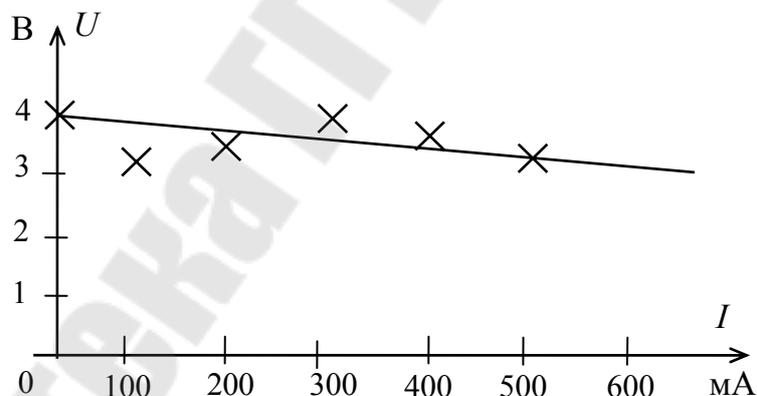


Рис. 2. График зависимостей, учитывающий погрешности измерения

3. Расчеты, графики и диаграммы снабжаются наименованиями, ссылками на разделы и пункты отчета и на порядковые номера записей отсчетов по приборам.

4. Анализ полученных в работе результатов заключается в сопоставлении теоретических расчетов с результатами эксперимента, в объяснении имеющих место расхождений теории и практики и др.

## 5. Оформление отчета и защита лабораторных работ

Отчет оформляется на листах из школьной тетради в клеточку или листах формата А4 (210x297). Отчет содержит титульный лист (см. образец 1) и такие разделы:

1. Цель работы.
2. Краткие сведения об эксперименте (программа).
3. Схемы замещения исследуемых электрических цепей.
4. Перечень приборов и элементов.
5. Расчетные формулы и вычисления.
6. Результаты исследований (таблицы, графики, векторные диаграммы и т. д.).
7. Выводы.

Страницы отчета оформляются с нумерацией страниц (см. образец 2), титульный лист не нумеруется.

Весь отчет в целом должен быть оформлен аккуратно.

В процессе защиты проверяется знание студентом техники проведения эксперимента, понимание результатов эксперимента и его анализа, а также знание основных вопросов теории, связанных с тематикой расчетно-лабораторной работы.

К *следующей ЛР* студенты представляют оформленные отчеты по *проделанной предыдущей* работе.

↕ 5 мм

Министерство образования Республики Беларусь  
Учреждение образования  
«Гомельский государственный технический университет  
им. П. О.Сухого»

Кафедра ТОЭ

**ОТЧЕТ**

по лабораторной работе № 1.01  
«Электрическая цепь постоянного тока и ее элементы»

Стенд № \_\_\_\_\_

Вариант № \_\_\_\_\_

Выполнил студент гр. Э-21  
Иванов И. И.  
(дата)

принял преподаватель  
Петров П. Н.  
(дата)

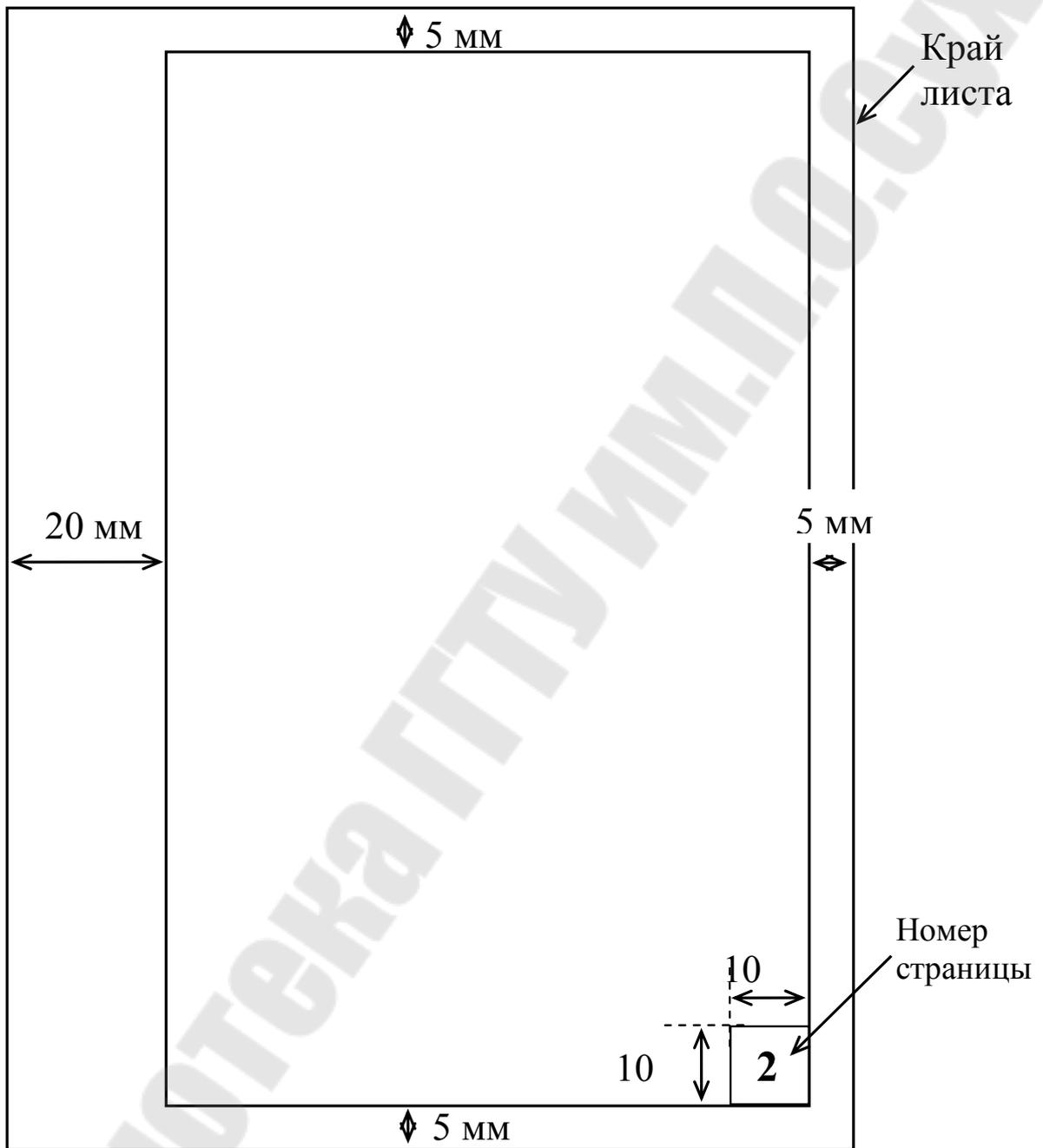
Гомель 2007

↕ 5 мм

← 20 мм

↕ 5 мм

Образец 2



## Описание стенда УИЛС-1

Стенд УИЛС-1 ориентирован на студентов, начинающих изучение электротехники. В основу его конструкции положен принцип физического моделирования электрических цепей. К отличительным особенностям стенда относятся *простота* обращения с его блоками и элементами, *наглядность* при сборе электрических цепей и соответствующая *легкость* контроля, *прямой контакт* студента с реальными элементами, «*студентоустойчивость*» отдельных блоков, *безопасность* работы на стенде, ограниченный набор универсальных стандартных приборов, необходимых для выполнения всего лабораторного практикума.

Стенд включает в себя *пульт*, набор элементов и соединительных проводов и лабораторный *стол* (рис. 3).

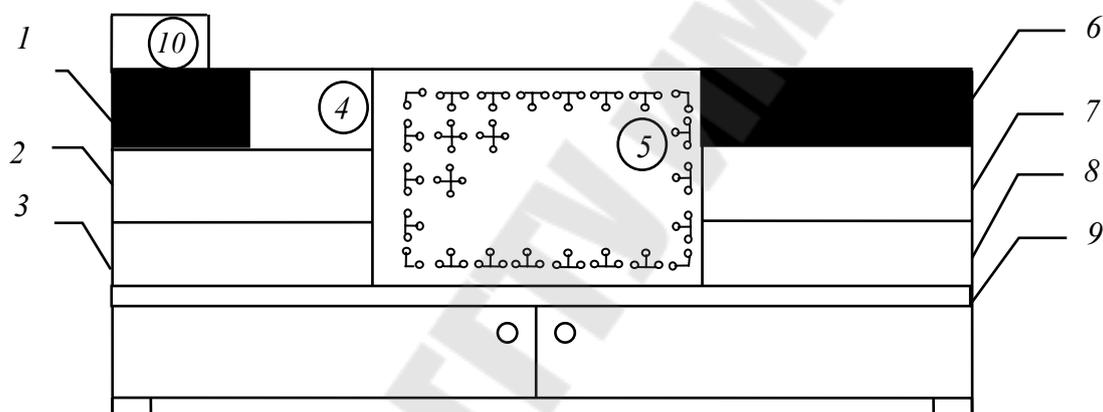


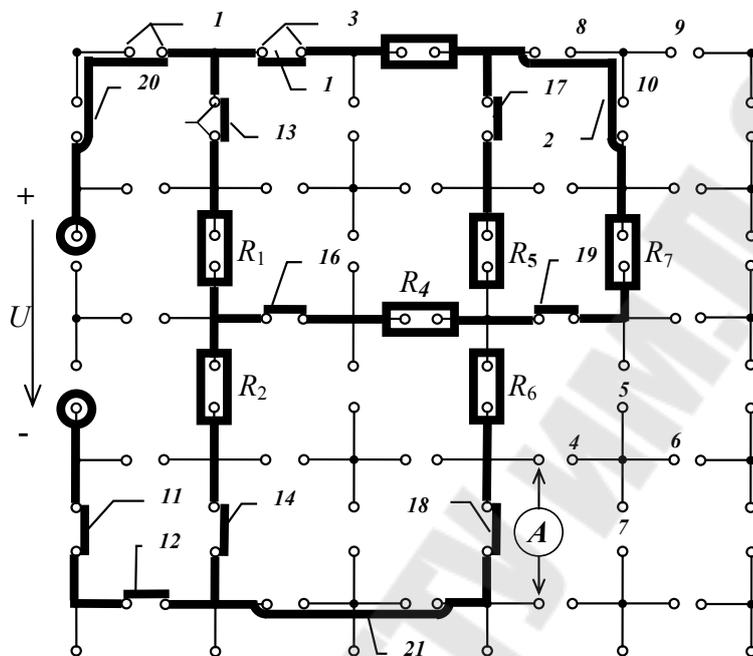
Рис. 3. Схема стенда УИЛС-1:

- 1 – блок постоянных напряжений; 2 – блок переменного напряжения;
- 3 – блок трехфазного напряжения; 4 – электронный ключ; 5 – наборное поле;
- 6 – блок переменного сопротивления; 7 – блок переменной индуктивности;
- 8 – блок переменной емкости; 9 – стол;
- 10 – ящик с элементами наборного поля и перемычками

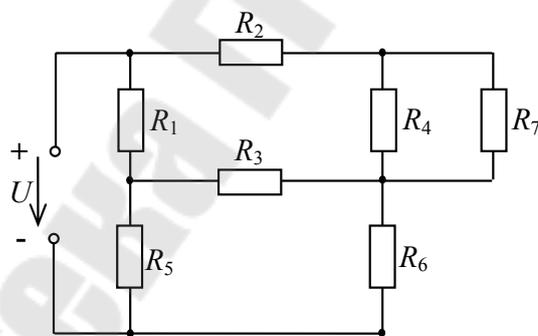
*Пульт* состоит из блоков источников напряжений (1, 2, 3), электронного ключа (4), наборного поля (5) и блоков регулируемых пассивных элементов (6, 7, 8). Источники напряжений и электронный ключ расположены в левой части пульта в трех находящихся один под другим съемных блоках.

*Наборное поле* (рис. 4, а), расположенное в центре пульта, представляет собой панель с 67 парами гнезд (пары 1, 2, 3 и т. д.), предназначенными для подключения элементов исследуемых электрических цепей. Гнезда соединены между собой электрически, образуя узлы

(гнезда 4, 5, 6, 7 или 8, 9, 10). Такая конструкция наборного поля позволяет быстро и с минимальным количеством ошибок собрать, используя заданные элементы и соединительные перемычки, исследуемую электрическую цепь, внешний вид которой аналогичен схеме замещения (рис. 4, б). Такая наглядность при сборке цепей играет исключительно важную роль, особенно на начальной стадии изучения электротехники.



а)



б)

Рис. 4. Электрическая цепь на наборном поле (а) и ее схема замещения (б)

Блок переменного сопротивления расположен справа от наборного поля в верхней части (рис. 3, поз. б, заштрихован). Он позволяет получить на выходе  $R_4$  (рис. 5) сопротивление в диапазоне  $1 \dots 999 \Omega$  со степенью регулирования  $1 \Omega$ . Допустимая мощность рассеивания –  $5 \text{ Вт}$ . Здесь же расположены резисторы  $R_1, R_2, R_3$  с одинаковыми по величине сопротивлениями и мощностью рассеивания –  $7,5 \text{ Вт}$ .

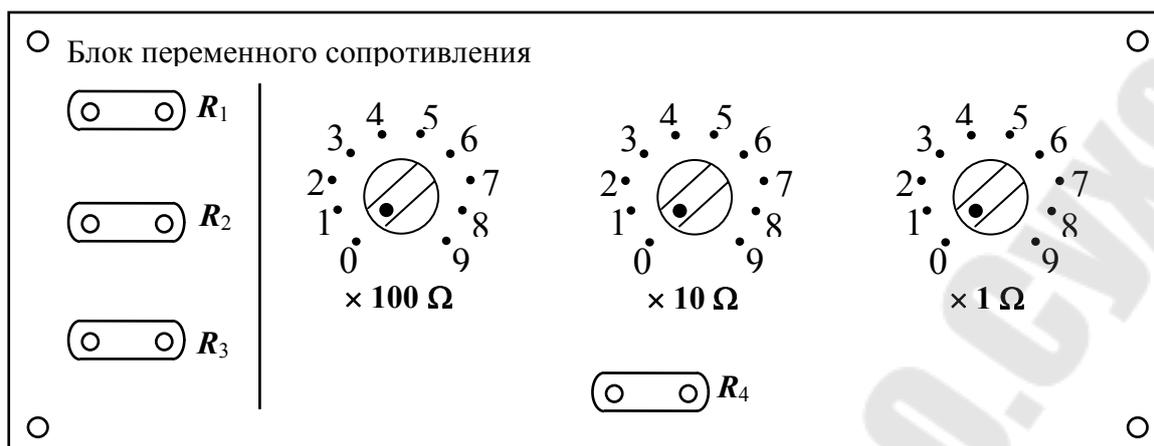


Рис. 5. Блок переменного сопротивления

Ящик с элементами наборного поля и переключками. Элементы выполнены в виде небольших пластмассовых прозрачных корпусов, внутрь которых впаяны стандартные элементы (резисторы, конденсаторы, диоды, лампочки и др.) или специально изготовленные (катушки, дроссели и др.). Каждый элемент имеет два штекера, с помощью которых он может быть установлен на наборном поле (рис. 4, а, элементы  $R_1 \dots R_7$ ). Переключки (10 шт.) (рис. 4, а, 11...19) используются для соединения гнезд одной пары. Кроме этого, подключая параллельно им амперметр, возможно одним и тем же прибором произвести измерения токов в разных ветвях электрической цепи, например, рис. 4, а, переключка 18 и амперметр (А). При измерении величины тока переключка убирается и ток проходит через измерительный прибор. Набор соединительных проводов (18 шт.) (например, рис. 4, а, поз. 20, 21), предназначенных для подключения к наборному полю источников энергии, элементов, приборов и т. д.

Для выполнения ЛР по разделу «Электрические цепи постоянного тока» используется блок постоянных напряжений, расположенный слева в верхней части пульта (рис. 3, поз. 1, заштрихован).

Блок постоянных напряжений (рис. 6) содержит источник регулируемого стабилизированного напряжения (ИР) 0...25 В и источник нерегулируемого напряжения (ИН) 20 В. На лицевой панели блока находятся:

- тумблер «Сеть» и контрольная лампа 1 включения источника питания;
- выход ИН (20В) и ИР 4 источников питания;
- вольтметр и амперметр, контролирующие выход ИР;
- ручка 7 регулировки напряжения ИР.

Оба источника снабжены электронной защитой, отключающей источники при превышении током нагрузки значения 0,5 А. При этом загорается сигнальная лампочка 2 (отключение ИН) или 5 (отключение ИР). После устранения причин перегрузки источников следует нажать кнопку 3 (ИН) либо 6 (ИР) соответственно.

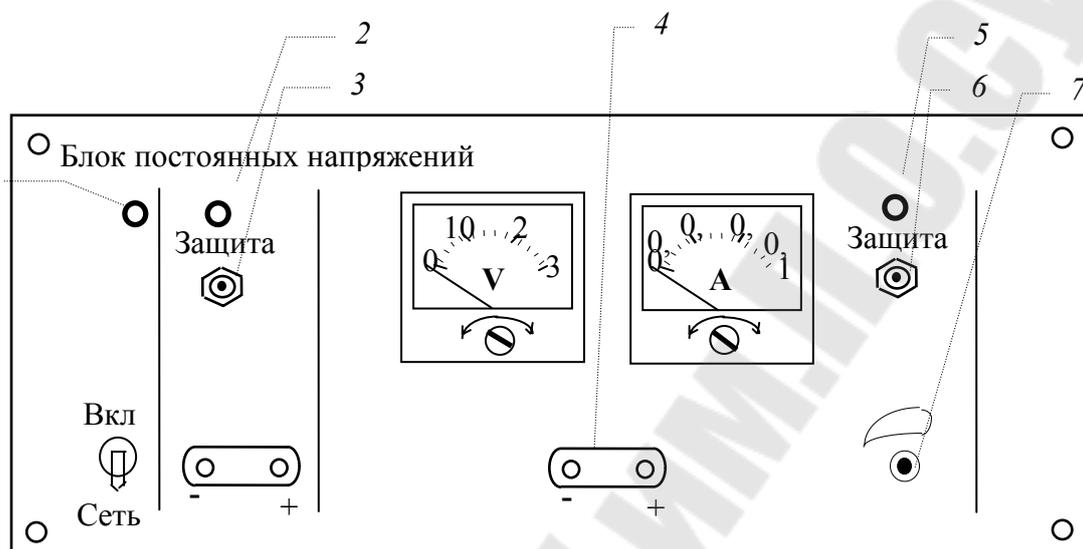


Рис. 6. Блок постоянных напряжений

## Лабораторная работа № 1

### Измерение постоянных токов и напряжений комбинированными многопредельными приборами

**Цель работы:** приобретение навыков измерения токов и напряжений.

#### Краткие сведения из теории

При измерении силы тока в ветви электрической цепи измерительный прибор (*амперметр*) включают в разрыв этой ветви.

При измерении напряжения на каком-либо участке электрической цепи измерительный прибор (*вольтметр*) включают параллельно этому участку.

При измерениях в цепях постоянного тока подключение приборов требует соблюдения полярности. У прибора Ц 4311 гнездо для подключения к точке с меньшим электрическим потенциалом помечено знаком «\*». У прибора М 2044 аналогичное гнездо помечено знаком «-».

Многие электрические приборы являются комбинированными: в зависимости от выбранного пользователем режима работы такие приборы могут измерять несколько различных электрических величин. Наиболее распространенными комбинированными электроизмерительными приборами являются *вольтамперметры* – приборы для измерения силы тока и напряжения.

Всякий измерительный прибор имеет *предел измерения* – наибольшее значение измеряемой величины, на которое он рассчитан. У аналоговых приборов предел измерения соответствует предельному значению, нанесенному на шкалу (т. е. предельному отклонению стрелки прибора).

Обычно электроизмерительные приборы являются многопредельными: такие приборы имеют несколько различных пределов измерения, что позволяет проводить измерения в диапазоне значений. Например, вольтметр Ц 4311 имеет:

14 пределов измерения по постоянному току (0,3 мА, 0,75 мА, 1,5 мА, 3 мА, 7,5 мА, 15 мА, 30 мА, 75 мА, 150 мА, 300 мА, 750 мА, 1,5 А, 3 А, 7,5 А);

13 пределов измерения по постоянному напряжению (75 мВ, 150 мВ, 300 мВ, 0,75 В, 1,5 В, 3 В, 7,5 В, 15 В, 30 В, 75 В, 150 В, 300 В и 750 В);

11 пределов измерения по переменному току (3 мА, 7,5 мА, 15 мА, 30 мА, 75 мА, 150 мА, 300 мА, 750 мА, 1,5 А, 3 А, 7,5 А);

10 пределов измерения по переменному напряжению (0,75 В, 1,5 В, 3 В, 7,5 В, 15 В, 30 В, 75 В, 150 В, 300 В и 750 В).

Для выбора необходимого предела измерений достаточно нажать соответствующую кнопку на лицевой панели прибора Ц 4311.

Вольтамперметр М 2044 также является многопредельным, но выбор предела измерений при работе с этим прибором производится иначе. Если установленный при переключении правой ручки прибора предел измерений необходимо увеличить в 2 раза, то левый переключатель нужно перевести в положение «×2»; для увеличения предела измерений в 4 раза необходимо перевести левый переключатель в положение «×4». Если же увеличение предела измерений не требуется, то левый переключатель переводят в положение «×1». При этом выбор предела измерений по току либо по напряжению одновременно обеспечивает выбор соответствующего режима работы прибора М 2044: измерение постоянного тока либо постоянного напряжения.

Вольтамперметр Ц 4311, в отличие от М 2044, способен измерять не только постоянные, но и переменные ток и напряжение. Поэтому при работе с прибором Ц 4311 необходим выбор режима работы, производимый дополнительным нажатием соответствующей кнопки.

Помимо предела измерений всякий аналоговый измерительный прибор имеет цену деления – разность значений измеряемой величины, соответствующих двум соседним отметкам шкалы прибора. Проведение измерений аналогичными приборами всегда начинается с определения цены деления.

Для многопредельных приборов цена деления шкалы определяется по формуле:

$$c = \frac{L}{N}, \quad (1.1)$$

где  $L$  – выбранный пользователем предел измерений;

$N$  – полное число делений шкалы.

Зная цену деления шкалы прибора при выбранном пределе измерений, на основании показания стрелки прибора определяют значение измеряемой величины по формуле:

$$x = c \cdot y, \quad (1.2)$$

где  $x$  – значение измеряемой величины;

$y$  – показание стрелки ( $y \leq N$ ).

Из формул (1.1) и (1.2) хорошо видно, что для точного измерения важен выбор предела измерений. Обычно аналоговые приборы обеспечивают *наибольшую возможную точность измерений*, когда стрелка прибора занимает *положение в средней части* («во второй трети») шкалы. В большинстве случаев значение измеряемой величины заранее неизвестно даже приблизительно (если только оно не было предварительно рассчитано). Поэтому при включении измерительного прибора в электрическую цепь вначале выбирают *наибольший предел измерения*, чтобы тем самым исключить выход прибора из строя. Если же выбранный предел измерений окажется чрезмерно велик и стрелка прибора отклонится незначительно, то предел измерений *последовательно уменьшают* до тех пор, пока стрелка займет положение в средней части шкалы.

Общей метрологической характеристикой средств измерений является *класс точности* прибора, определяющий допускаемый предел погрешности, возникающей в ходе измерений. Для обозначения классов точности используется следующий ряд чисел, выражающих пределы допускаемых абсолютных погрешностей:

$$1 \cdot 10^n; 1,5 \cdot 10^n; 2 \cdot 10^n; 2,5 \cdot 10^n; 4 \cdot 10^n; 5 \cdot 10^n,$$

где  $n = 1; 0; -1; -2; -3$  и т. д.

Число, обозначающее класс точности прибора, равно выраженному в процентах отношению предельной допускаемой абсолютной погрешности к *нормирующему значению*. Для измерительных приборов со шкалой, нулевая отметка которой находится на краю или вне шкалы, нормирующее значение равно *конечному значению диапазона измерений*.

Вольтметр также применяется для измерения *потенциалов точек* электрической цепи. При этом используется то обстоятельство, что потенциал всякой точки определяется относительно некоторой *опорной* («заземленной») *точки*, потенциал которой принимается *равным нулю*. Положительный потенциал равен напряжению между исследуемой точкой и заземленной точкой, поэтому перед началом измерений заземляемую точку соединяют с *гнездом вольтметра*, которое помечено знаком «\*» или «-». Если же потенциал исследуемой точки отрицателен, то для его измерения необходимо просто изменить полярность подключения, т. е. подключить гнездо «\* / -» к исследуемой точке.

Предел измерений имеющегося в наличии прибора (как однопредельного, так и многопредельного) может оказаться меньше измеряемой величины. Например, вольтамперметр М 2044 предназначен для измерения постоянных токов силой до 30 А и постоянных напряжений до 600 В. Для расширения предела измерений амперметра применяют *делитель тока*, а для расширения предела измерений вольтметра – *делитель напряжения*.

Промышленно изготавливаемые делители тока (шунты) представляют собой *четырёхзажимные резисторы* (см. рис. 1.1, а). Принцип работы делителя тока поясняет рис. 1.1, б. Если ток через измерительный механизм амперметра должен быть в  $n$  раз меньше измеряемого тока  $I_x$ , то для измерения такого тока параллельно амперметру присоединяют сопротивление

$$R_{\text{д}} = \frac{R_A}{n-1}, \quad (1.3)$$

где  $R_A$  – сопротивление измерительного механизма амперметра;

$n$  – отношение силы измеряемого тока к силе допустимого тока амперметра.

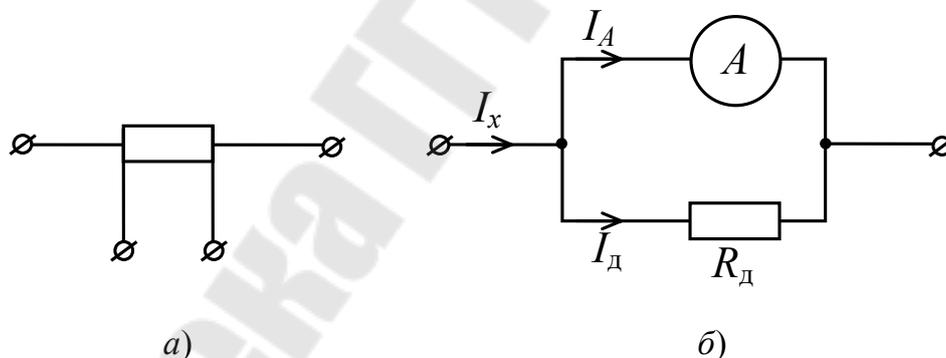


Рис. 1.1

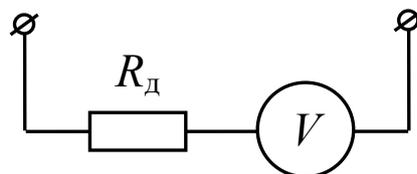


Рис. 1.2

Делители напряжения применяют при необходимости измерения напряжения, в  $m$  раз превосходящего напряжение, соответствующее

щего пределу измерений вольтметра. В этом случае последовательно с прибором включают добавочное сопротивление

$$R_d = K_V(m - 1), \quad (1.4)$$

где  $R_d$  – сопротивление измерительного механизма вольтметра;

$m$  – отношение измеряемого напряжения к величине допустимого напряжения вольтметра (см. рис. 1.2).

Делители тока как средство расширения верхнего предела измерений применяют преимущественно в цепях постоянного тока: при измерениях на переменном токе делители тока вносят дополнительную погрешность из-за неодинакового изменения сопротивления шунта и сопротивления измерительного механизма при изменении частоты тока. В то же время, делители напряжения используются как на постоянном, так и на переменном токе. В частности, делители напряжения применяются для расширения пределов измерения параллельных измерительных цепей ваттметров и фазометров.

### Порядок выполнения работы

1. Определите полное число делений шкалы прибора Ц 4311. По формуле (1.1) рассчитайте цену деления шкалы этого прибора для пределов измерений 7,5 мА; 30 мА; 75 мА; 150 мА и 300 мА. Результаты занесите в табл. 1.1. Аналогично определите цену деления этого прибора для пределов измерений 3 В; 7,5 В; 15 В; 30 В; 75 В и 150 В. Результаты занесите в табл. 1.1.

Таблица 1.1

#### Определение цены деления прибора Ц4311

№	Предел измерения силы тока						Предел измерения напряжения					
	7,5 мА	15 мА	30 мА	75 мА	150 мА	300 мА	3 В	7,5 В	15 В	30 В	75 В	150 В

2. Используя результаты выполнения п. 1, с помощью формулы (1.2) определите, каким должны быть показания вольтметра при пределах измерений 7,5 В; 15 В; 30 В; 45 В, если измеряемое напряжение равно 1 В. То же рассчитайте для случая, когда измеряемое напряжение равно 5 В. Результаты занесите в табл. 1.2.

Таблица 1.2

## Показание стрелки вольтметра

Измеряемое напряжение	Предел измерений			
	7,5 В	15 В	30 В	75 В
1 В				
5 В				

3. Установите напряжение регулируемого источника равным 5 В. Соберите электрическую цепь по схеме рис. 1.3, проведите измерения токов  $I_1, I_2, I_3, I_4, I_5$  и напряжений  $U_{ab}, U_{bc}, U_{cd}, U_{de}$ , используя прибор Ц 4311 в качестве амперметра, а прибор М 2044 – в качестве вольтметра (или наоборот). Приняв потенциал точки  $e$  равным нулю, измерьте потенциалы точек  $a, b, c$  и  $d$ . Результаты измерений занесите в табл. 1.3 и представьте для проверки преподавателю.

Таблица 1.3

Измерение токов, напряжений и потенциалов  
в цепи постоянного тока  $I$ 

$I_1,$ мА	$I_2,$ мА	$I_3,$ мА	$I_4,$ мА	$I_5,$ мА	$U_{ab},$ В	$U_{bc},$ В	$U_{cd},$ В	$U_{de},$ В	$\varphi_a,$ В	$\varphi_b,$ В	$\varphi_c,$ В	$\varphi_d,$ В

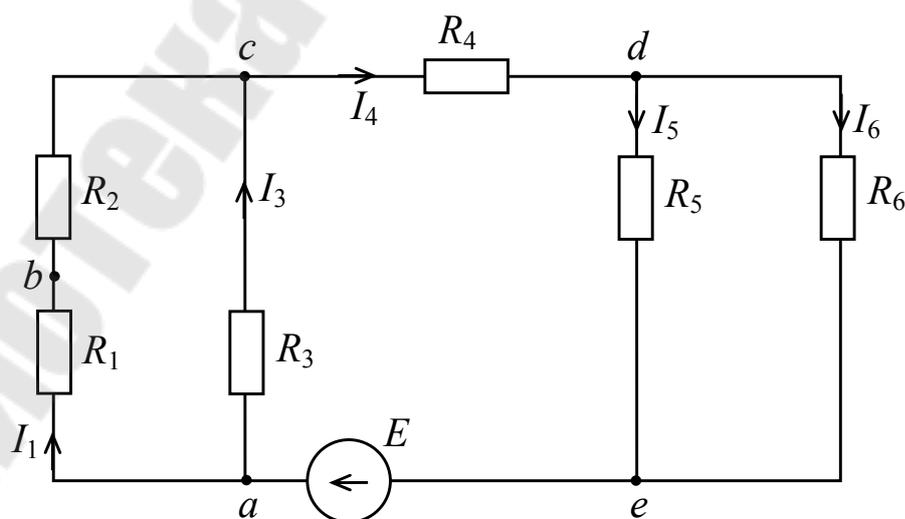


Рис. 1.3

## Контрольные вопросы

1. Какие электроизмерительные приборы называют комбинированными?
2. Что называется пределом измерений?
3. Как определить цену деления шкалы прибора?
4. Как влияет выбор предела измерений многопредельного прибора на цену деления его шкалы?
5. Как и для чего применяется в электрических измерениях делитель тока?
6. Как и для чего применяется в электрических измерениях делитель напряжения?
7. Как производится расчет делителя тока?
8. Как производится расчет делителя напряжения?

## Лабораторная работа № 2

### Измерение активных и реактивных сопротивлений

**Цель работы:** овладение методами измерения активных и реактивных сопротивлений.

#### Программа работы

1. Определить сопротивления элементов 02 и 05 методом замещения.
2. Определить сопротивления элементов 06 и 07 методом амперметра и вольтметра.
3. Определить сопротивление элемента 02 методом двух вольтметров.
4. Сделать выводы, сравнив результаты измерений активных сопротивлений различными методами.
5. Определить параметры емкостного и индуктивного элементов, измерив соответствующие реактивные сопротивления.
6. Сделать выводы, сравнив результаты измерения индуктивности двумя различными способами.

#### Краткие сведения из теории

Для точных (с погрешностью до 1 %) измерений сопротивления используют *электрические мосты* и *цифровые приборы*. Для более грубых измерений активных сопротивлений используют метод *амперметра и вольтметра*, метод *двух вольтметров* и метод *замещения*.

Метод замещения (МЗ) применяется в тех случаях, когда *не требуется* высокая точность измерения. Для осуществления измерений этим методом необходим *магазин сопротивлений*, которым замещают измеряемое неизвестное сопротивление  $R_x$ . Схема цепи для измерения сопротивления при помощи МЗ показана на рис. 2.1. Задав на входе такой цепи некоторое напряжение  $U$ , измеряют ток  $I$  через неизвестное сопротивление  $R_x$ . Затем между точками 1 и 2 вместо  $R_x$  включают магазин сопротивлений – переменное сопротивление  $R'$ , после чего измеряют ток  $I'$ , протекающий через сопротивление  $R'$  при том же напряжении  $U$ . Значение  $R'$ , соответствующее наименьшему расхождению величин  $I$  и  $I'$ , принимают за значение  $R_x$ .

Метод амперметра и вольтметра (МAB) основан на расчете измеряемого сопротивления  $R_x$  по результатам измерения силы тока

через резистор  $R_x$  и напряжения на этом резисторе. Достоинство измерительных схем этого метода (рис. 2.2) заключается в том, что по резистору  $R_x$  в ходе измерений можно пропускать такой же ток, как и при его работе в электрической цепи. Это чрезвычайно важно при измерениях нелинейных сопротивлений, значения которых зависят от силы тока.

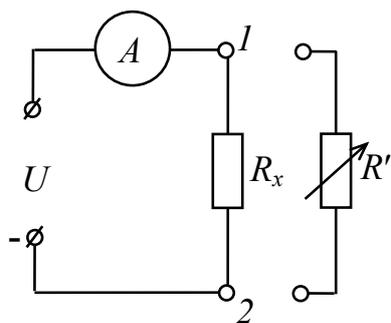


Рис. 2.1

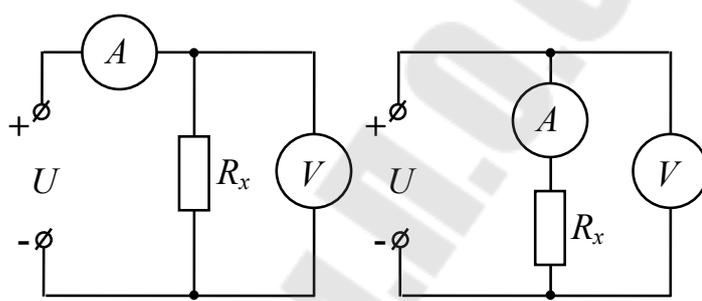


Рис. 2.2

Два способа проведения измерений при помощи МАВ показаны на рис. 2.2, а и 2.2, б. Для приближенного определения значения  $R_x$  достаточно разделить показание вольтметра  $U_V$  на показание амперметра  $I_A$ :

$$R_x \approx \frac{U_V}{I_A}, \quad (2.1)$$

Для определения значения  $R_x$  с высокой точностью приходится учитывать, что сопротивление вольтметра  $R_V < \infty$ , а сопротивление амперметра  $R_A > 0$ . При измерении малых сопротивлений ( $R_x \ll R_V$ ) используют схему рис. 2.2, а и формулу

$$R_x = \frac{U_V}{I_A - \frac{U_V}{R_V}}. \quad (2.2, a)$$

а при измерении больших сопротивлений ( $R_x \gg R_A$ ) используют схему рис. 2.2, б и формулу

$$R_x = \frac{U_V - I_A R_A}{I_A}. \quad (2.2, б)$$

Метод двух вольтметров (МДВ) применяется в тех случаях, когда измерение силы тока в цепях, показанных на рис. 2.2, по каким-либо причинам невозможно, но в наличии имеется резистор  $R_0$ , сопротивление которого известно. Тогда определение  $R_x$  можно осуществить двумя равноценными способами, показанными на рис. 2.3.

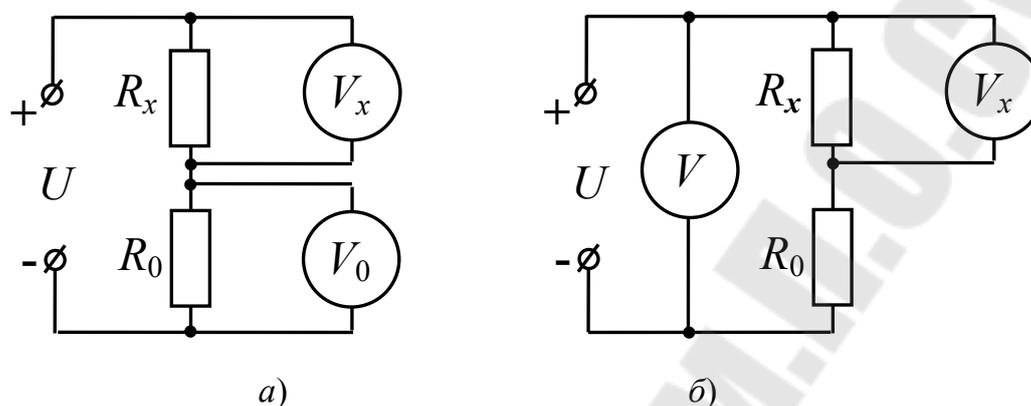


Рис. 2.3

Если обозначить  $U_x$  показание вольтметра  $V_x$ ,  $U_0$  – показание вольтметра  $V_0$ ,  $U$  – показание вольтметра  $V$ , то значение неизвестного сопротивления  $R_x$  выразится следующим образом: для схемы рис. 2.3, а

$$R_x = R_0 \frac{U_x}{U_0}, \quad (2.3, a)$$

а для схемы рис. 2.3, б

$$R_x = R_0 \frac{U_x}{U - U_x}. \quad (2.3, б)$$

Для измерения *реактивных сопротивлений* наиболее предпочтителен метод амперметра и вольтметра. При этом измерение *емкостного* сопротивления производится точно так же, как и измерение активных сопротивлений. Единственное отличие заключается в том, что при измерении емкостного сопротивления цепь питается не постоянным, а *однофазным переменным* напряжением.

При измерении *индуктивных* сопротивлений учитывают, что всякая реальная катушка обладает *активным* сопротивлением  $R_k$  и потому характеризуется не одной, а двумя величинами:  $L$  и  $R_k$ . Для их определения проводят два независимых измерения. Вначале изме-

ряют сопротивление катушки постоянному току, т. е.  $R_k$  (рис. 2.4, а, формулы (2.1), (2.2)). Затем ту же катушку подключают к источнику переменного напряжения (рис. 2.4, б) и измеряют полное сопротивление  $Z_k$  катушки. После этого индуктивное сопротивление  $X_L$  и индуктивность  $L$  катушки определяют по формулам:

$$Z_k = \frac{U_V}{I_A}, \quad X_L = \sqrt{Z_k^2 - R_k^2}; \quad (2.4)$$

$$L = \frac{X_L}{2\pi f}. \quad (2.5)$$

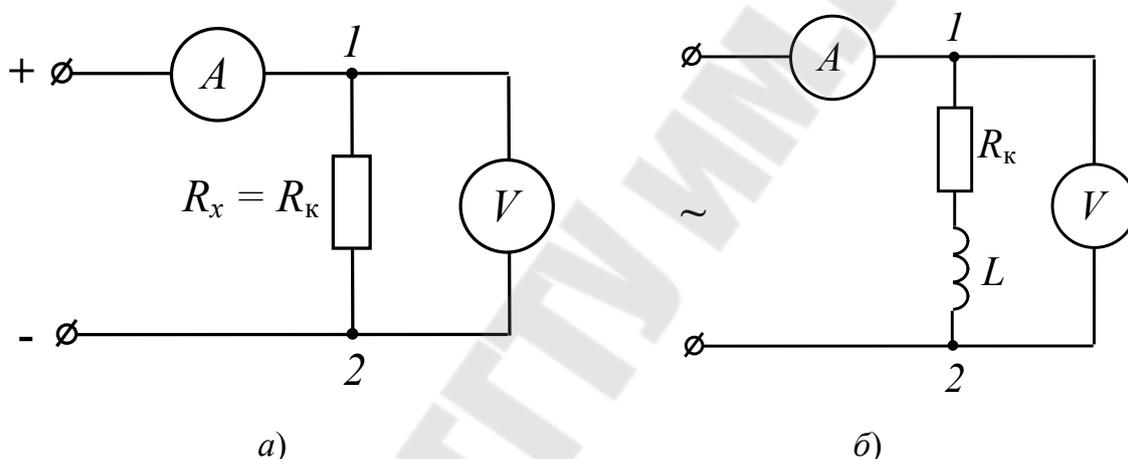


Рис. 2.4

Описанный выше метод определения индуктивного сопротивления катушки и ее собственных характеристик ( $R_k$  и  $L$ ) имеет существенный недостаток: для этих измерений необходимы источники постоянного и переменного напряжения. В случаях, когда источник постоянного напряжения недоступен, для измерения  $L$ ,  $R_k$  и  $X_L$  используют метод трех вольтметров, который является аналогом метода двух вольтметров в цепях постоянного тока. Для измерений используют источник синусоидального напряжения и резистор  $R_0$  с известным сопротивлением, значение которого соизмеримо с полным сопротивлением  $Z_k$  катушки. В цепи, изображенной на рис. 2.5, поочередно измеряют напряжения  $U$ ,  $U_0$  и  $U_k$ . По напряжению  $U_0$  находят ток в цепи:

$$I = \frac{U_0}{R}.$$

Затем рассчитывают полные сопротивления катушки  $Z_k$  и всей цепи  $Z$ :

$$Z_k = \frac{U_k}{I}, \quad Z = \frac{U}{I}.$$

Поскольку

$$Z_k = \sqrt{R_k^2 + X_L^2}, \quad Z = \sqrt{(R_0 + R_k)^2 + X_L^2},$$

активное и индуктивное сопротивления катушек можно определить по формулам:

$$R_k = \frac{Z^2 - Z_k^2 - R_0^2}{2R_0}, \quad X_L = \sqrt{Z_k^2 - R_k^2}. \quad (2.6)$$

После этого индуктивность катушки можно рассчитать по формуле (2.5).

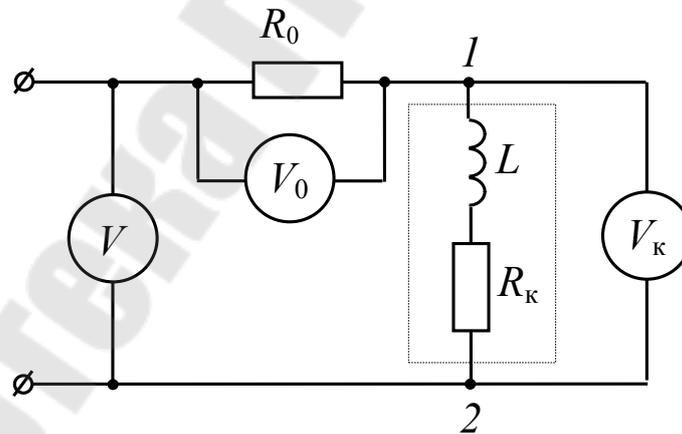


Рис. 2.5

## Порядок выполнения работы

1. Собрать электрическую цепь по схеме рис. 2.1, используя в качестве  $R_x$  элемент 02. Подать на вход цепи напряжение 7...10 В, измерить силу тока  $I$  через резистор  $R_x$  и занести в табл. 2.1. Заменить в собранной цепи резистор  $R_x$  резистором  $R'$ , используя в качестве  $R'$  БПС, и измерить ток  $I'$  через резистор  $R'$ . Ступенчато изменяя величину сопротивления  $R'$ , добиться наименьшего возможного расхождения между величинами  $I$  и  $I'$ . Значение  $R'$ , соответствующее такому расхождению, занести в табл. 2.1.

2. Прodelать то же, что описано в п. 1, используя в качестве  $R_x$  элемент 05. Результаты занести в табл. 2.1.

Таблица 2.1

### Измерение активных сопротивлений методом замещения

Элемент	$I$ , мА	$I'$ , мА	$R' \approx R_x$ , $\Omega$	Номинальное значение $R_x$ , $\Omega$
02				
05				

3. Собрать электрическую цепь по схеме рис. 2.2, а, используя в качестве  $R_x$  элемент 07. Установить на входе цепи напряжение 2...3 В. Измерить значения  $U_V$ ,  $I_A$ , занести их в табл. 2.2. Рассчитать  $R_x$  по формуле (2.2, а), результат занести в табл. 2.2.

4. Собрать электрическую цепь по схеме рис. 2.2, б, используя в качестве  $R_x$  элемент 06. Установить на входе цепи напряжение 10...15 В. Измерить значения  $U_V$ ,  $I_A$ , занести их в табл. 2.2. Рассчитать  $R_x$  по формуле (2.2, б), результат занести в табл. 2.2.

5. Используя результаты измерений  $U_V$  и  $I_A$ , проделанных в п.п. 3 и 4, рассчитать сопротивления  $R_x$  элементов 06 и 07 по формуле (2.1). Результаты расчета занести в табл. 2.2 и сравнить с результатами расчета по формулам (2.2, а) и (2.2, б).

Таблица 2.2

### Измерение активных сопротивлений методом амперметра и вольтметра

Элемент	Схема измерения	$R_V$ , $\Omega$	$R_A$ , $\Omega$	$R_x$ , $\Omega$		Номинальное значение $R_x$ , $\Omega$
				Расчет по формуле (1.2)	Расчет по формуле (1.1)	
06	1.2, б					
07	1.2, а					

6. Установить на БПС сопротивление 150 Ом. Собрать электрическую цепь по схеме рис. 2.3, *a*, используя это сопротивление в качестве  $R_0$ , а элемент 02 – в качестве  $R_x$ . Подать на вход цепи напряжение 7...10 В, измерить напряжения  $U_x$  и  $U_0$  и занести в табл. 1.3. Рассчитать  $R_x$  по формуле (2.3, *a*) и занести в табл. 2.3.

7. В цепи п. 6 измерить напряжение  $U$  (схема 2.3, *б*), рассчитать сопротивление  $R_x$  по формуле (2.3, *б*), результат занести в табл. 2.3 и сравнить с результатом п. 6 и п. 1.

Таблица 2.3

### Измерение активных сопротивлений методом двух вольтметров

Элемент	$R_0, \Omega$	Схема измерения						Номинальное значение $R_x, \Omega$
		1.3, <i>a</i>			1.3, <i>б</i>			
		$U_x, \text{В}$	$U_0, \text{В}$	$R_x, \Omega$	$U_x, \text{В}$	$U_0, \text{В}$	$R_x, \Omega$	
02								

8. Сделать выводы, сравнив результаты измерений разными методами.

9. По аналогии с рисунком 2.2 самостоятельно изобразите схему цепи для измерения емкостного сопротивления методом амперметра и вольтметра и представьте для проверки преподавателю. Соберите данную цепь, используя в качестве емкости  $C$  какой-либо из элементов 16...19. Подав на вход этой цепи синусоидальное напряжение 5...7 В частотой  $f = 2...5$  кГц, емкостное сопротивление рассчитайте по формуле:

$$X_C = \frac{U_V}{I_A}.$$

Результат занесите в таблицу 2.4. По известной из курса ТОЭ формуле

$$C = \frac{1}{2\pi f X_C}$$

рассчитайте емкость элемента и сравните ее с номинальным значением.

Таблица 2.4

## Измерение емкостных сопротивлений

Емкостный элемент	$U_V$	$I_A$	$X_C$	C, $\mu\text{Ф}$	
				расчетное значение	номинальное значение

10. Собрать электрическую цепь по схеме рис. 2.4, а, включив между точками 1 и 2 элемент 11. Подать на вход цепи постоянное напряжение  $U_{\sim} = 1...2$  В. На основании показаний амперметра и вольтметра по формуле (1.1) рассчитать  $R_k$  и занести в табл. 2.4.

Подать на вход этой цепи синусоидальное напряжение  $U_{\sim} = 5...7$  В. На основании показаний амперметра и вольтметра по формулам (2.4) и (2.5) рассчитать *индуктивное сопротивление* катушки и ее *индуктивность*. Результаты занести в табл. 2.5.

Таблица 2.5

## Характеристики катушек индуктивности

Элемент	Метод амперметра и вольтметра			Метод трех вольтметров		
	$R_k, \Omega$	$X_L, \Omega$	$L, \text{Гн}$	$R_k, \Omega$	$X_L, \Omega$	$L, \text{Гн}$
11						
12						

Включить вместо амперметра элемент 02, как показано на рис. 2.5. На основании измерений напряжений  $U$ ,  $U_0$  и  $U_k$  по формулам (2.5), (2.6) рассчитать  $R_k$ ,  $X_L$  и  $L$ , занести эти значения в табл. 2.5 и сравнить с результатами измерения тех же величин методом амперметра и вольтметра.

11. Прodelать то же, что описано в п. 10, включив в цепь между точками 1 и 2 элемент 12.

## Контрольные вопросы

1. В чем суть метода замещения? Каковы его недостатки?
2. На чем основан метод амперметра и вольтметра?
3. Каковы черты сходства и различия между методом амперметра и вольтметра и методом двух вольтметров?

4. В каких случаях применяются метод замещения и метод двух вольтметров?

5. В чем заключается преимущество метода амперметра и вольтметра по сравнению с прямым измерением сопротивления омметром?

6. Как определить номинальное сопротивление, номинальную мощность, номинальный ток и номинальное напряжение резистора?

7. Как определить номинальный ток и номинальное напряжение при последовательном и при параллельном соединении резисторов?

8. Как измерить емкость конденсатора?

9. Какие способы измерения индуктивности вы знаете?

## Лабораторная работа № 3

### Определение параметров синусоидальных величин

#### Цель работы:

1. Приобретение первичных навыков работы с осциллографом в режиме однолучевой и двухлучевой развертки.
2. Измерение с помощью осциллографа амплитуды, периода и частоты синусоидального напряжения.
3. Измерение фазового сдвига между напряжением и током в последовательной цепи.

#### Программа работы

1. Подключить осциллограф к источнику однофазного синусоидального напряжения и получить на экране его устойчивую временную развертку.
2. Определить с помощью осциллографа амплитуду и период входного напряжения, после чего рассчитать его частоту.
3. Записать для полученной развертки выражение для мгновенного значения напряжения.
4. Рассчитать действующее значение напряжения и сравнить его с показанием вольтметра.
5. На комплексной плоскости построить вектор, соответствующий исследуемому напряжению.
6. Выполнить действия п.п. 1–5 для синусоидального напряжения, заданного преподавателем.
7. Измерить разность фаз между напряжением и током в простейшей  $RC$ -цепи.

#### Краткие сведения из теории

Синусоидальные токи и напряжения можно изобразить графически, записать при помощи уравнений с тригонометрическими функциями и представить в виде вращающихся векторов на декартовой или комплексной плоскости.

Приведенным на рис. 3.1, *a* и *б* графикам двух синусоидальных ЭДС  $e_1$  и  $e_2$  соответствуют уравнения:

$$e_1 = E_{1m} \sin(\omega t + \psi_{e_1}),$$

$$e_2 = E_{2m} \sin(\omega t + \psi_{e_2}).$$

Значения аргументов синусоидальных функций  $\omega t + \psi_{e_1}$  и  $\omega t + \psi_{e_2}$  называют *фазами* синусоид, а значение фазы в начальный момент времени  $\psi_{e_1}$  и  $\psi_{e_2}$  – *начальной фазой*.

Если первые ближайшие от начала координат точки перехода синусоид от отрицательных мгновенных значений к положительным мгновенным значениям (точки *а* и *б* на кривых рис. 3.1) считать за начало первого периода синусоиды, то *начальная фаза*, расположенная *слева* от оси ординат, отсчитывается со знаком «плюс», а начальная фаза, расположенная *справа* от оси ординат, – со знаком «минус». На графиках рис. 3.1 начальные фазы обозначают односторонними стрелками, заключенные между вертикальной прямой, проведенной через точку начала синусоиды и осью ординат, расположенными параллельно оси абсцисс и направленными к оси ординат.

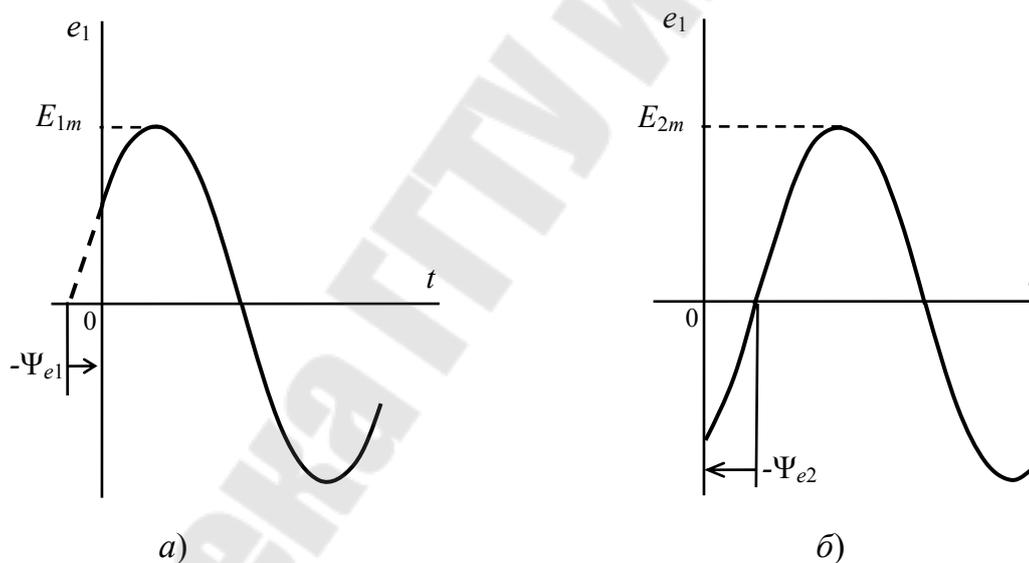


Рис. 3.1

Величину  $\omega$  в фазах синусоид, характеризующую скорость изменения фазового угла, называют *угловой частотой*. Так как фазовый угол синусоиды за время одного периода  $T$  изменяется на  $2\pi$ , то угловая частота:

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f, \quad (3.1)$$

где

$$f = \frac{1}{T} \quad (3.2)$$

есть частота синусоидального колебания, нередко называемая также циклической частотой. Единица циклической частоты – герц (Гц) или  $\text{с}^{-1}$ ; единица измерения угловой частоты – рад/с.

При совместном рассмотрении двух синусоидально изменяющихся величин одной частоты разность их фазовых углов, равную разности начальных фаз, называют *углом сдвига фаз*. Угол сдвига фаз одноименных синусоидальных функций (ЭДС, напряжений, токов) обозначают буквой  $\alpha$ . Угол сдвига фаз между синусоидами напряжения и тока *элемента* обозначают буквой  $\varphi$ .

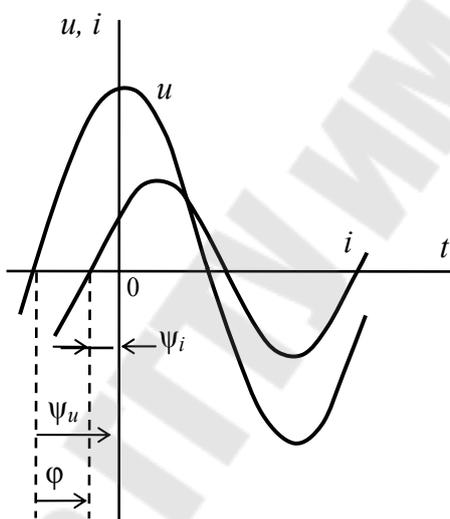


Рис. 3.2

Для синусоид ЭДС  $e_1$  и  $e_2$ , графики которых изображены на рис. 3.1, угол сдвига фаз:

$$\varphi = \omega t + \psi_{e_1} - (\omega t - \psi_{e_2}) = \psi_{e_1} + \psi_{e_2}.$$

Для синусоид напряжения и тока

$$u = U_m \sin(\omega t + \psi_u), \quad i = I_m \sin(\omega t + \psi_i),$$

графики которых изображены на рис. 3.2, угол сдвига фаз:

$$\varphi = \psi_u - \psi_i.$$

Пользуясь углом сдвига фаз, уравнения напряжения и тока можно записать иначе:

$$u = U_m \sin(\omega t + \psi_u), \quad i = I_m \sin(\omega t + \psi_u - \varphi)$$

или

$$i = I_m \sin(\omega t + \psi_i), \quad u = U_m \sin(\omega t + \psi_i + \varphi).$$

Эти выражения показывают, что синусоидальный ток отстает по фазе от синусоидального напряжения на угол  $\varphi$ , или синусоидальное напряжение опережает по фазе синусоидальный ток на угол  $\varphi$ .

При изображении синусоидальных ЭДС, напряжений и токов вращающимися векторами на декартовой плоскости из начала координат проводят векторы, равные амплитудным значениям синусоидальных величин, и вращают эти векторы *против движения стрелки часов* с угловой скоростью, равной угловой частоте  $\omega$ . Фазовый угол при вращении отсчитывают от положительной оси абсцисс, как показано на рис. 3.3 для  $t > 0$ . Проекции вращающихся векторов на ось ординат равны мгновенным значениям ЭДС  $e_1$  и  $e_2$ .

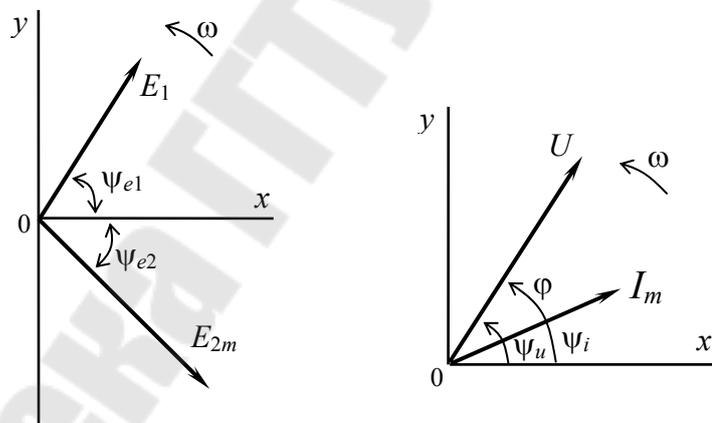


Рис. 3.3. Расположение векторов, изображающих синусоиды ЭДС, напряжения и тока для начального момента времени

Во многих случаях (например, при измерении фазовых соотношений между напряжением и током) требуется получить на осциллографе временную развёртку тока. Поскольку осциллограф действует как вольтметр, такую развёртку получают косвенным путём. В исследуемую ветвь цепи вводят *вспомогательное активное сопротивление  $R_b$* , выбираемое по возможности малым (во избежание искажений токораспределения исходной цепи). Из курса ТОЭ известно, что напряжение на активном сопротивлении совпадает по фазе с током че-

рез это сопротивление. Благодаря этому временная развёртка напряжения на сопротивлении  $R_B$  передаёт форму временной развёртки тока исследуемой ветви.

### Порядок выполнения работы

1. Включите осциллограф и источник регулируемого однофазного напряжения. Подключив осциллограф к источнику, получите на экране устойчивую развертку синусоидального напряжения.

2. Определите по развертке амплитуду и период этого напряжения, после чего по формуле (3.2) рассчитайте его частоту. Результат занесите в табл. 3.1.

3. Определите начальную фазу полученной развертки. Воспользовавшись результатами выполнения п. 2, запишите для полученной развертки выражение для мгновенного значения напряжения.

4. По результатам п. 2 рассчитайте действующее значение напряжения и сравните его с результатом измерения вольтметром. Результаты занесите в табл. 3.1.

5. На комплексной плоскости постройте вектор, соответствующий исследуемому напряжению.

6. Прodelайте действия п.п. 1–5 для синусоидального напряжения, заданного преподавателем.

7. По заданному преподавателем выражению для мгновенного значения напряжения получите на экране осциллографа соответствующую развертку и предъявите ее для проверки преподавателю.

Таблица 3.1

### Характеристики синусоидального напряжения

Номер опыта	Амплитуда, В	Период, с	Частота, Гц		Начальная фаза, °	Действующее значение		Мгновенное значение
			Циклическая, Гц	Угловая, рад/с		Рассчитано	Измерено	

8. Соберите цепь по схеме рис. 3.4, используя в качестве  $R$  элемент 06, а в качестве  $C$  – элемент 16. Подключив осциллограф, как показано на рис. 3.5, получите на экране устойчивую двухлучевую развертку напряжения и тока в цепи. Определите величину разности фаз напряжения и тока.

9. В собранной цепи замените постоянную емкость переменной (используйте БПЕ). Для 4–6 произвольно выбранных значений емкости измерьте разность фаз между напряжением и током. Результаты занесите в табл. 3.2.

Таблица 3.2

### Измерение разности фаз в простейшей RC-цепи

Номер опыта	$C, \mu\text{Ф}$	$\varphi, ^\circ$
Исходные данные: $R = \dots \Omega$ , $f = \dots \text{кГц}$		

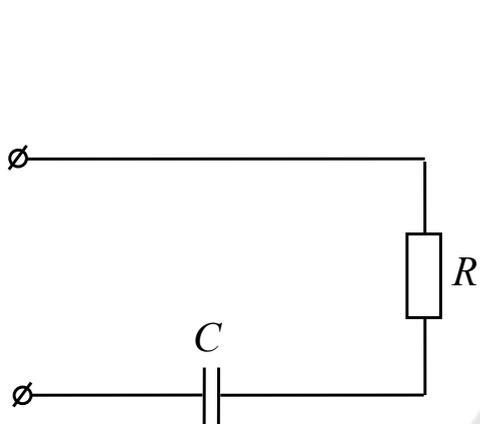


Рис. 3.4

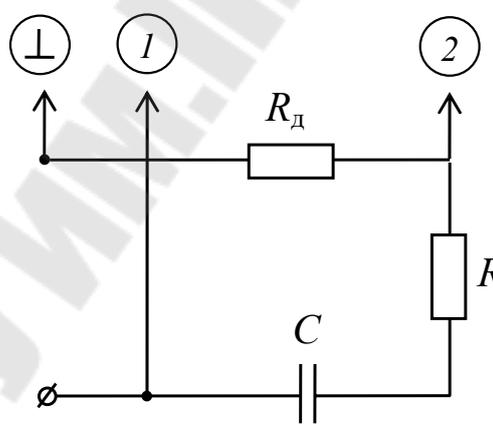


Рис. 3.5

### Контрольные вопросы

1. Назовите величины, характеризующие периодическое напряжение.
2. Запишите общее выражение для мгновенного значения синусоидального напряжения.
3. Как соотносятся между собой амплитудное и действующее значения напряжения? Каков физический смысл действующего значения?
4. Как с помощью осциллографа определить циклическую и круговую частоты напряжения?
5. Как получить с помощью осциллографа временную развёртку тока?

## Лабораторная работа № 4

### Измерение разности фаз в цепях однофазного тока

**Цель работы:** приобретение навыков измерения фазовых соотношений между электрическими величинами.

#### Программа работы

1. Сравнить работу цифрового и аналогового фазометров в ходе исследования зависимости сдвига фаз между напряжением и током в последовательной  $RC$ -цепи от емкости  $C$  и от частоты напряжения. Заполнить табл. 4.1 и 4.2.

2. По результатам измерений сдвига фаз между напряжением и током в последовательной  $RL$ -цепи определить индуктивность катушки и заполнить табл. 4.3.

3. В последовательной  $RLC$ -цепи получить резонанс напряжений, судя о его наступлении по показаниям фазометра. Заполнить табл. 4.4.

#### Краткие сведения из теории

*Фазометры* предназначены для измерения угла сдвига фаз между двумя синусоидальными сигналами.

Фазометры имеют две измерительные цепи – *последовательную* и *параллельную*. *Параллельная* измерительная цепь служит для подачи опорного напряжения, относительно которого производится измерение фазового сдвига. *Последовательная* измерительная цепь служит для подачи напряжения, *пропорционального току*, чей фазовый сдвиг относительно опорного напряжения требуется измерить.

Фазометр  $\Phi 2-34$  имеет цифровую индикацию. При емкостном характере участка цепи, на котором производится измерение, прибор покажет значение  $\varphi_{\text{пр}} < 90^\circ$ , при этом истинная разность фаз  $\varphi = -\varphi_{\text{пр}}$ . Если же исследуемый участок цепи имеет индуктивный характер, прибор высветит значение  $\varphi_{\text{пр}} > 270^\circ$ , при этом истинная разность фаз  $\varphi = 360^\circ - \varphi_{\text{пр}}$ .

Фазометр  $D578$  имеет нитевидный стрелочный указатель и двухстрочную шкалу, проградуированную в значениях угла сдвига фаз  $\varphi$  от  $-90^\circ$  до  $90^\circ$  (верхняя строка) и одновременно в значениях коэффициента мощности  $\cos \varphi$  (нижняя строка). При этом у невключенного

фазометра Д578 нитевидный указатель может занимать на шкале любое положение, т. к. измерительный механизм данного прибора представляет собой *электродинамический логометр*.

Для включения последовательной измерительной цепи цифрового фазометра используется вспомогательное (шунтовое) сопротивление  $R_{ш}$ , которое выбирают по возможности малым, чтобы минимизировать искажение токораспределения в изучаемой цепи. При этом опорное напряжение подается на вход «⊕ 2» прибора, а напряжение на сопротивлении  $R_{ш}$ , пропорциональное току шунтируемой ветви, подается на вход «⊖ 1». Порядок включения цифрового фазометра в цепь однофазного тока показан на рис. 4.1.

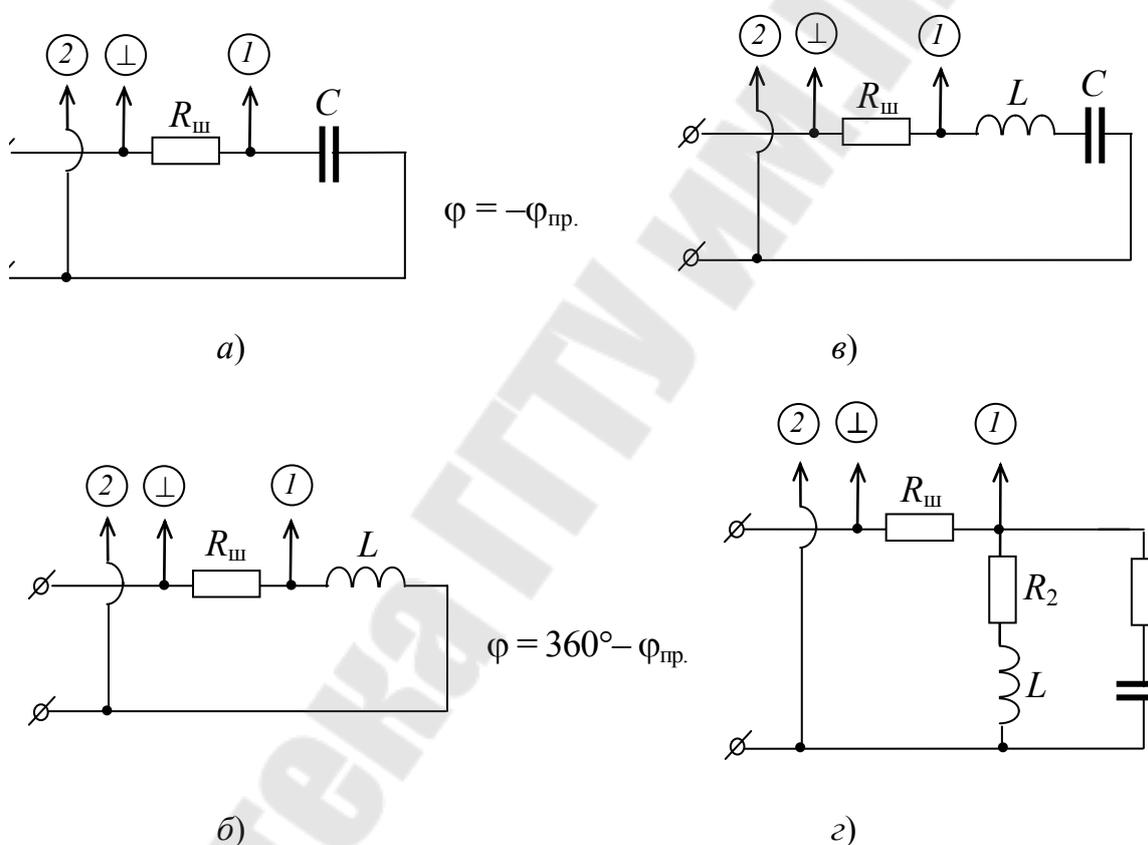


Рис. 4.1

Порядок включения измерительных цепей аналогового фазометра в цепь синусоидального тока в значительной степени аналогичен включению в однофазную цепь ваттметра (см. рис. 4.1). Одноименные зажимы измерительных цепей аналогового фазометра обозначают знаком \* или •.

Фазометр, включенный по схеме рис. 4.1, а, измеряет разность фаз между входным напряжением цепи  $\underline{U}_{af}$  и током  $I_1$ . Фазометр,

включенный по схеме рис. 4.1, б, измеряет разность фаз между напряжением  $\underline{U}_{ad}$  и тем же током, а фазометр, включенный по схеме рис. 4.1, в, измеряет разность фаз между напряжением  $\underline{U}_{bd}$  и током  $I_3$  ветви  $bcd$ .

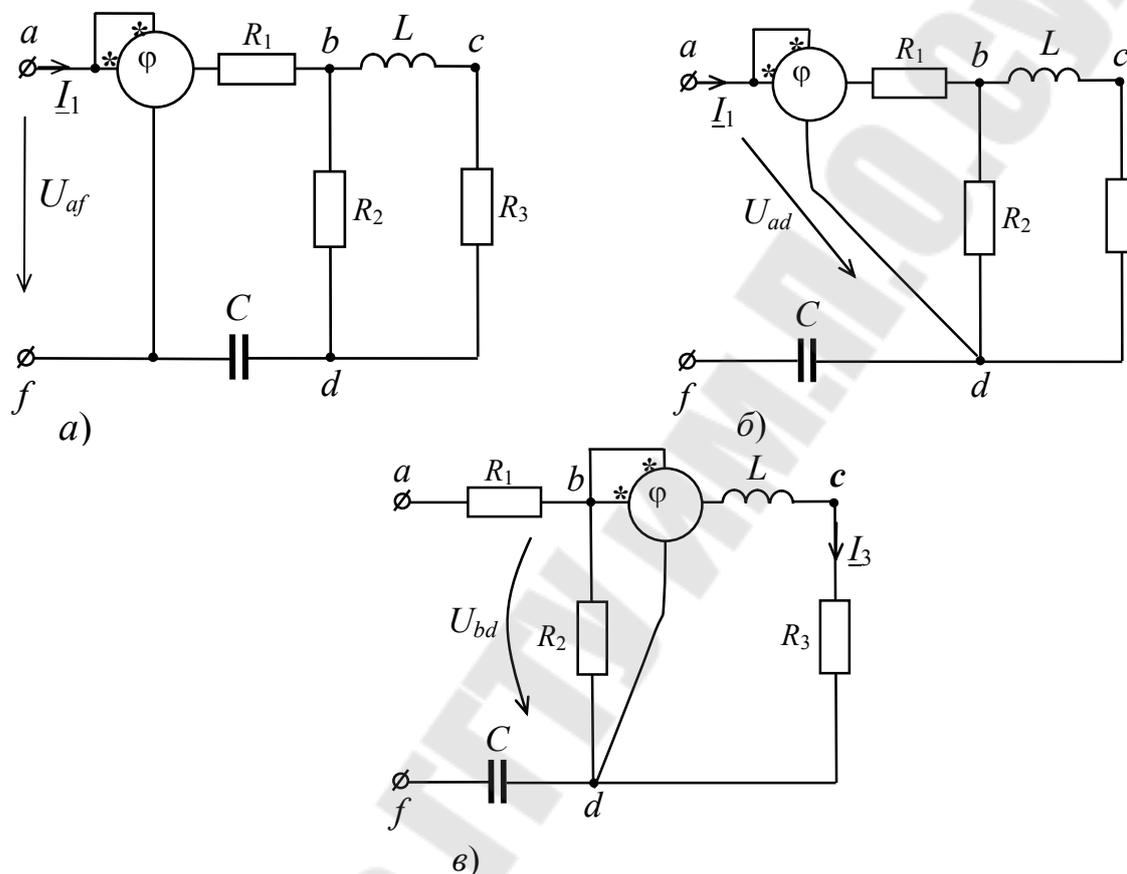


Рис. 4.2

### Порядок выполнения работы

1. Включить цифровой фазометр нажатием кнопки «Сеть» и убедиться в наличии цифровой индикации. Прибор готов к работе после прогрева в течение 15 мин.

2. Соберите электрическую цепь по схеме рис. 4.3, а, используя в качестве  $R_{III}$  элемент 10, в качестве  $C$  – блок переменных емкостей (БПЕ), а в качестве  $R$  – элемент 06.

Произвольно задайте на входе цепи синусоидальное напряжение с амплитудой 5...15 В и частотой 1...2 кГц. Включите в эту цепь цифровой фазометр, как показано на рис. 4.1, а. Изменяя  $C$  через равные промежутки в диапазоне значений 0,01...мФ, произведите

6–8 измерений разности фаз между напряжением и током в цепи. До этого установить ноль цифрового прибора нажатием кнопки «Ф». Установка ноля занимает примерно 1 мин. Об окончании установки ноля свидетельствует периодическое свечение нижнего отрезка символьного разряда индикатора прибора. После окончания установки ноля прибор высвечивает значение фазового сдвига исследуемого сигнала (поданного на вход «⊕ 1») относительно опорного сигнала, поданного на вход «⊖ 2». Результаты измерений занесите в табл. 4.1.

Таблица 4.1

Номер опыта	var, C, мФ	Сдвиг фаз между напряжением и током, град.	
		измерено аналоговым фазометром	измерено цифровым фазометром
1			
2			
⋮			
⋮			
6			
Исходные данные: $u_{вх} = \dots$ В; $f = \dots$ кГц; $R = \dots$ Ω			

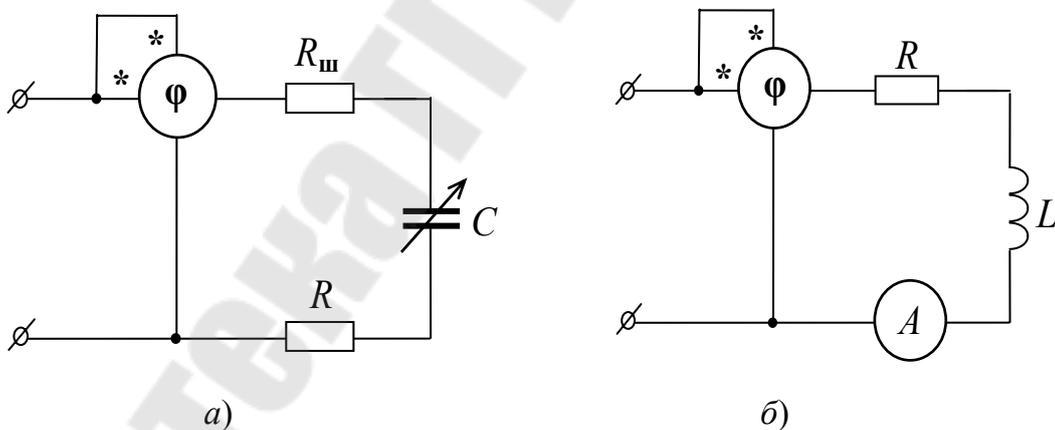


Рис. 4.3

3. Не меняя входного напряжения, заданного в п. 2, произвольно установите с помощью БПЕ емкость  $C$  в диапазоне значений  $0,01 \dots 1$  мФ. Ступенчато изменяя частоту входного напряжения от 1 кГц до  $7 \dots 8$  кГц, произведите измерения сдвига фаз между напряжением и током в цепи. Результаты измерений занесите в табл. 4.2.

Таблица 4.2

Номер опыта	var, f, кГц	Сдвиг фаз между напряжением и током, град.	
		измерено аналоговым фазометром	измерено цифровым фазометром
1			
2			
⋮			
6			
Исходные данные: $u_{\text{вх}} = \dots \text{ В}; C = \dots \text{ мФ}; R = \dots \text{ }\Omega$			

4. Соберите цепь по схеме рис. 4.3, б, используя в качестве  $R$  элемент 06, а в качестве  $L$  – элемент 11. Произвольно задав на входе этой цепи напряжение  $U = 5 \dots 7 \text{ В}$  частотой  $4 \dots 6 \text{ кГц}$ , измерьте силу тока  $I$  и сдвиг фаз  $\varphi$  между напряжением и током в этой цепи. Результаты измерений занесите в табл. 4.3. Воспользовавшись тем, что в цепи постоянного тока реальная катушка индуктивности ведет себя как обычное линейное активное сопротивление, определите собственное активное сопротивление катушки одним из способов, изученным в лабораторной работе № 1. Результаты измерений сопротивления  $R_k$  катушки в цепи постоянного тока занесите в табл. 4.3. Воспользовавшись формулами:

$$L = \frac{1}{2\pi f} \left[ \left( \frac{U}{I} \right)^2 - (R + R_k)^2 \right]^{1/2}; \quad (4.1)$$

$$L = (R + R_k) \frac{\sqrt{1 - \cos^2 \varphi}}{2\pi f \cos \varphi}, \quad (4.2)$$

которые вытекают из известных из курса ТОЭ соотношений:

$$\frac{U}{I} = \sqrt{(R + R_k)^2 + (2\pi f L)^2}, \quad \text{tg } \varphi = \frac{2\pi f L}{R + R_k}.$$

На основании результатов измерений рассчитать индуктивность катушки. Результаты расчета по формулам (4.1) и (4.2) занести в табл. 4.3 и сравнить между собой, а также с результатами лабораторной работы № 2 (табл. 4.5).

5. Прodelать то же, что в п. 4, используя в качестве  $L$  элемент 12.

Таблица 4.3

## Характеристики катушек индуктивности

Катушка	U, В	I, мА	φ	cos φ	Активное сопротивление R <sub>к</sub>		Индуктивность, Гн	
					метод определения	значения, Ω	расчет по формуле (4.1)	расчет по формуле (4.2)
11								
12								
Исходные данные: R = ... Ω; f = ... кГц								

6. Соберите электрическую цепь по схеме рис. 4.1, в, используя в качестве R<sub>ш</sub> элемент 10, в качестве L – элемент 11 (либо 12), а в качестве C – БПЕ. Включите в эту цепь цифровой фазометр и произвольно задайте на входе цепи напряжение U = 5...7 В. Изменяя частоту f этого напряжения и (или) емкость C, добейтесь резонанса напряжений, о наступлении которого должно свидетельствовать нулевое показание фазометра. Значения частоты f<sub>рез</sub> и емкости C<sub>рез</sub>, соответствующее достигнутому резонансу напряжений, занесите в табл. 4.4. Используя найденные ранее значения индуктивности (табл. 4.3), по известной из курса ТОЭ формуле

$$f_{\text{рез}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

рассчитайте резонансную частоту цепи и занесите это значение в табл. 4.4, сравнив с полученным на опыте экспериментальным значением.

Таблица 4.4

Показание фазометра	L, Гн	C <sub>рез</sub> , мФ	f <sub>рез</sub> , кГц	
			Экспериментальное значение	Расчетное значение

## Контрольные вопросы

1. Для чего требуется измерение фазовых соотношений в электрических цепях?
2. Какие способы измерения разности фаз между электрическими величинами вы знаете?
3. В чем заключается сходство между включениями в цепь ваттметра и фазометра?
4. Всегда ли показание фазометра имеет физический смысл?

## Литература

1. Бессонов, Л. А. Теоретические основы электротехники / Л. А. Бессонов. – Москва : Высш. шк., 1978.
2. Нейман, Л. Р. Теоретические основы электротехники / Л. Р. Нейман, К. С. Демирчян. – Ленинград : Энергоиздат, 1981. – Ч. 1.
3. Основы теории цепей / Г. В. Зевеке [и др.]. – Москва : Энергоиздат, 1989.
4. Шебес, М. Р. Задачник по теории линейных электрических цепей / М. Р. Шебес. – Москва : Энергия, 1982; 1990.
5. Добротворский, И. Н. Лабораторный практикум по основам теории цепей / И. Н. Добротворский. – Москва : Высш. шк., 1986.

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение .....	3
Правила техники безопасности в лабораториях кафедры ТОЭ ...	3
Требования к подготовке, выполнению, оформлению и защите лабораторных работ .....	5
<i>Лабораторная работа № 1</i> .....	16
Измерение постоянных токов и напряжений комбинированными многопредельными приборами .....	16
<i>Лабораторная работа № 2</i> .....	23
Измерение активных и реактивных сопротивлений .....	23
<i>Лабораторная работа № 3</i> .....	32
Определение параметров синусоидальных величин .....	32
<i>Лабораторная работа № 4</i> .....	38
Измерение разности фаз в цепях однофазного тока .....	38
Литература .....	44

Учебное электронное издание комбинированного распространения

**Учебное издание**

# **ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА**

**Лабораторный практикум  
по одноименному курсу  
для студентов специальностей  
1-43 01 03 «Электроснабжение»  
и 1-53 01 05 «Автоматизированные электроприводы»**

Авторы-составители: **Грачев** Станислав Анатольевич  
**Шабловский** Ярослав Олегович

Редактор

*Н. В. Гладкова*

Компьютерная верстка

*Н. В. Широглазова*

Подписано в печать 05.04.07.

Формат 60x84/16. Бумага офсетная. Гарнитура Таймс.

Цифровая печать. Усл. печ. 2,79 л. Уч. - изд. л. 2,62.

Изд. № 12.

E-mail: [ic@gstu.gomel.by](mailto:ic@gstu.gomel.by)

<http://www.gstu.gomel.by>

Издатель и полиграфическое исполнение:

Издательский центр

учреждения образования «Гомельский государственный технический  
университет имени П. О. Сухого».

ЛИ № 02330/0131916 от 30.04.2004 г.

246746, г. Гомель, пр. Октября, 48, т. 47-71-64.