

**Методические указания**  
по выполнению лабораторных работ  
дисциплины ОП.02 «Электротехника»  
для обучающихся по специальности  
10.02.04 Обеспечение информационной безопасности  
телекоммуникационных систем

Разработчики:

Алексенко Оксана Юрьевна,  
преподаватель ОГАОУ

«Белгородский индустриальный  
колледж»

Феоктистова Валентина Николаевна,  
преподаватель ОГАОУ

«Белгородский индустриальный  
колледж»

**СОДЕРЖАНИЕ**

Пояснительная записка.....	3
Тематическое планирование лабораторных работ.....	6
Лабораторная работа № 1 Электроизмерительные приборы и измерения .....	8
Лабораторная работа № 2 Измерение мощности в цепях постоянного тока.....	12
Лабораторная работа № 3 Измерение сопротивлений.....	19
Лабораторная работа № 4 Исследование электрических цепей при последовательном и параллельном соединении резисторов.....	22
Лабораторная работа № 5 Изучение законов Кирхгофа.....	26
Лабораторная работа № 6 Исследование электрических цепей методом наложения .....	29
Лабораторная работа № 7 Изучение расчёта электрических цепей методом преобразования схем .....	34
Лабораторная работа № 8 Исследование неразветвленной цепи переменного тока с активным сопротивлением и индуктивностью.....	39
Лабораторная работа № 9 Исследование неразветвленной цепи переменного тока с активным сопротивлением и ёмкостью .....	43
Лабораторная работа № 10 Исследование последовательной резонансной цепи .....	48
Лабораторная работа № 11 Исследование параллельной резонансной цепи .....	51
Лабораторная работа № 12 Исследование трехфазной электрической цепи при соединении приемника «треугольником .....	55
Лабораторная работа № 13 Исследование трехфазной электрической цепи при соединении приемника «звездой».....	61
Лабораторная работа № 14 Исследование однофазного трансформатора .....	66
Приложение 1 Описание лабораторного стенда.....	73
Приложение 2 Правила техники безопасности .....	79
Приложение 3 Требования к отчету по лабораторным работам .....	81
Приложение 4 Защита отчета о выполненной лабораторной работе.....	81
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	83

**Тема опыта:** Методические указания по выполнению лабораторных работ дисциплины ОП.02 «Электротехника» для обучающихся по специальности 10.02.04 «Обеспечение информационной безопасности телекоммуникационных систем»

**Авторы опыта:** Алексенко Оксана Юрьевна, Феоктистова Валентина Николаевна преподаватели ОГАПОУ «Белгородский индустриальный колледж».

**Рецензент:**

## ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

В условиях современного мира перед образовательными учреждениями, реализующими программы подготовки квалифицированных рабочих, служащих и программы подготовки специалистов среднего звена стоит задача своевременного обновления существующих образовательных методик в соответствии с уровнем развития информационных технологий и требований Федерального государственного образовательного стандарта.

В реализации данных задач особую значимость приобретает проблема формирования электротехнической компетентности в профессиональной подготовке специалистов технического профиля.

Компетенция – это цель для преподавателя, мотивация для студентов и ориентир для поверяющих. Основная цель профессионального образования – подготовка квалифицированного специалиста. Каждая компетенция формируется не отдельной дисциплиной, а их совокупностью, и профессиональным уровнем педагогического коллектива. Умения и знания по электротехнике, заданные стандартами, являются одной из основных составляющих, формирующих общие и профессиональные компетенции.

Настоящие методические указания по дисциплине ОП.02 «Электротехника» разработаны для обучающихся в соответствии с Федеральным государственным образовательным стандартом среднего профессионального образования (далее – ФГОС СПО) по специальности 10.02.04 «Обеспечение информационной безопасности телекоммуникационных систем», утвержденным приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 9 декабря 2016г. № 1551.

Целью лабораторного практикума является закрепление, обобщение и систематизация полученных знаний теоретического материала на основе проведения лабораторных опытов. В результате выполнения лабораторных работ обучающиеся овладевают навыками техники проведения эксперимента, обработки результатов, вырабатывают рациональный и эффективный подход к выполнению любого практического задания.

В соответствии с поставленными целями определены задачи, направленные для достижения требуемых результатов обучения:

- приобретение практического опыта чтения и сборки электрических схем, а также работы с электрооборудованием;
- умение снимать показания электроизмерительных приборов, обрабатывать полученные данные и на их основе делать выводы о характере исследуемых процессов;
- на основе составления отчётов по лабораторным работам получить навыки оформления электротехнической документации.

Новизна представленного ниже материала обусловлена следующими составляющими:

- методические указания представляют собой комплекс учебной документации, содержащий структурированный теоретический материал, рационально подобранные эксперименты и опыты, которые позволяют сформировать у обучающихся основные электротехнические понятия, дают представления о законах и теориях электротехники, развивают творческое мышление;

- методические указания разработаны для выполнения лабораторных работ на стенде «Электротехника и основы электроники» (Приложение 1), оснащённом компонентами для исследования электрических цепей постоянного и переменного тока, источником питания, измерительными приборами, силовыми модулями;

- методические указания содержат задания, подробное описание используемого оборудования, инструкции по сборке электрических схем с авторскими иллюстрациями, а также контрольные вопросы.

Выполнение лабораторного практикума в соответствии с представленными методическими указаниями обеспечит обучающимся получение базовых и углублённых профессиональных знаний и навыков по дисциплине «Электротехника», а также создаст условия для исследовательской и проектной деятельности.

В структуре дисциплины ОП.02 «Электротехника» предусмотрено 28 часов лабораторных работ, что составляет 30 % от обязательной аудиторной нагрузки, которая составляет 118 часов.

Лабораторные работы проводятся после изучения теоретического материала.

Целью лабораторных работ является усвоение теоретических вопросов путем экспериментальной проверки основных положений курса, выработка навыков практического характера: сборка электрических схем, снятие показаний с приборов, оформление и анализ результатов.

Перед выполнением лабораторной работы каждый обучающийся должен изучить правила техники безопасности, относящиеся к данной лаборатории и расписаться в журнале по технике безопасности (Приложение 2).

Предварительная теоретическая подготовка к работе состоит в изучении описания работы по методическим указаниям и соответствующего теоретического материала по конспекту и учебным пособиям.

Протокол работы, содержащий электрические схемы, таблицы для записи результатов и вычисления оформляется в журнале лабораторных работ (Приложение 3).

Перед началом выполнения каждой работы проводится проверка готовности учащихся к данной работе в виде фронтального опроса.

Сборку электрической цепи следует начинать с последовательно соединенных элементов и приборов, а затем подключать параллельные ветви, как самой электрической цепи, так и приборов. Каждая собранная электрическая цепь должна быть проверена преподавателем, и только с его разрешения может быть включена под напряжение, то же самое относится к цепям, когда в них произведены какие-либо изменения.

Проводя измерения, необходимо тщательно определять показания приборов, поскольку небрежность в отсчете показаний приборов и записи результатов приводит к неправильным выводам о свойствах исследуемой схемы.

После окончания работы необходимо отключить питание лабораторного стенда, разобрать электрическую цепь, приборы и оборудование, оформить отчет и представить его для защиты преподавателю.

Представленные методические указания апробировались в течение трех лет в ОГАПОУ «Белгородский индустриальный колледж» среди обучающихся разных групп по специальности 10.02.04 «Обеспечение информационной безопасности телекоммуникационных систем». Результаты выполнения тестовых экзаменационных заданий в рамках промежуточной аттестации, включающих в себя отдельные компоненты оценки уровня сформированности электротехнической компетентности, позволили сделать вывод о положительной динамике усвоения учебного материала по дисциплине ОП.02 «Электротехника». В течение трех лет средний показатель качества знаний студентов по дисциплине «ОП.02 Электротехника» повысился на 20% (рисунок 1).

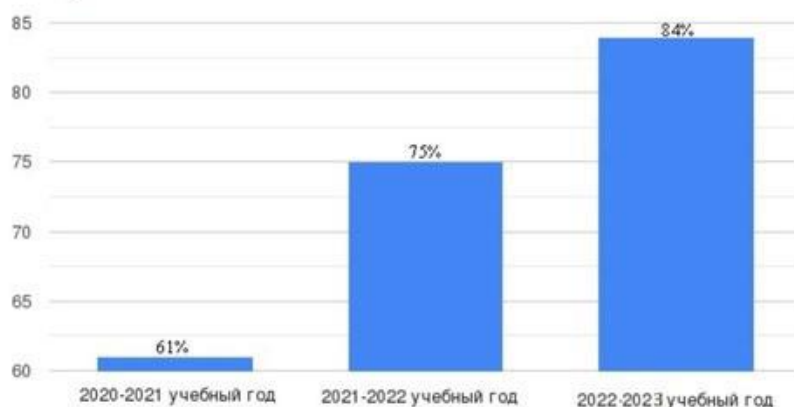


Рисунок 1. Средний показатель качества знаний студентов по дисциплине «ОП.02 Электротехника» за три учебных года

Таким образом, представленные методические указания имеют практическую значимость, способствуют формированию электротехнической компетентности студентов специальностей технического профиля и могут

быть использованы педагогами техникумов и колледжей в процессе организации и проведения лабораторных работ по дисциплине ОП.02 «Электротехника».

### ТЕМАТИЧЕСКОЕ ПЛАНИРОВАНИЕ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

	Наименование тем	Наименование лабораторной работы	Количество часов на выполнение работы
1	2	3	4
<b>Раздел 1</b>	<b>Основы электростатики. Электрические измерения</b>		<b>6</b>
1.2	Электрические измерения	<b>Лабораторная работа № 1</b> «Электроизмерительные приборы и измерения»	2
		<b>Лабораторная работа № 2</b> «Измерение мощности в цепях постоянного тока»	2
		<b>Лабораторная работа № 3</b> «Измерение сопротивлений»	2
<b>Раздел 2</b>	<b>Электрические цепи постоянного тока</b>		<b>8</b>
2.1	Электрическая цепь	<b>Лабораторная работа №4</b> «Исследование электрических цепей при последовательном и параллельном соединении резисторов»	2
2.2	Расчет электрических цепей постоянного тока	<b>Лабораторная работа №5</b> «Изучение законов Кирхгофа»	2
		<b>Лабораторная работа №6</b> «Исследование электрических цепей методом наложения»	2
		<b>Лабораторная работа №7</b> «Изучение расчёта электрических цепей методом преобразования схем»	2
<b>Раздел 4</b>	<b>Электрические цепи переменного тока</b>		<b>14</b>
4.1	Однофазные электрические цепи переменного тока	<b>Лабораторная работа № 8</b> «Исследование неразветвленной цепи переменного тока с активным сопротивлением и индуктивностью»	2
		<b>Лабораторная работа № 9</b> «Исследование неразветвленной цепи переменного тока с активным сопротивлением и ёмкостью»	2

## Продолжение таблицы

1	2	3	4
		<b>Лабораторная работа № 10</b> «Исследование последовательной резонансной цепи»	2
		<b>Лабораторная работа № 11</b> «Исследование параллельной резонансной цепи»	2
4.4	Трехфазные электрические цепи	<b>Лабораторная работа № 12</b> «Исследование трехфазной электрической цепи при соединении приемника «треугольником»»	2
		<b>Лабораторная работа № 13</b> «Исследование трехфазной электрической цепи при соединении приемника «звездой»»	2
4.5		<b>Лабораторная работа № 14</b> «Исследование однофазного трансформатора»	2
		<b>Итого:</b>	<b>28</b>

## Лабораторная работа №1

**Тема:** «Электроизмерительные приборы и измерения»

**Цель работы:** Получение практических навыков работы с измерительными приборами.

### Теоретические сведения

#### *Погрешности измерений*

Погрешность – это отклонение значения измеряемой величины от истинного значения.

1. *Абсолютная погрешность*  $\Delta$  (дельта большое) [1] – это разность между измеренным  $X$  и истинным  $X_{ИСТ}$  (или действительным  $X_D$ , т. е. полученным более точным прибором) значениями измеряемой величины. Абсолютная погрешность определяется по формуле, измеряется в тех же величинах, что и измеряемая величина.

$$\Delta = X - X_D \quad (1)$$

2. *Относительная погрешность*  $\delta$  (дельта малое) – отношение абсолютной погрешности к действительному  $X_D$  (или измеренному  $X$ ) значению, выраженное в процентах. Относительная погрешность определяется по формулам

$$\delta_D = \frac{\Delta}{X_D} 100\% \quad (2)$$

$$\delta_{изм} = \frac{\Delta}{X} 100\% \quad (3)$$

3. *Приведенная погрешность* (относительная приведенная погрешность)  $\delta_{пр}$  – это отношение абсолютной погрешности  $\Delta$  к нормирующему значению  $A_H$  (часто это верхний предел диапазона измерения  $A_K$ ) прибора, выраженное в процентах. Относительная приведенная погрешность определяется по формуле

$$\delta_{пр} = \frac{\Delta}{A_H} 100\% = \frac{\Delta}{A_K} 100\% \quad (4)$$



Для стрелочного измерительного прибора максимально допустимая относительная приведенная погрешность определяет его как класс точности. По ГОСТ 8.401-80 существует 9 классов точности электроизмерительных приборов: 0,02; 0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1,0; 1,5; 2,5; 4,0.

Для получения наименьшей погрешности следует выбирать такой предел измерения, чтобы показания были в последней трети шкалы.

### Порядок выполнения работы

**Задание 1.** Выполнить измерение напряжения «Источника питания» E цифровым вольтметром.

1.1. Собрать схему, представленную на рисунке 1.

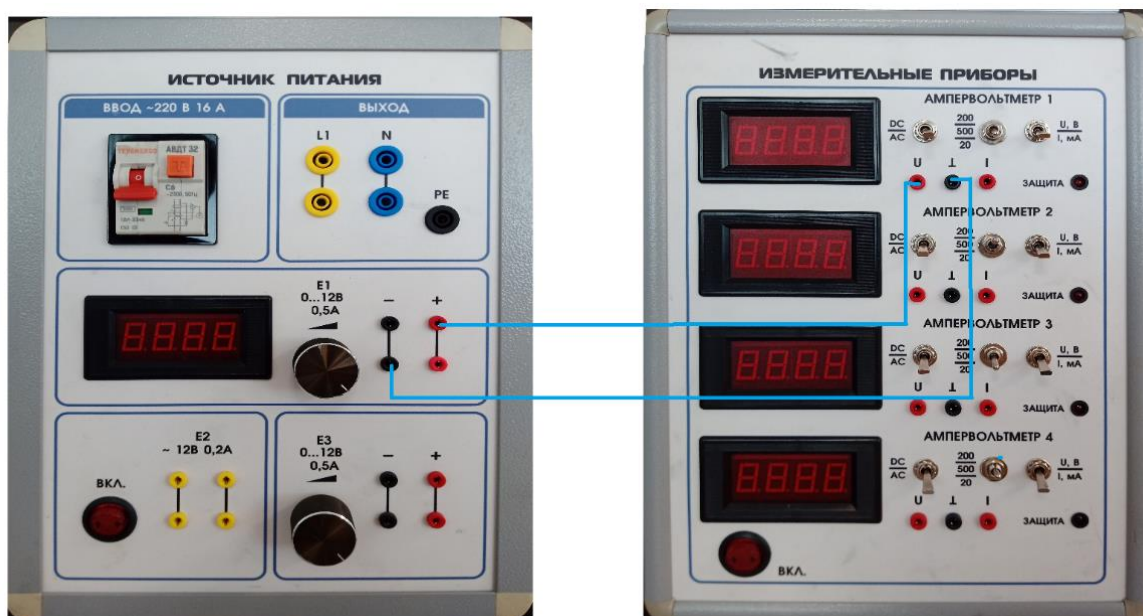


Рисунок 1. Схема подключения модулей стенда для измерения напряжения источника питания

1.2. Результаты измерений записать в таблицу 1.

Таблица 1. Напряжение «Источника питания»

Показания $E_1$ , В	+5 В	+9 В	+12 В	~12 В
$U_{изм}$ , В				
$\Delta$ , В				
$\delta_{изм}$				

1.3. Рассчитать абсолютную и относительную погрешность измерения. За действительное значение принять показания вольтметра источника питания.

1.4. Построить график зависимости относительной погрешности измерения от измеряемой величины  $\delta_{изм} = f(U_{изм})$ .

**Задание 2.** Выполнить измерение тока стрелочным амперметром, а измерение напряжений цифровым вольтметром.

2.1. Собрать схему, представленную на рисунке 2. Значения сопротивлений  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$  установить по указанию преподавателя на модуле стенда «Сопротивления добавочные».

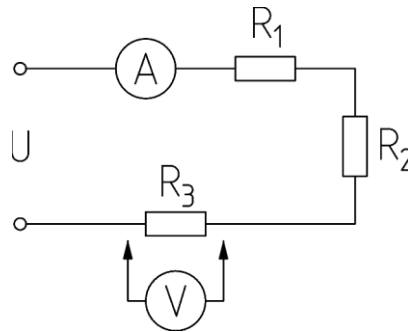


Рисунок 2. Схема для измерения тока и напряжений

Схема подключения модулей стенда для измерения тока и напряжений представлена на рисунке 3.

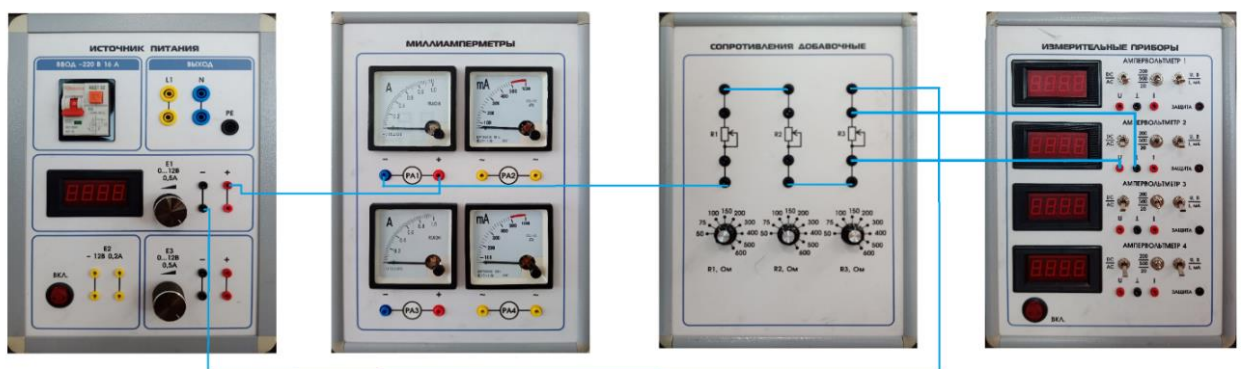


Рисунок 3. Схема подключения модулей стенда для измерения тока и напряжений

2.2. Результаты измерений записать в таблицу 2.

Таблица 2. Ток в цепи и напряжение на элементах цепи

$I, A$	$U, B$	$U_1, B$	$U_2, B$	$U_3, B$

Рассчитать элементы цепи  $R_{общ}$ ,  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$  используя закон Ома для участка цепи [3]. Результаты записать в таблицу 3.

Таблица 3. Сопротивления элементов цепи

$R_1, Ом$	$R_2, Ом$	$R_3, Ом$	$R_{общ}, Ом$

**Задание 3.** Выполнить измерение сопротивления мультиметром.

3.1 Используя резисторы блока «Добавочные сопротивления» собрать схему, представленную на рисунка 4.

3.1. Измерить сопротивления мультиметром. Результаты измерений записать в таблицу 4.

Таблица 4. Измеренные значения добавочных сопротивлений

$R_1, Ом$	$R_2, Ом$	$R_3, Ом$

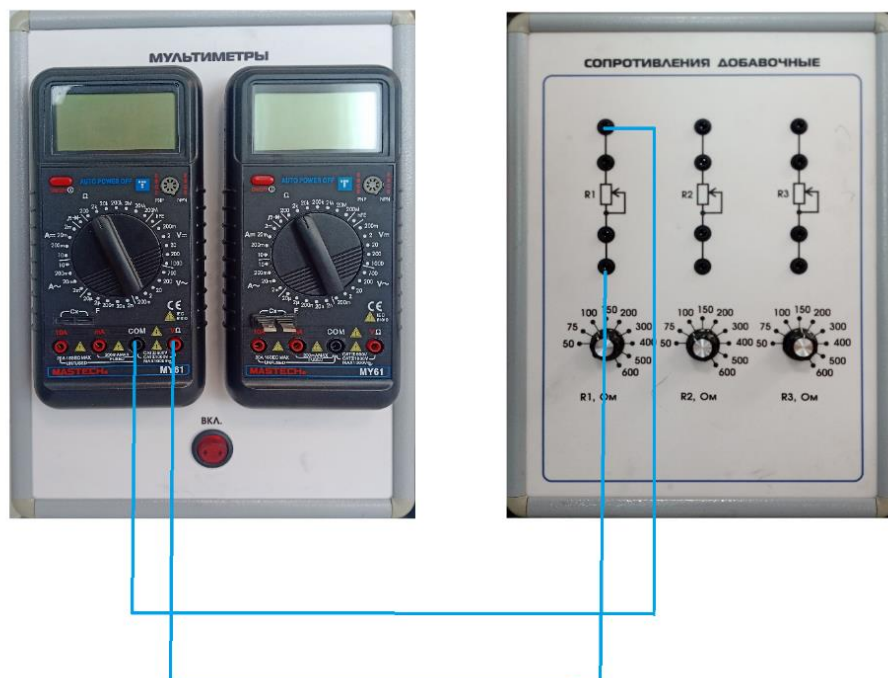


Рисунок 3. Схема подключения мультиметра для измерения сопротивлений

Сделать выводы и составить отчет по результатам выполненной работы.

### Контрольные вопросы

1. Приведите УГО элементов электрической цепи –  $R$ ,  $L$ ,  $C$  на схемах.
2. Как определяется абсолютная погрешность измерения?
3. Как определяются относительные погрешности измерений?
4. Как определить цену деления аналогового измерительного прибора?
5. Сформулировать закон Ома для участка цепи.

### Лабораторная работа № 2

**Тема:** «Измерение мощности в цепях постоянного тока»

**Цель работы:** Ознакомиться с методами и средствами измерения мощности в цепях постоянного тока, получить навыки работы с измерительными приборами и обработки результатов измерений.

#### Теоретические сведения

Для измерения мощности в цепях постоянного и переменного тока используют прямые и косвенные измерения [3]. Прямые измерения мощности производятся электродинамическими и ферродинамическими ваттметрами, кроме того, используются цифровые ваттметры, в которых для нахождения мощности реализована функция перемножения векторов тока и напряжения. В лабораторных условиях электродинамические ваттметры используются чаще других, они выпускаются в виде переносных многопредельных приборов с классом точности 0,1 – 0,5.

Мощность в цепях постоянного тока можно определить косвенным путем по показаниям амперметра и вольтметра. При таком измерении мощность потребления нагрузки  $R$  определяется произведением тока в нагрузке  $I$  и падением напряжения на ней  $U$ :  $P = UI = I^2 R$  [2].

При косвенных измерениях электрической мощности возможны две схемы включения приборов (рисунок 1) [3]. В обоих случаях на результатах измерений сказывается методическая погрешность, обусловленная влиянием внутреннего сопротивления вольтметра и/или амперметра. В схеме,

представленной на рисунке 1а, амперметр измеряет не ток нагрузки, а сумму токов нагрузки  $I_{нагр}$  и вольтметра  $I_V$ , в схеме, представленной на рисунке 1б, – показания вольтметра определяются не падением напряжения на нагрузке, а суммой падений напряжения на нагрузке  $U_{нагр}$  и амперметре  $U_A$ .

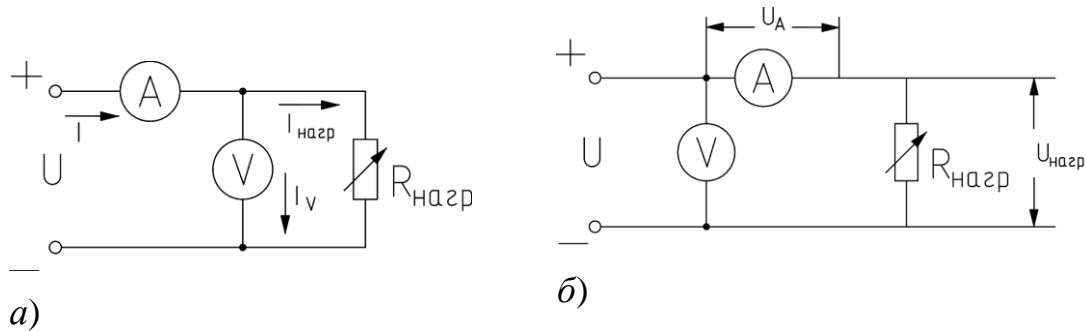


Рисунок 1. Косвенное измерение мощности вольтметром и амперметром

Следовательно, в обоих случаях мощность, вычисленная на основании показаний амперметра и вольтметра, будет отличаться от действительного значения  $P_D$ . Первую схему лучше использовать, если  $R_{нагр} \ll R_V$ , вторую – если  $R_{нагр} \gg R_A$ , где  $R_{нагр}$  – сопротивление нагрузки, а  $R_V$  и  $R_A$  – внутреннее сопротивление вольтметра и амперметра соответственно.

При выполнении косвенных измерений мощности в соответствии с описанной выше процедурой абсолютная методическая погрешность измерений в случае, изображенном на рисунке 1а, вычисляется по формуле (1), а во втором случае (рисунок 1б) – по формуле (2).

$$\Delta P = P - P_D = P_D \cdot \frac{R_{нагр}}{R_V}, \text{ Вт} \quad (1)$$

$$\Delta P = P - P_D = P_D \cdot \frac{R_A}{R_{нагр}}, \text{ Вт} \quad (2)$$

Оценка предельной результирующей относительной инструментальной погрешности косвенных измерений мощности электрического тока проводится по формуле (3).

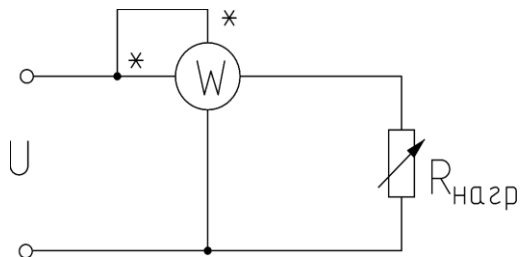
$$\delta_{P_{инст.}} = \left( \frac{\Delta P}{P} \right) \cdot 100\% = \left( \frac{\Delta I}{I} + \frac{\Delta U}{U} \right) \cdot 100\% = \delta_I + \delta_U, \quad (3)$$

где  $\Delta P$ ,  $\Delta I$  и  $\Delta U$  – абсолютные погрешности измерений мощности, силы тока и напряжения соответственно.

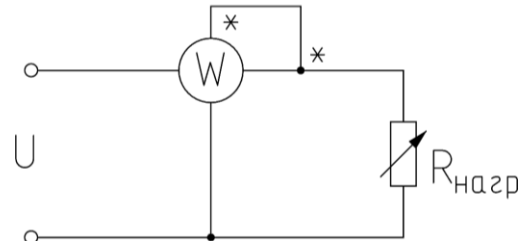
## Порядок выполнения работы

### Задание 1. Измерить мощность постоянного тока электродинамическим ваттметром

1.1. Собрать схему, представленную на рисунке 2а.



а)



б)

Рисунок 2. Схемы прямого измерения мощности

Схема подключения модулей стенда для измерения мощности электродинамическим ваттметром представлена на рисунке 3.

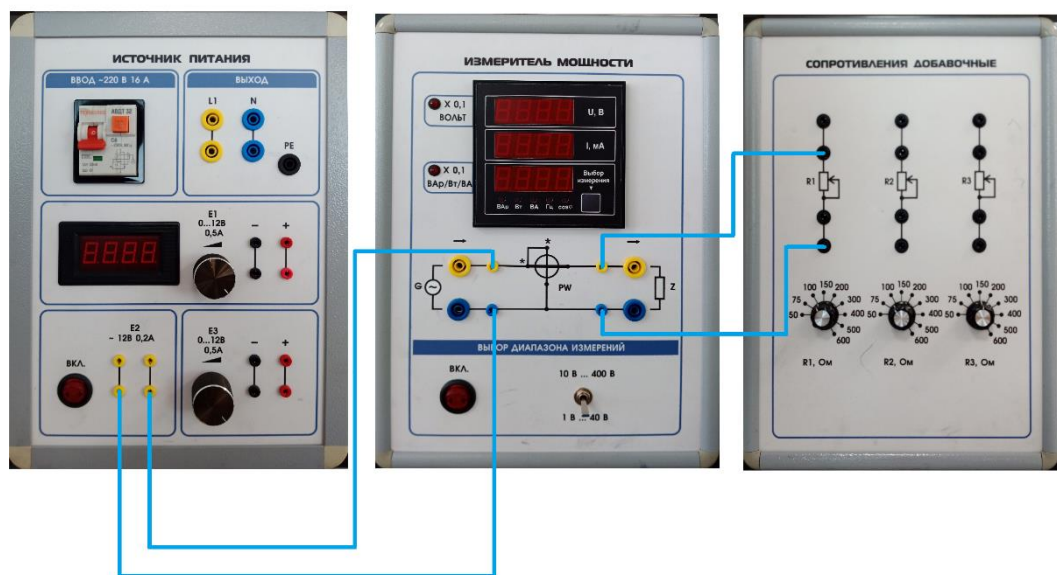


Рисунок 3. Схема подключения модулей стенда для измерения мощности электродинамическим ваттметром

1.2. Установите напряжение источника питания  $U_{ном} = 24$  В. Выполните измерение мощности для значений сопротивлений, указанных преподавателем. Для определения поправки  $\Delta P$  измеряют мощность, потребляемую обмоткой напряжения и токовой обмоткой ваттметра  $W$ . Для

этого в схеме отключите нагрузку и снимите показания ваттметра –  $P_w \text{ номр.}$ ,

тогда  $\Delta P = P_w - P_{w \text{ номр.}}$ .

Результаты эксперимента занесите в таблицу 1.

*Примечание:* при измерении  $\Delta P$  допускается нагрузку не отключать, а устанавливать ее сопротивление  $R_{\text{нагр}} = 100 \text{ кОм}$ .

Таблица 1. Измерение мощности электродинамическим ваттметром в схеме 2а

Сопротивление нагрузки $R_{\text{нагр.}}$ , Ом	Результаты измерений по рисунку 2а			
	Мощность $P_w$ , Вт	Поправка $\Delta P$ , Вт	Мощность $P_{\text{нагр.}}$ , Вт	Погрешность $\delta_{\text{изм}}$

1.3. Собрать схему, представленную на рисунке 2б, выполнить измерения мощности, результаты записать в таблицу 2.

Таблица 2. Измерение мощности электродинамическим ваттметром в схеме 2б

Сопротивление нагрузки $R_{\text{нагр.}}$ , Ом	Результаты измерений по рисунку 2б			
	Мощность $P_w$ , Вт	Поправка $\Delta P$ , Вт	Мощность $P_{\text{нагр.}}$ , Вт	Погрешность $\delta_{\text{изм}}$

### Указания по обработке результатов измерений и оценке погрешностей

В методе ваттметра действительную мощность  $P_{\text{нагр.}}$ , потребляемую нагрузкой, вычисляют по формуле  $P_{\text{нагр.}} = P_w - \Delta P$ .

Относительную погрешность измерения рассчитывают по формуле (4)

$$\delta_{\text{изм}} = \left( \frac{U_{\text{ном}} \cdot I_{\text{ном}} \cdot K_w}{P_w} \right), \quad (4)$$



где  $U_{ном}$ ,  $I_{ном}$  – установленные пределы измерения ваттметра по напряжению и току;

$K_w$  – класс точности ваттметра;

$P_w$  – показания ваттметра.

## Задание 2. Измерить мощность постоянного тока косвенным методом

2.1. Соберите схему для косвенного измерения мощности по рисунку 3а, затем по рисунку 3б. Снимите показания вольтметра и амперметра, устанавливая те же значения сопротивлений, что и в предыдущих пунктах. Запишите результаты в таблицы 3 и 4.

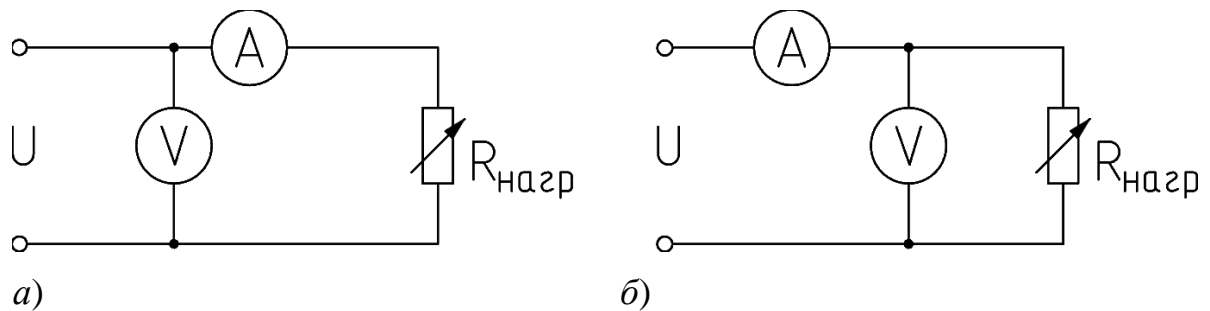


Рисунок 3. Схема косвенного измерения мощности

Схема подключения модулей стенда для измерения мощности косвенным методом представлена на рисунке 4.

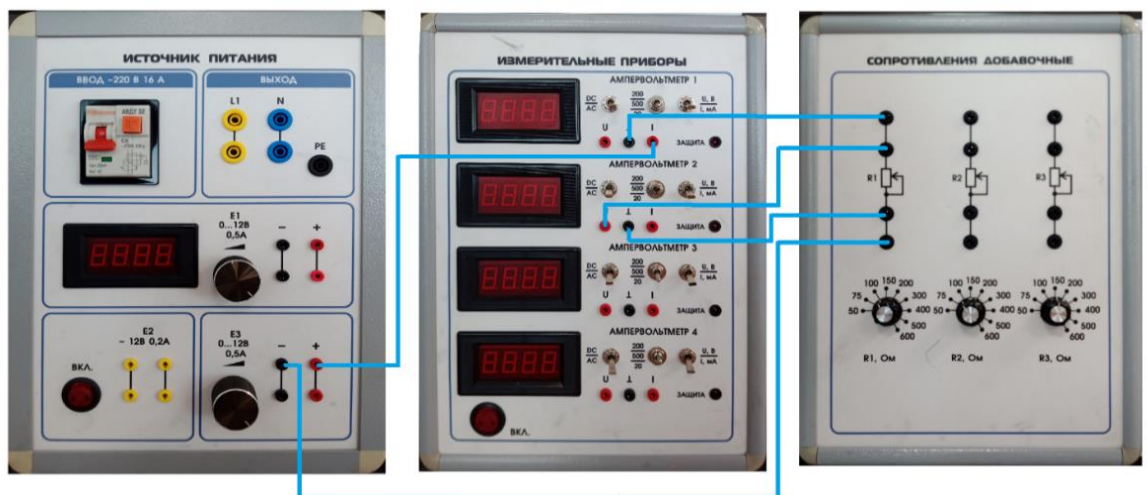


Рисунок 4. Схема подключения модулей стенда для измерения мощности косвенным методом



Таблица 3. Измерение мощности косвенным методом в схеме 3а.

Сопротивление нагрузки $R_{нагр.}$ , Ом	Результаты измерений по рисунку 3а		
	Ток $I$ , А	Напряжение $U$ , В	Мощность $P_{изм.}$ , Вт

Таблица 4. Измерение мощности косвенным методом в схеме 3б.

Сопротивление нагрузки $R_{нагр.}$ , Ом	Результаты измерений по рисунку 3б		
	Ток $I$ , А	Напряжение $U$ , В	Мощность $P_{изм.}$ , Вт

2.2. По результатам косвенных измерений рассчитайте абсолютную и относительную погрешности измерений, определите действительную мощность потребления нагрузки.

### **Указания по обработке результатов измерений и оценке погрешностей**

При выполнении косвенных измерений мощности методом амперметра и вольтметра погрешность измерения определяется методической и инструментальной составляющими. Абсолютная методическая погрешность измерений в случае, изображенном на рисунке 3а вычисляется по формуле (5), а на рисунке 3б – по формуле (6).

$$\Delta P_{мет.} = P_{нагр.} \cdot \frac{R_{нагр.}}{R_V}, \quad (5)$$

$$\Delta P_{мет.} = P_{нагр.} \cdot \frac{R_A}{R_{нагр.}}, \quad (6)$$

где  $P_{нагр}$  – мощность нагрузки, определенная методом вольтметра амперметра.

Относительная методическая погрешность определяется по формуле (7).

$$\delta_{P.мет.} = \frac{\Delta P_{мет.}}{P_{нагр.}} \quad (7)$$

Абсолютная инструментальная погрешность определяется классом точности прибора и находится по формулам (8, 9, 10).

$$\Delta_I = \frac{\gamma_A \cdot I_{ном.}}{100\%}; \quad (8)$$

$$\Delta_U = \frac{\gamma_U \cdot U_{ном.}}{100\%}; \quad (9)$$

$$\Delta_{инс.} = I \cdot \Delta_U + U \cdot \Delta_I \quad (10)$$

где  $\gamma_U, \gamma_A$  – классы точности амперметра и вольтметра

Относительная инструментальная составляющая погрешности находится по формуле (11)

$$\delta_{инс.} = \left( \frac{\Delta_I}{I} \right) + \left( \frac{\Delta_U}{U} \right), \quad (11)$$

где  $I, U$  – показания амперметра и вольтметра при косвенных измерениях мощности.

Абсолютная и относительная погрешности измерения мощности определяются сложением  $\Delta_{изм.} = \Delta_{мет.} + \Delta_{инс.}$ ,  $\delta_{изм.} = \delta_{мет.} + \delta_{инс.}$ .

Сделать выводы и составить отчет по результатам выполненной работы.

### **Контрольные вопросы**

1. Какие электромеханические механизмы используются в ваттметрах постоянного тока?
2. Дайте определения прямых и косвенных измерений.
3. Назовите основные источники погрешности при косвенном измерении мощности постоянного тока.
4. Приведите примеры методических погрешностей.
5. Какая погрешность называется инструментальной?

### Лабораторная работа № 3

**Тема:** «Измерение сопротивлений»

**Цель работы:** Освоить методику измерения сопротивлений методом амперметра и вольтметра и с помощью омметра.

#### Теоретические сведения

Сопротивления измеряют косвенным методом или с помощью омметра. При измерении сопротивления косвенным методом применяют две схемы включения амперметра и вольтметра (рисунок 1) [2].

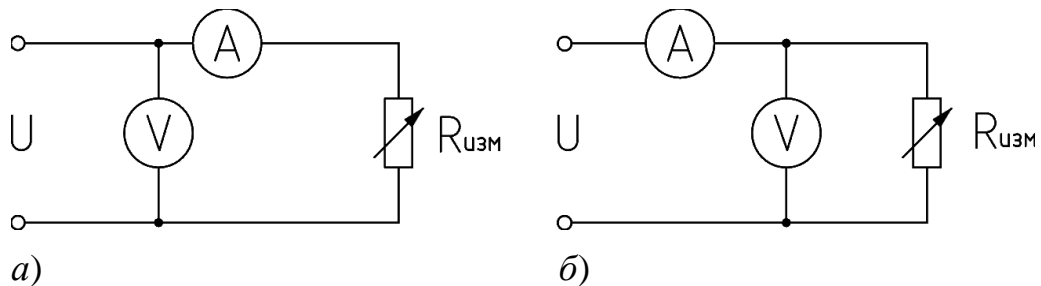


Рисунок 1. Схема измерения сопротивления

В схеме, изображенной на рисунке 1а, показания вольтметра  $U_V$  равны сумме напряжений на измеряемом сопротивлении  $R_{изм}$  и на амперметре  $U_A$ . В этом случае измеряемое сопротивление определяется по формуле (1).

$$R_{изм} = \frac{U_V - U_A}{I_A} = \frac{U_V - I_A R_A}{I_A} = \frac{U_V}{I_A} - R_A, \quad (1)$$

Из формулы видим, что появляется погрешность измерения, равная  $R_A$  (внутреннее сопротивление амперметра). Поэтому эту схему применяют для измерения сопротивлений, больших по сравнению с сопротивлением амперметра (в 100 раз и более), что позволяет пренебречь сопротивлением  $R_A$ , т.е. считать что  $R_{изм} = \frac{U_V}{I_A}$ .

При использовании схемы изображенной на рисунке 1б показание амперметра  $I_A$  равно сумме токов через сопротивление  $R_{изм}$  и вольтметр  $I_V$ , следовательно, измеряемое сопротивление можно определить по формуле (2).

$$R_{изм} = \frac{U_V}{I_A - I_V} = \frac{U_V}{I_A - \frac{U_V}{R_V}} \quad (2)$$

Эту схему применяют для измерения сопротивлений, меньших по сравнению с сопротивлением вольтметра (в 100 раз и менее). В этом случае ток через вольтметр можно пренебречь, т.е. считать  $R_{изм} = \frac{U_V}{I_A}$ .

### Порядок выполнения работы

#### Задание 1. Измерить сопротивление методом вольтметра амперметра

1.1. Собрать схему представленную на рисунке 1а.

Схема подключения модулей стенда для измерения сопротивления представлена на рисунке 2.

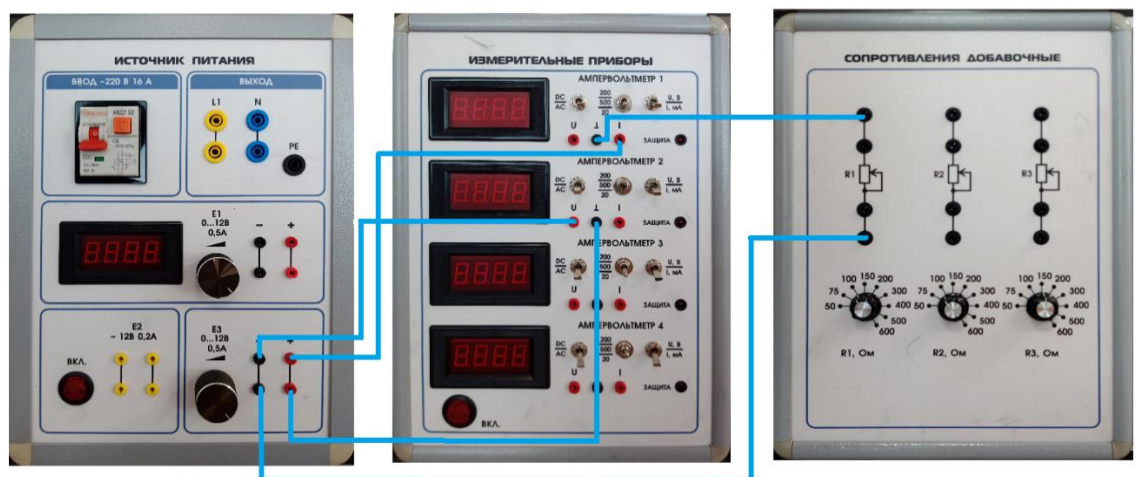


Рисунок 2. Схема подключения модулей стенда для измерения сопротивления

1.2. Установите на модуле сопротивление  $R$  по указанию преподавателя.

1.3. Снимите показания вольтметра и амперметра. Результаты измерений запишите с таблицу 1.

Таблица 1. Результаты измерений и расчетов по схеме 1а.

№	R, Ом	Измерить		Сокращенные формулы			Полные формулы		
		I, A	U, B	$R_{изм}, Ом$	$\Delta R,$ Ом	$\gamma, \%$	$R_{изм},$ Ом	$\Delta R, Ом$	$\gamma, \%$
1									
2									
3									

1.4. Рассчитать  $R_{изм}$ , пользуясь полными и сокращенными формулами. Результаты занести в таблицу 1.

1.5. Найти для всех случаев абсолютную и относительную погрешность, считая  $R$  – действительным значением,  $R_{изм}$  – (по формулам) – измеренным значением. Вычислить  $\Delta R = R_{изм} - R$ ;  $\gamma = (\Delta R / R) \cdot 100\%$ . Результаты вычислений занести в таблицу 1.

1.6. Собрать схему представленную на рисунке 1б. Выполнить аналогичные измерения, произвести необходимые расчеты, результаты занести в таблицу 2.

Таблица 2. Результаты измерений и расчетов в схеме 1б.

№	R, Ом	Измерить		Сокращенные формулы			Полные формулы		
		I, А	U, В	$R_{изм}$ , Ом	$\Delta R$ , Ом	$\gamma$ , %	$R_{изм}$ , Ом	$\Delta R$ , Ом	$\gamma$ , %
1									
2									
3									

## Задание 2. Измерить сопротивление омметром

2.1. Установите на модуле сопротивление  $R$  по указанию преподавателя.

2.2. Подключите мультиметр как показано на рисунке 3.

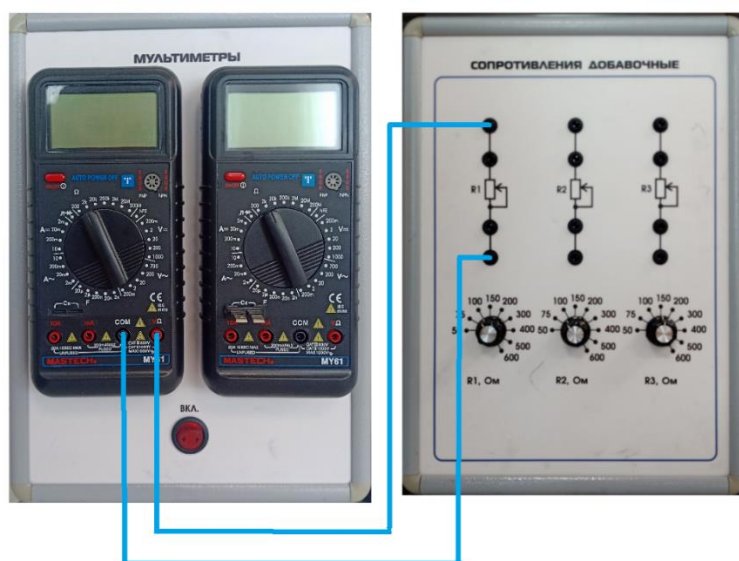


Рисунок 3. Схема измерения сопротивления мультиметром.

2.3. Переключателем режимов мультиметра выбрать режим измерения сопротивления. Измерить сопротивления резисторов мультиметром и сравнить с номинальными значениями сопротивлений.

Таблица 3. Измерение сопротивлений

Резистор	$R_1$	$R_2$	$R_3$
Номинальное значение сопротивления, Ом			
Измерено, Ом			

Сделать выводы и составить отчет по результатам выполненной работы.

### Контрольные вопросы

1. Приведите классификацию резисторов по назначению.
2. Какими основными параметрами характеризуются резисторы?
3. Как обозначаются резисторы на электрических схемах?
4. Какие методы используются для измерения сопротивлений?
5. В каких единицах измеряются сопротивления (кратные и дольные единицы)?

### Лабораторная работа № 4

**Тема:** «Исследование электрических цепей при последовательном и параллельном соединении резисторов»

**Цель работы:** Опытным путём изучить эквивалентное сопротивление цепи, при последовательном и параллельном соединении резисторов.

### Теоретические сведения

Соединение группы элементов называется последовательным, если конец предыдущего элемента соединен с началом следующего [1]. При этом начало первого элемента и конец последнего являются зажимами группы элементов, которыми она может быть присоединена к другим участкам цепи (рисунок 1).

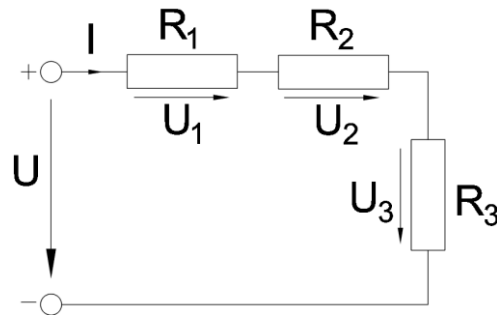


Рисунок 1. Последовательное соединение резисторов

Свойства последовательного соединения:

1. Ток в любом сечении последовательной цепи одинаков.
2. Напряжение на зажимах цепи равно сумме напряжений на всех ее участках.
3. Напряжение на участках цепи прямо пропорционально сопротивлению этих участков.
4. Общее эквивалентное сопротивление последовательной цепи равно арифметической сумме сопротивлений отдельных участков (1).

$$R_{\text{экв.}} = R_1 + R_2 + R_3, \text{ Ом} \quad (1)$$

где  $R_{\text{экв.}}$  – общее сопротивление,

$R_1, R_2, R_3$  – сопротивления участков цепи.

Параллельным называется соединение группы элементов [3], в котором начала всех элементов соединены в одном зажиме, а концы – в другом (рисунок 2). Этими зажимами группа присоединяется к другим участкам цепи.

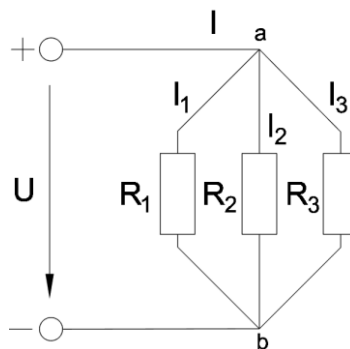


Рисунок 2. Параллельное соединение резисторов

Свойства параллельного соединения:

1. Напряжение на всех ветвях параллельной цепи одинаково.

2. Токи ветвей при параллельном соединении обратно пропорциональны их сопротивлениям.

3. Эквивалентная (общая) проводимость равна сумме проводимостей всех параллельных ветвей.

4. Общее эквивалентное сопротивление параллельной цепи, состоящей из двух элементов определяется по формуле (2).

$$R_{\text{экв}} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} \text{ Ом} \quad (2)$$

### Порядок выполнения работы

#### Задание 1. Исследование последовательной электрической цепи.

1.1. Собрать электрическую схему последовательной цепи (рисунок 3).

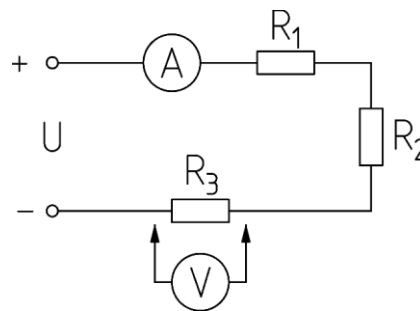


Рисунок 3. Электрическая схема измерения параметров последовательной цепи

Схема подключения модулей стенда для измерения параметров последовательной цепи представлена на рисунке 4.

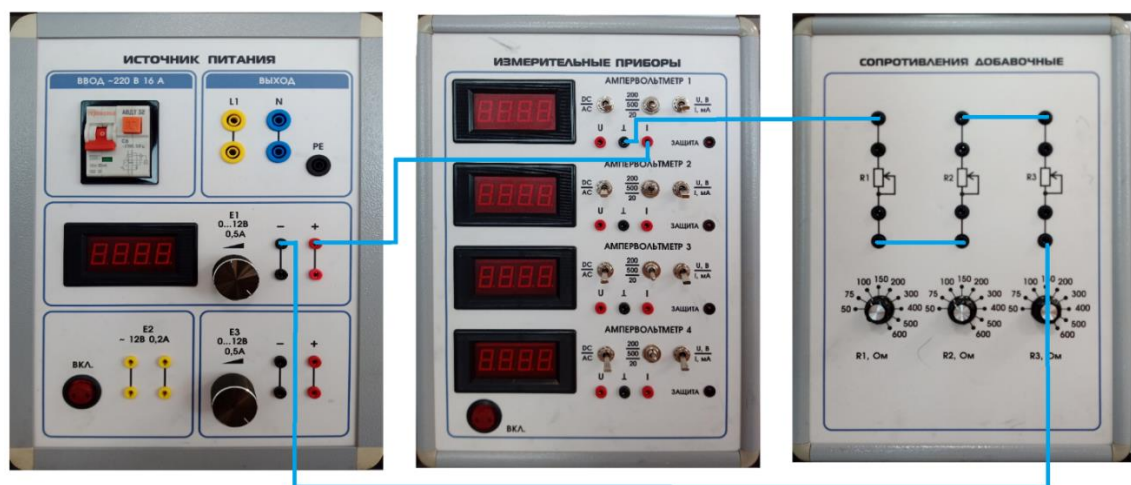


Рисунок 4. Схема подключения модулей стенда для измерения параметров последовательной цепи



1.2. Установить заданные преподавателем параметры сопротивлений на модуле «Сопротивления добавочные».

1.3. Произвести измерение тока, напряжения на каждом участке цепи. Результаты записать в таблицу 1.

Таблица 1 Последовательное соединение резисторов

№	Участок цепи	Результаты наблюдений		Результаты вычислений	
		$U$ , В	$I$ , А	$P$ , Вт	$R$ , Ом
1	$R_1 =$				
2	$R_2 =$				
3	$R_3 =$				
4	$R_{\text{ЭКВ.}}$				

## Задание 2. Исследование параллельной электрической цепи.

2.1. Собрать электрическую схему параллельной цепи (рисунок 5).

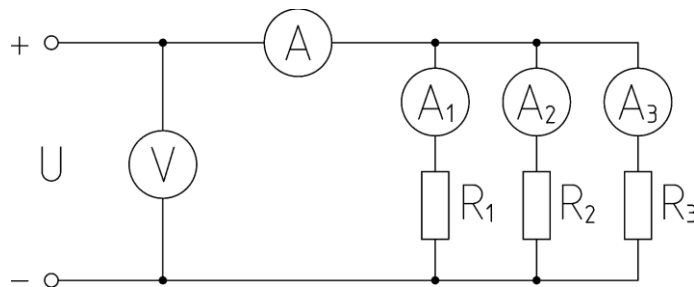


Рисунок 5. Электрическая схема параллельной цепи

Схема подключения модулей стенда для измерения параметров параллельной цепи представлена на рисунке 6.

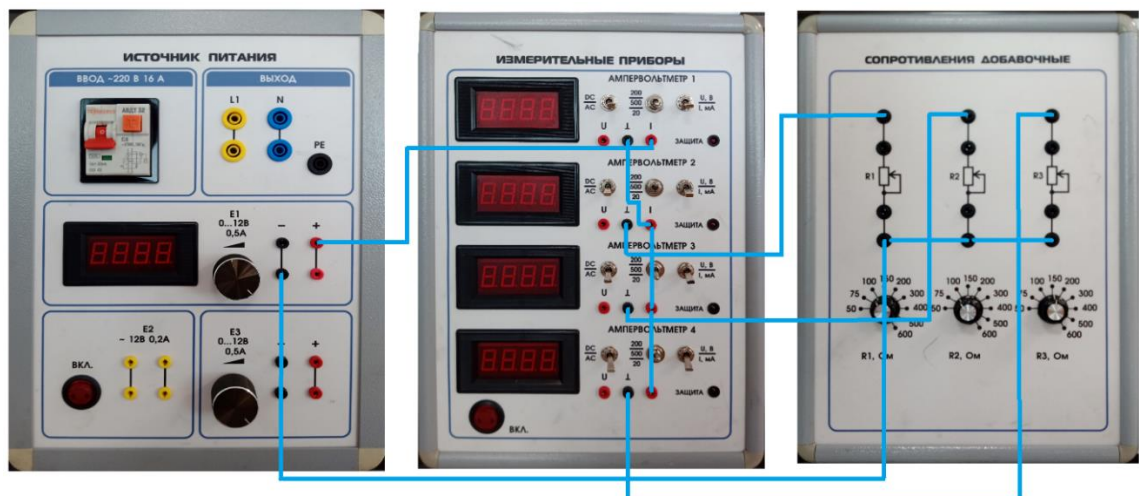


Рисунок 6. Схема подключения модулей стенда для измерения параметров параллельной цепи

1.2. Установить заданные преподавателем параметры сопротивлений на модуле «Сопротивления добавочные».

1.3. Произвести измерение тока, напряжения на каждом участке цепи. Результаты записать в таблицу 2.

Таблица 2 Параллельное соединение резисторов

№	Участок цепи	Результаты наблюдений		Результаты вычислений	
		$U, В$	$I, А$	$P, Вт$	$R, Ом$
1	$R1 =$				
2	$R2 =$				
3	$R3 =$				
4	$R_{э\text{кв.}}$				

Сделать выводы и составить отчет по результатам выполненной работы.

### Контрольные вопросы

1. Какое соединение резисторов называют последовательным, параллельным?
2. Как определить общее сопротивление цепи при последовательном и параллельном соединении резисторов?
3. Что называется проводимостью, в каких единицах она измеряется?
4. Чему равен общий ток цепи и напряжение на участках при последовательном и параллельном соединении?
5. Как определяется мощность на участках цепи и всей цепи при последовательном и параллельном соединении?

## Лабораторная работа № 5

**Тема:** «Изучение законов Кирхгофа»

**Цель работы:** Проверка опытным путем справедливости законов Кирхгофа и возможности их применения к расчету сложных электрических цепей.

### Краткие теоретические сведения

Для расчета электрических цепей наряду с законом Ома применяются два закона Кирхгофа [1].

Первый закон Кирхгофа применяется к узлам электрических цепей. В ветвях, образующих узел электрической цепи, алгебраическая сумма токов равна нулю  $\sum I_k = 0$ .

Знаки токов, входящих в эту сумму, зависят от их направления. Токи, направленные к узлу, положительны, а токи, направленные от узла – отрицательны.

Второй закон Кирхгофа применяется к контурам электрических цепей.

Алгебраическая сумма ЭДС, входящих в замкнутый контур, равна алгебраической сумме падений напряжений на всех участках этого контура  $\sum E_k = \sum I_k R_k$ .

### Порядок выполнения работы

#### Задание 1. Проверить первый и второй законы Кирхгофа

1.1. Собрать схему, изображенную на рисунке 1.

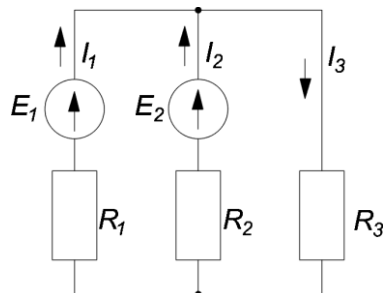


Рисунок 1. Схема для исследования законов Кирхгофа

Схема подключения модулей стенда для исследования законов Кирхгофа на рисунке 2.

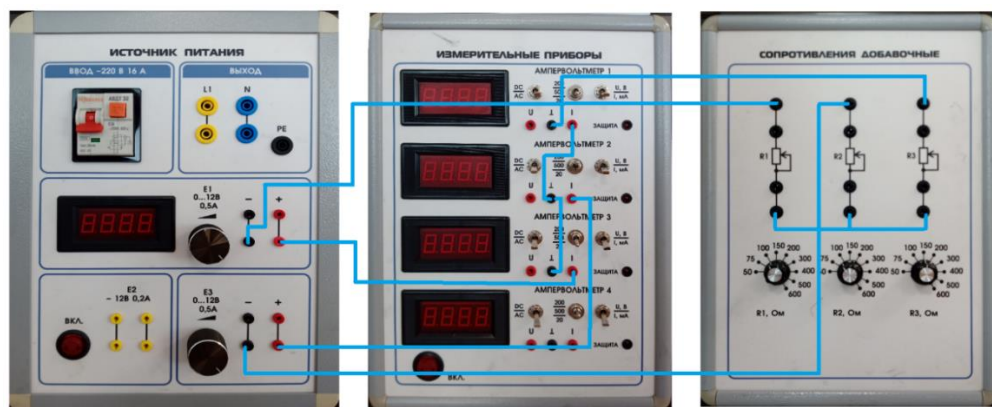


Рисунок 2. Схема подключения модулей стенда для исследования законов Кирхгофа

1.2. Установить заданные преподавателем значения ЭДС источников питания  $E_1$  и  $E_2$  и резисторов  $R_1, R_2, R_3$ .

1.3. Измерить значение напряжения на резисторах и значение тока, проходящего через каждый из резисторов. Результаты измерений занести в таблицу 1.

Таблица 1. Результаты измерений и расчетов

Результаты наблюдений							Результаты вычислений			
$E_1, В$	$E_2, В$	$I_1, А$	$I_2, А$	$I_3, А$	$U_1, В$	$U_2, В$	$U_3, В$	$R_1, Ом$	$R_2, Ом$	$R_3, Ом$

1.4. Произвести расчёт сопротивлений  $R_1, R_2, R_3$ , по закону Ома для участка цепи. Результаты занести в таблицу 1.

1.5. Проверить по первому закону Кирхгофа баланс токов для различных узлов.

1.6. Проверить по второму закону Кирхгофа баланс напряжений и ЭДС для всех контуров цепи.

## Задание 2. Расчет цепи по законам Кирхгофа

2.1. Произвести расчет цепи теоретически по методу узловых и контурных уравнений, считая известными значения ЭДС и сопротивлений. Расчет токов выполнить по формулам (1, 2, 3).

$$I_1 = E_1 \frac{R_2 + R_3}{A} - E_2 \frac{R_3}{A} \quad (А), \quad (1)$$

$$I_2 = E_2 \frac{R_1 + R_3}{A} - E_1 \frac{R_3}{A} \quad (А) \quad (2)$$

$$I_3 = E_1 \frac{R_2}{A} + E_2 \frac{R_1}{A} \quad (А) \quad (3)$$

где  $A = R_1 R_2 + R_1 R_3 + R_2 R_3$ .

2.2. Сравнить полученные значения токов с токами, полученными экспериментально. Результаты записать в таблицу 2

Таблица 2. Результаты сравнения измерений и расчетов

Результаты наблюдений			Результаты вычислений		
$I_1, А$	$I_2, А$	$I_3, А$	$I_1, А$	$I_2, А$	$I_3, А$

Сделать выводы и составить отчет по результатам выполненной работы.

### **Контрольные вопросы**

1. В чем заключается первый закон Кирхгофа?
2. В чем заключается второй закон Кирхгофа?
3. Какие ЭДС и падения напряжений считаются положительными, а какие отрицательными?
4. Как изменится уравнение, составленное по второму закону Кирхгофа, если обходить контур в обратном направлении?
5. Как по результатам расчета определить реальное направление токов в ветвях

## **Лабораторная работа № 6**

**Тема:** «Исследование электрических цепей методом наложения»

**Цель работы:** Освоить расчет электрических схем методом наложения.

### **Теоретические сведения**

Метод (принцип) наложения [2] применяется для расчета токов в сложной линейной электрической цепи, в которой действует небольшое количество источников ЭДС (2...3).

Согласно этому методу ток в цепи равен алгебраической сумме токов, создаваемых в ней источниками ЭДС, действующими независимо друг от друга, при неизменных сопротивлениях всех участков цепи. Сущность метода сводится к следующему.

Сначала предполагают, что в цепи действует только ЭДС первого источника, а остальные источники ЭДС исключают и заменяют внутренними сопротивлениями этих источников. Определяют токи для такой цепи. Затем производят расчет, полагая, что в цепи действует только ЭДС второго источника, а все остальные источники ЭДС исключают и заменяют внутренними сопротивлениями источников.

Аналогичные расчеты производят поочередно для всех ЭДС. Так как для каждого участка цепи получается несколько токов, создаваемых в этом

участке каждой ЭДС в отдельности, то алгебраическая сумма этих токов (их называют частичными) дает истинное значение тока, проходящего по этому участку при одновременном действии всех ЭДС.

### Порядок выполнения работы

#### Задание 1. Исследовать электрическую схему методом наложения

1.1. Схема для исследования методом наложения токов представлена на рисунке 1. Установить ЭДС источников  $E_1$ ,  $E_2$  и значения сопротивлений  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$  по указанию преподавателя. Схема подключения модулей стенда для измерения токов при действии источников  $E_1$  и  $E_2$  представлена на рисунке 1.

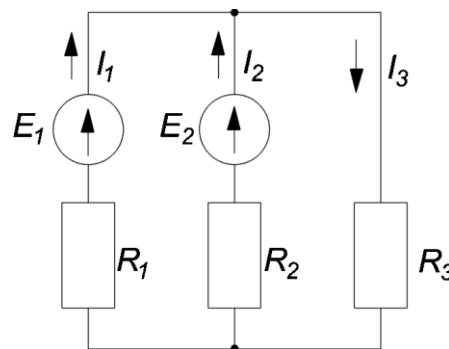


Рисунок 1. Схема для исследования электрической цепи методом наложения токов

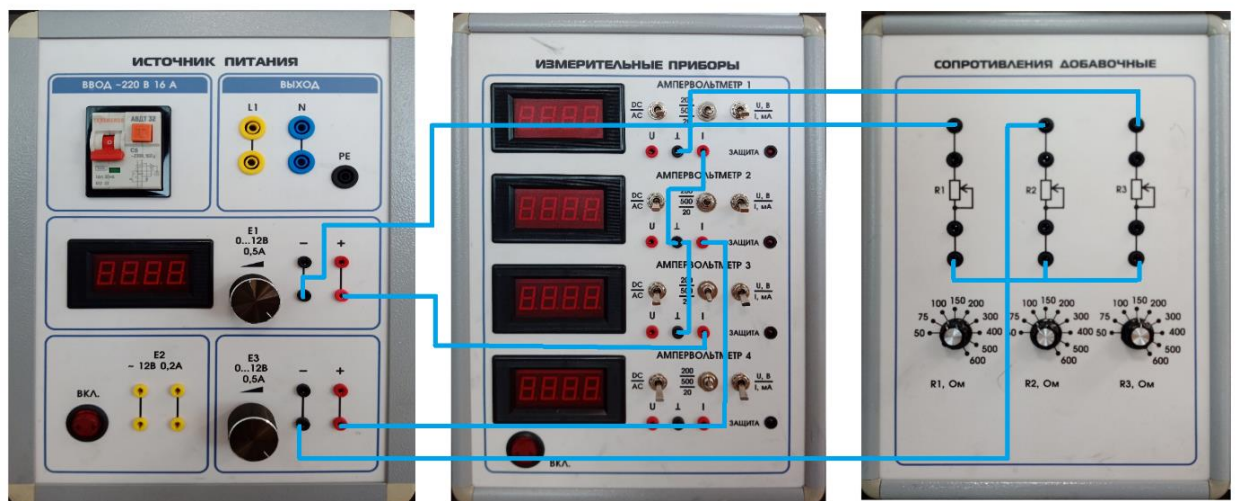


Рисунок 2. Схема подключения модулей стенда для измерения токов при действии источников  $E_1$  и  $E_2$

1.2. Измерить токи  $I_1$ ,  $I_2$ ,  $I_3$ . Результаты записать в таблицу 1.

1.3. Исследовать цепь при действии только ЭДС  $E_1$ . Собрать схему представленную на рисунке 3. Схема подключения модулей стенда для измерения токов при действии источника  $E_1$  представлена на рисунке 4.

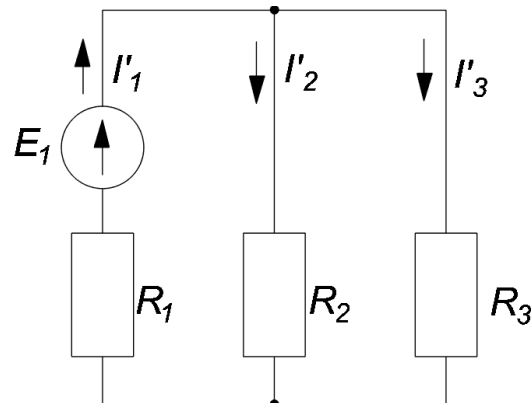


Рисунок 3. Схема измерения частичных токов при действии ЭДС  $E_1$

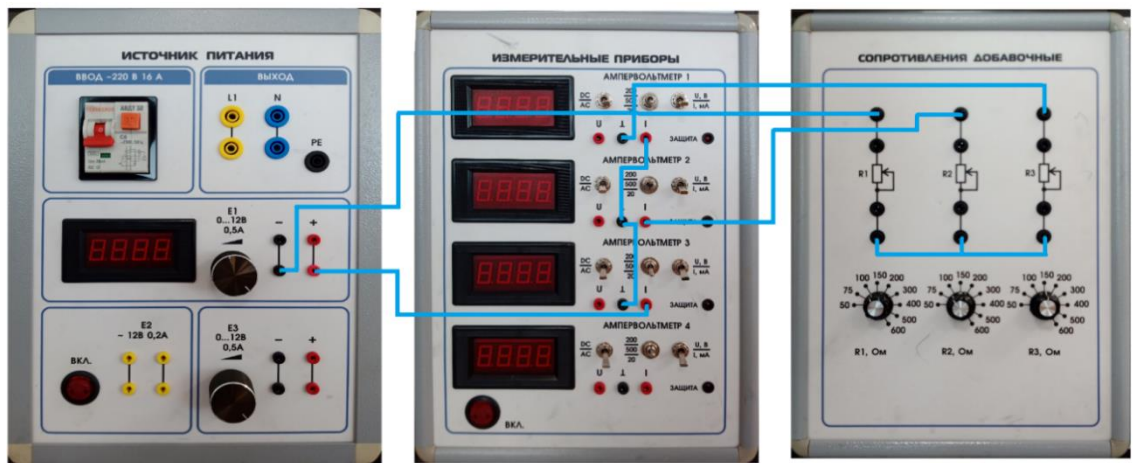


Рисунок 4. Схема подключения модулей стенда для измерения частичных токов при действии ЭДС  $E_1$ .

1.4. Измерить частичные токи  $I'_1, I'_2, I'_3$ . Результаты измерений записать в таблицу 1.

Таблица 1. Результаты измерений

Способ определения токов	$E_1$ , В	$E_2$ , В	$I'_1$ , А	$I'_2$ , А	$I'_3$ , А	$I''_1$ , А	$I''_2$ , А	$I''_3$ , А	$I_1$ , А	$I_2$ , А	$E_1$ , В
Из опыта											
Расчетом											



1.5. Рассмотрим цепь при действии только ЭДС  $E_2$ . Собрать схему представленную на рисунке 5. Схема подключения модулей стенда для измерения токов при действии источника  $E_2$  представлена на рисунке 6.

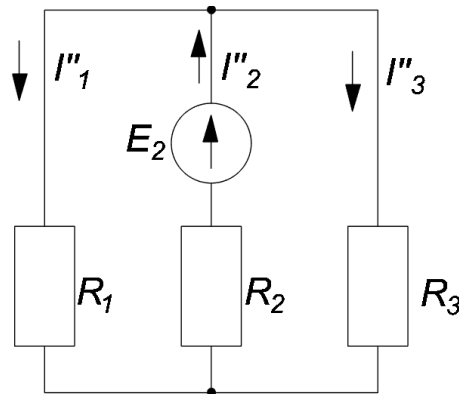


Рисунок 5. Схема измерения частичных токов при действии ЭДС  $E_2$ .

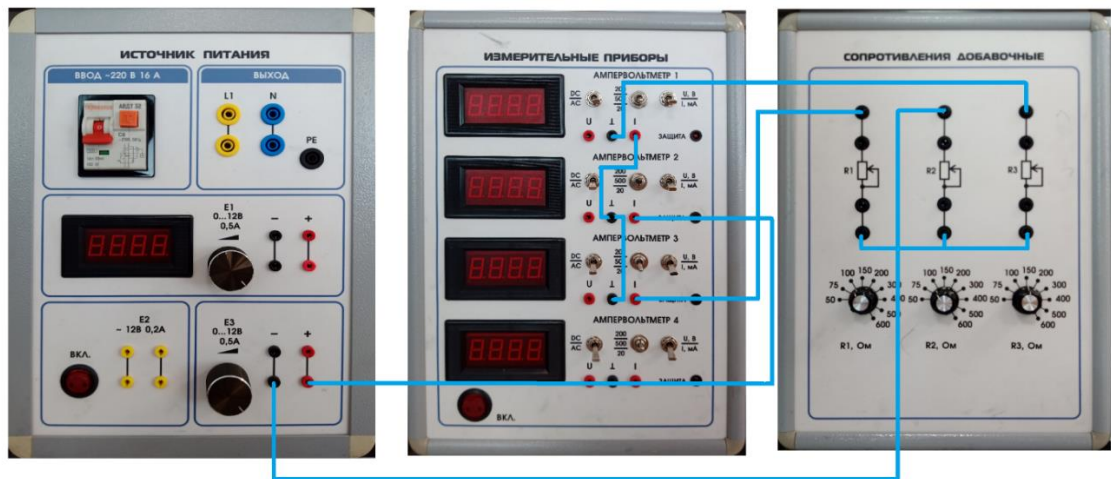


Рисунок 6. Схема подключения модулей стенда для измерения токов при действии источника  $E_2$ .

1.6. Измерить частичные токи  $I_1''$ ,  $I_2''$ ,  $I_3''$ . Результаты измерений записать в таблицу 1.

1.7. Рассчитать токи в ветвях с учетом их направления по формулам (1, 2, 3). Результаты расчетов записать в таблицу 1.

$$I_1 = I_1' - I_1'' \quad (1)$$

$$I_2 = I_2'' - I_2' \quad (2)$$

$$I_3 = I_3' + I_3'' \quad (3)$$



Общие токи могут быть положительными или отрицательными. В последнем случае надо изменить направление тока и считать его положительным в дальнейших расчетах.

## Задание 2. Расчет параметров цепи по методу наложения

2.1. Расчет эквивалентного сопротивления  $R'_{эк}$  и частичных токов  $I'_1, I'_2, I'_3$  при действии только ЭДС  $E_1$  выполнить по формулам (4, 5, 6, 7, 8).

$$R'_{эк} = R_1 + \frac{R_2 R_3}{R_2 + R_3} \quad (4)$$

$$I'_1 = \frac{E_1}{R'_{эк}} \quad (5)$$

$$U'_{AB} = I'_1 \cdot \frac{R_2 R_3}{R_2 + R_3} \quad (6)$$

$$I'_2 = \frac{U'_{AB}}{R_2} \quad (7)$$

$$I'_3 = \frac{U'_{AB}}{R_3} \quad (8)$$

Результаты расчетов записать в таблицу 1.

2.2. Расчет эквивалентного сопротивления  $R''_{эк}$  и частичных токов  $I''_1, I''_2, I''_3$  при действии только ЭДС  $E_2$  выполнить по формулам (9, 10, 11, 12, 13).

$$R''_{эк} = R_2 + \frac{R_1 R_3}{R_1 + R_3} \quad (9)$$

$$I''_2 = \frac{E_2}{R''_{эк}} \quad (10)$$

$$U''_{AB} = I''_2 \cdot \frac{R_1 R_3}{R_1 + R_3} \quad (11)$$

$$I''_1 = \frac{U''_{AB}}{R_1} \quad (12)$$

$$I_3'' = \frac{U_{AB}''}{R_3} \quad (13)$$

Результаты расчетов записать в таблицу 1. Наложив друг на друга частичные токи в ветвях и используя формулы (1, 2, 3), получить значения токов. Результаты записать в таблицу 1. Сравнить результаты расчетов и измерений.

Сделать выводы и составить отчет по результатам выполненной работы.

### **Контрольные вопросы**

1. В чём состоит сущность метода наложения?
2. Поясните алгоритм расчёта электрической цепи по методу наложения.
3. В каких случаях для расчёта сложной цепи целесообразно применять метод наложения?
4. Как выбираются направления токов при их расчете от действия каждой ЭДС в отдельности?
5. Как выбираются знаки отдельных составляющих при определении действительного тока ветви?

## **Лабораторная работа № 7**

**Тема:** «Изучение расчета электрических цепей методом преобразования схем»

**Цель работы:** Проверить опытным путем эквивалентность преобразования схем треугольника и звезды.

### **Теоретические сведения**

Во многих схемах можно встретить такие конфигурации компонентов, в которых невозможно выделить последовательные или параллельные цепи. К этим конфигурациям относятся соединения компонентов в виде звезды (Y) и треугольника (Δ) (рисунок 1).

Очень часто, в ходе анализа электрических цепей, оказывается полезным преобразовать треугольник в звезду или, наоборот, звезду в треугольник [2]. Практически, чаще возникает необходимость преобразования треугольника в

звезду. Если при замене одной из этих схем другой не изменяются потенциалы одноименных точек и подтекающие к ним токи, то во внешней цепи также не произойдет никаких изменений. Иными словами, эквивалентные  $\Delta$  и  $Y$  цепи ведут себя одинаково.

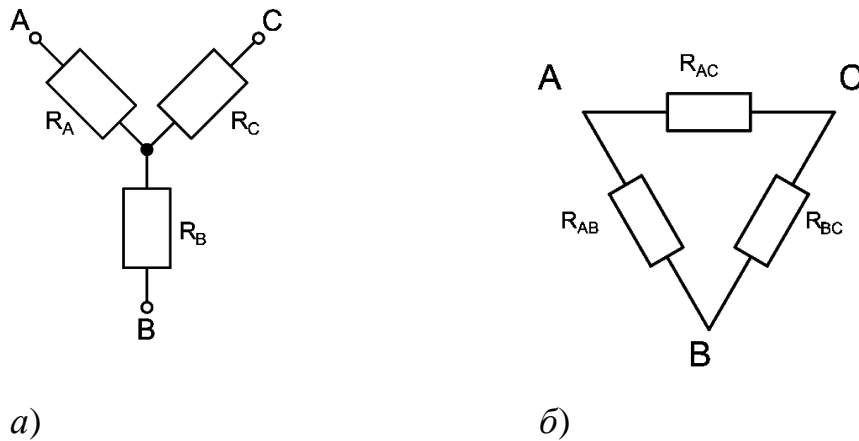


Рисунок 1. Соединения звезды и треугольника

Преобразования треугольника сопротивлений в эквивалентную звезду: выполняются по формулам (1, 2, 3).

$$R_A = \frac{R_{AB} \cdot R_{AC}}{R_{AB} + R_{AC} + R_{BC}} \quad (1)$$

$$R_B = \frac{R_{AB} \cdot R_{BC}}{R_{AB} + R_{AC} + R_{BC}} \quad (2)$$

$$R_C = \frac{R_{AC} \cdot R_{BC}}{R_{AB} + R_{AC} + R_{BC}} \quad (3)$$

Преобразования звезды сопротивлений в эквивалентный треугольник выполняются по формулам (4, 5, 6).

$$R_{AB} = \frac{R_A R_B + R_A R_C + R_B R_C}{R_C} \quad (4)$$

$$R_{BC} = \frac{R_A R_B + R_A R_C + R_B R_C}{R_A} \quad (5)$$

$$R_{AC} = \frac{R_A R_B + R_A R_C + R_B R_C}{R_B} \quad (6)$$

Соединение треугольником и звездой часто встречаются в 3-фазных сетях переменного тока, но там, как правило, преобразование одной цепи в другую не требует сложных расчетов.

### Порядок выполнения работы

**Задание 1. Исследовать схему, содержащую треугольник сопротивлений.**

1.1. Собрать схему, представленную на рисунке 2. Установить значения  $E$ ,  $R_{AB}$ ,  $R_{AC}$ ,  $R_{BC}$ ,  $R_4$ ,  $R_5$  по указанию преподавателя. Схема подключения модулей стенда для измерения тока при треугольнике сопротивлений представлена на рисунке 3.

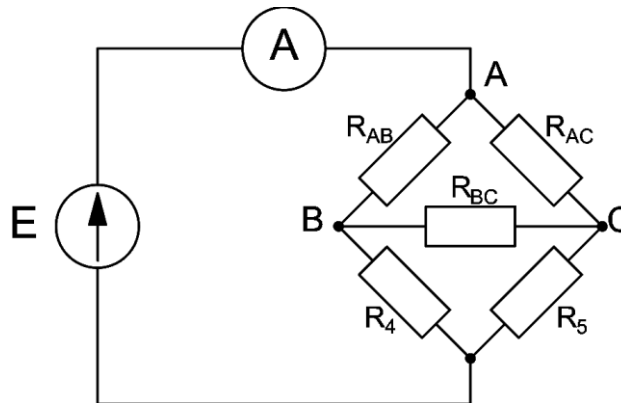


Рисунок 2. Схема измерения тока при треугольнике сопротивлений

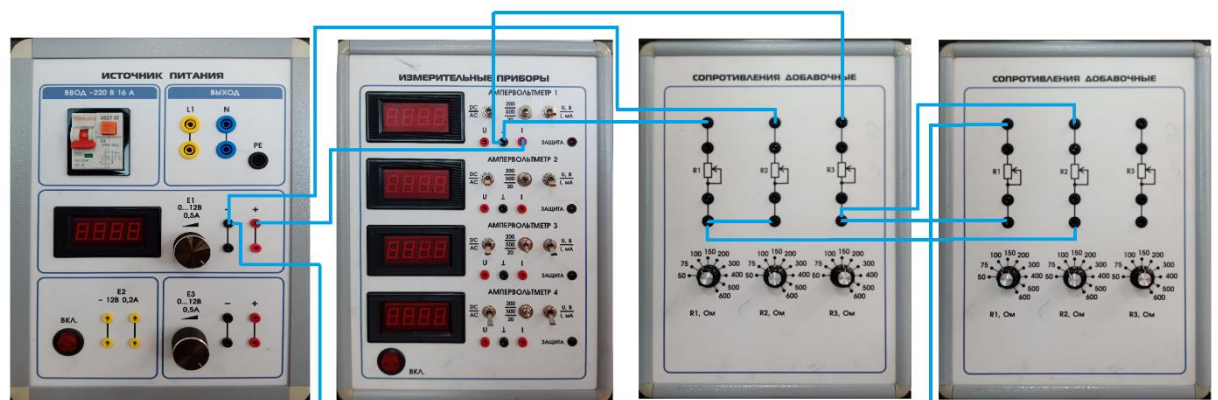


Рисунок 3. Схема подключения модулей стенда для измерения тока при треугольнике сопротивлений

1.2. Измерить ток в неразветвленной части цепи с помощью амперметра. Результаты измерений записать в таблицу 1.

Таблица 1. Результаты измерения тока при треугольнике сопротивлений

$E, В$	$R_{AB}, Ом$	$R_{AC}, Ом$	$R_{BC}, Ом$	$R_4, Ом$	$R_5, Ом$	$I, мА$

**Задание 2. Рассчитать сопротивления эквивалентной звезды методом преобразования треугольника в звезду.**

2.1. Сопротивления эквивалентной звезды (с выбором треугольника  $ABC$  для преобразования) рассчитать по формулам (1, 2, 3). Результаты расчетов записать в таблицу 2.

Таблица 2. Результаты расчетов и измерения тока при эквивалентной звезде.

$E, В$	$R_A, Ом$	$R_B, Ом$	$R_C, Ом$	$R_4, Ом$	$R_5, Ом$	$I, мА$

**Задание 3. Исследовать схему, содержащую эквивалентную звезду сопротивлений.**

3.1. Собрать схему, представленную на рисунке 4. Установить значения  $E, R_4, R_5$ , такие же как в п.1.1. Рассчитанные в п.2 сопротивления  $R_A, R_B, R_C$  установить с помощью магазинов сопротивлений (рисунок 5). Схема подключения модулей стенда для измерения тока при эквивалентной звезде сопротивлений представлена на рисунке 6.

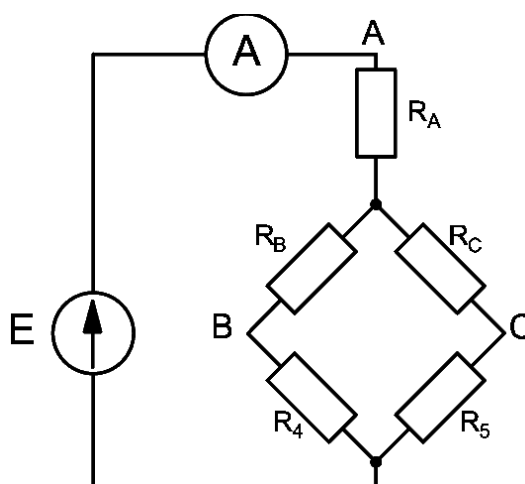


Рисунок 4. Схема измерения тока при эквивалентной звезде сопротивлений.

3.2. Измерить ток в неразветвленной части цепи с помощью амперметра. Результаты измерений записать в таблицу 2. Сравнить показания амперметров в пунктах 1.2 и 3.2.



Рисунок 5. Магазин сопротивлений MS-9-01

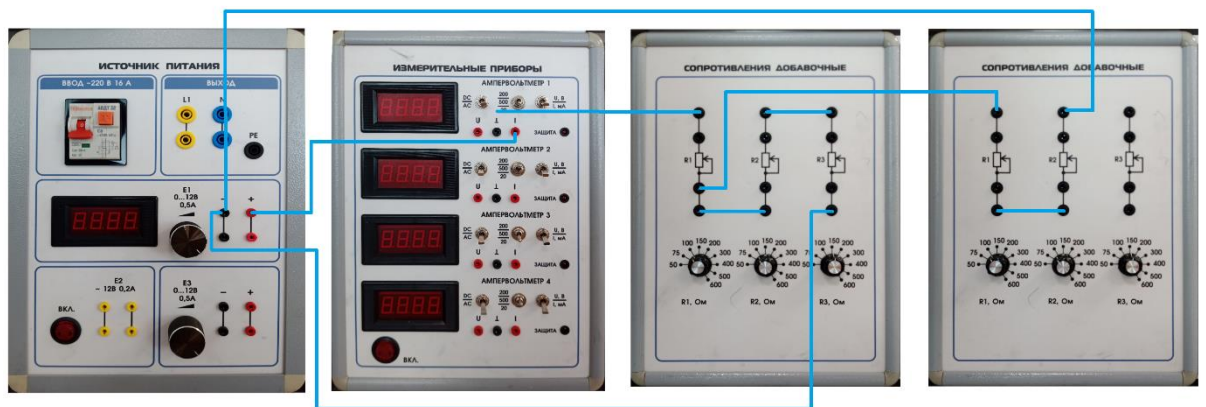


Рисунок 6. Схема подключения модулей стенда для измерения тока при эквивалентной звезде сопротивлений.

Сделать выводы и составить отчет по результатам выполненной работы.

### Контрольные вопросы

1. Запишите формулы для преобразования треугольника в звезду.
2. Запишите формулы для преобразования звезды в треугольник.
3. Объясните, в каких случаях возможно преобразование треугольника в эквивалентную звезду.

4. Приведите схему преобразования треугольника в звезду.
5. Приведите схему преобразования звезды в треугольник.

### Лабораторная работа № 8

**Тема:** «Исследование неразветвленной цепи переменного тока с активным сопротивлением и индуктивностью»

**Цель работы:** Изучить неразветвленную цепь переменного тока, содержащую активное и индуктивное сопротивление, построить по опытным данным векторные диаграммы и треугольники напряжений, сопротивлений и мощностей.

#### Теоретические сведения

В цепи, содержащей активное сопротивление и индуктивность, вектор активного напряжения совпадает с вектором тока, вектор индуктивного напряжения опережает ток на угол  $90^\circ$  (рисунок 1) [3].

Полное напряжение равно геометрической сумме напряжений на отдельных участках (1) и опережает вектор тока на угол  $\varphi$ .

$$U = \sqrt{U_a^2 + U_L^2} \quad (1)$$

Векторные диаграммы треугольников напряжений, сопротивлений и мощностей (треугольники напряжений, сопротивлений, мощностей) представлены на рисунке 1.

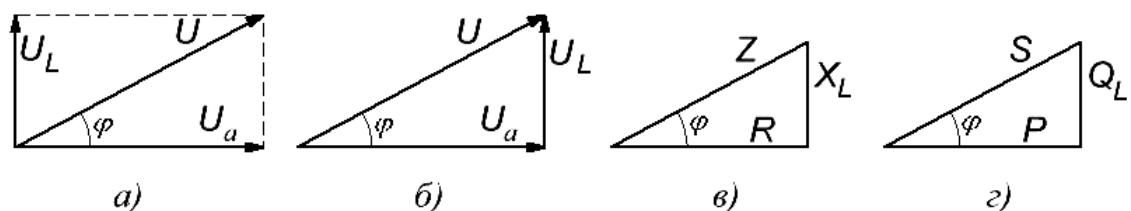


Рисунок 1. Векторные диаграммы напряжений, сопротивлений и мощностей.

Расчет электрической цепи, состоящей из активного сопротивления и индуктивности выполняется по формулам, представленным в таблице 1.

Таблица 1. Формулы для расчета параметров цепи с активным сопротивлением и индуктивностью.

Полное сопротивление цепи	$Z = \frac{U}{I} = \sqrt{R^2 + x_L^2}$	
Активная составляющая цепи	$R = \frac{U_a}{I}$	
Индуктивная составляющая цепи	$x_L = \frac{U_L}{I}$	
Индуктивность	$L = \frac{X_L}{2\pi f}$	$f$ – частота.
Полная мощность цепи	$S = UI = \sqrt{P^2 + Q_L^2}$	$S = I^2 Z = \frac{U^2}{Z}$
Активная мощность	$P = U_a I$	$P = I^2 R = \frac{U_a^2}{R}$
Реактивная мощность	$Q_L = U_L I$	$Q_L = I^2 x_L = \frac{U_L^2}{x_L}$

Треугольники напряжений, сопротивлений и мощностей подобны, причем в противоположность треугольникам напряжений треугольники мощностей и сопротивлений состоят из отрезков, а не из векторов, так как сопротивления и мощности – скалярные величины.

Силу тока можно определить по закону Ома (2).

$$I = \frac{U}{Z} = \frac{U}{\sqrt{R^2 + x_L^2}} \quad (2)$$

Величина угла  $\varphi$  определяется из прямоугольных треугольников, рассмотренных ранее по формулам и определяется по формулам (3, 4, 5).

$$\sin \varphi = \frac{U_L}{U} = \frac{X_L}{Z} = \frac{Q_L}{S}, \quad (3)$$

$$\cos \varphi = \frac{U_a}{U} = \frac{R}{Z} = \frac{P}{S}, \quad (4)$$

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{U_L}{U_a} = \frac{X_L}{R} = \frac{Q_L}{P}, \quad (5)$$



где  $U_L, X_L, Q_L$  – реактивное напряжение, сопротивление и мощность, соответственно.

Последние формулы позволяют связать активное и реактивное сопротивления, напряжения и мощности с помощью тригонометрических функций (6, 7, 8).

$$R = Z \cos \varphi, \quad X_L = Z \sin \varphi, \quad (6)$$

$$U_a = U \cos \varphi, \quad U_L = U \sin \varphi, \quad (7)$$

$$P = S \cos \varphi, \quad Q_L = S \sin \varphi, \quad (8)$$

Особое значение имеет  $\cos \varphi$ , который называется коэффициентом мощности и входит в формулу активной мощности  $P = UI \cos \varphi$ .

### Порядок выполнения работы

#### Задание 1. Измерить параметры электрической цепи с активным сопротивлением и индуктивностью

1.1. Собрать схему, представленную на рисунке 2. Подать напряжение, указанное преподавателем. При трех различных значениях активного сопротивления  $R$  измерить силу тока, напряжение и активную мощность цепи. Результаты записать в таблицу 1.

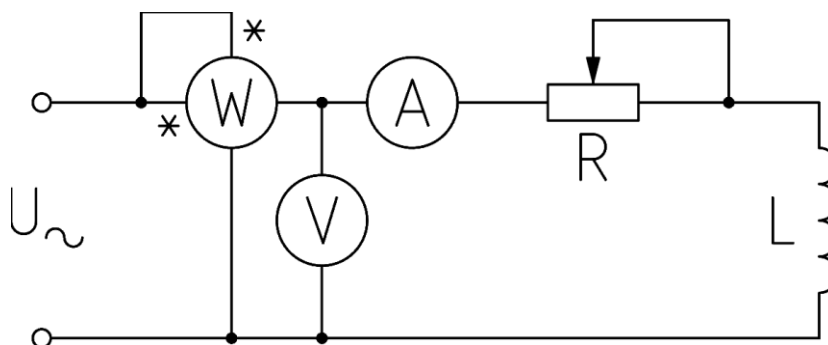


Рисунок 2. Схема для исследования последовательной цепи переменного тока, содержащей активное сопротивление и катушку индуктивности.

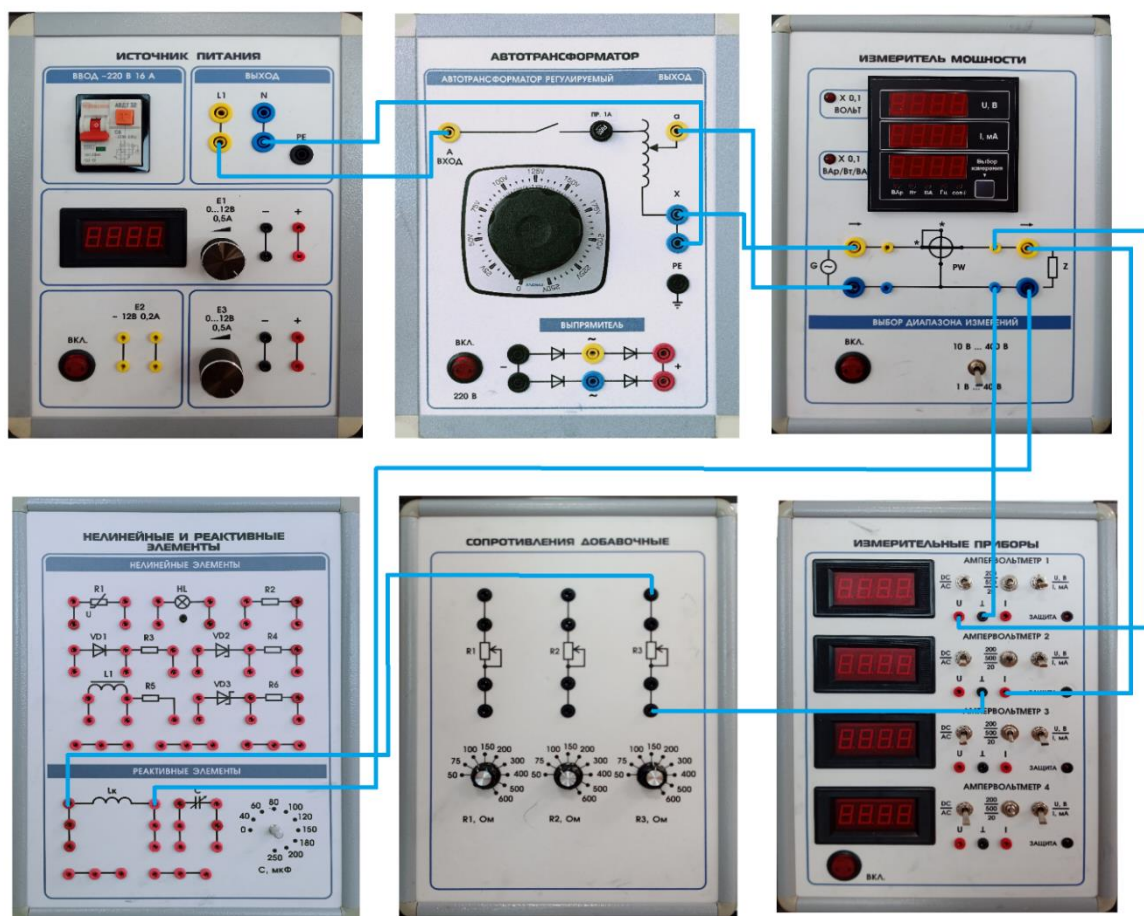


Рисунок 3. Схема подключения модулей стенда для исследования последовательной цепи переменного тока, содержащей активное сопротивление и катушку индуктивности

Таблица 1. Параметры цепи, содержащей активное сопротивление и катушку индуктивности

Номер опыта	Результаты наблюдений			Результаты вычислений										
	$U, В$	$I, А$	$P, Вт$	$Z, Ом$	$R, Ом$	$X_L, Ом$	$L, Гн$	$\cos\varphi$	$\sin\varphi$	$\varphi, рад$	$U_a, В$	$U_L, В$	$S, В*А$	$Q_L, вар$

## **Задание 2. Выполнить расчет параметров электрической цепи с активным сопротивлением и индуктивностью**

2.1. По результатам наблюдений произвести вычисления величин, указанных в таблице 1.

2.2. Для всех опытов построить в масштабе векторные диаграммы действующих значений тока и напряжений.

Сделать выводы и составить отчет по результатам выполненной работы.

### **Контрольные вопросы**

1. От каких величин зависит сдвиг фаз между напряжением и током?
2. Как рассчитать полное сопротивление цепи, если известны активное и индуктивное сопротивления, соединенные последовательно?
3. Запишите формулу для расчета активной мощности в цепи с активно-индуктивной нагрузкой.
4. Изобразите треугольники сопротивлений и мощностей для цепи с активно-индуктивной нагрузкой.
5. Запишите формулы для расчета силы тока в цепи, содержащей реальную катушку.

## **Лабораторная работа № 9**

**Тема:** «Исследование неразветвленной цепи переменного тока с активным сопротивлением и ёмкостью»

**Цель работы:** Изучить неразветвленную цепь переменного тока, содержащую активное и емкостное сопротивление, построить по опытным данным векторные диаграммы напряжений, сопротивлений и мощностей.

### **Теоретические сведения**

В цепи, содержащей активное сопротивление и емкость, вектор активного напряжения совпадает с вектором тока, вектор емкостного напряжения отстает от тока на угол  $90^\circ$  (рисунок 1) [3].

Полное напряжение равно геометрической сумме напряжений на отдельных участках (1) и отстает от вектора тока на угол  $\varphi$ .

$$U = \sqrt{U_a^2 + U_c^2} \quad (1)$$

Векторные диаграммы напряжений, сопротивлений и мощностей (треугольники напряжений, сопротивлений, мощностей) представлены на рисунке 1.

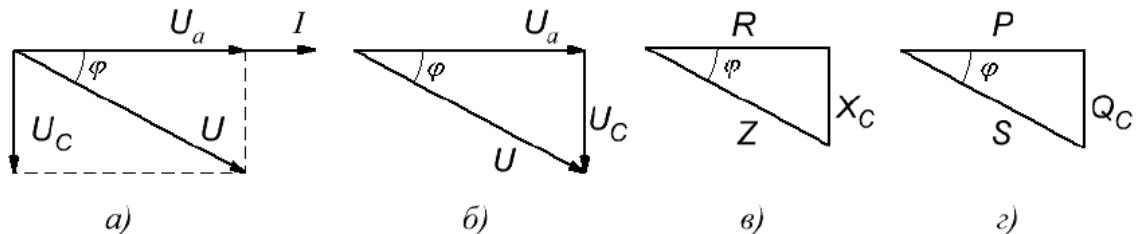


Рисунок 1. Векторные диаграммы напряжений, сопротивлений и мощностей

Расчет электрической цепи, состоящей из активного сопротивления и емкости выполняется по формулам, представленным в таблице 1.

Таблица 1. Формулы для расчета параметров цепи с активным сопротивлением и емкостью.

Полное сопротивление цепи	$Z = \frac{U}{I} = \sqrt{R^2 + X_c^2}$	
Активная составляющая цепи	$R = \frac{U_a}{I}$	
Емкостная составляющая цепи	$X_c = \frac{U_c}{I}$	
Ёмкость	$C = \frac{1}{2\pi \cdot f \cdot X_c}$	$f$ – частота
Полная мощность цепи	$S = UI = \sqrt{P^2 + Q_c^2}$	$S = I^2 Z = \frac{U^2}{Z}$
Активная мощность	$P = U_a I$	$P = I^2 R = \frac{U_a^2}{R}$
Реактивная мощность	$Q_c = U_c I$	$Q_c = I^2 X_c = \frac{U_c^2}{X_c}$

Треугольники напряжений, сопротивлений и мощностей подобны, причем в противоположность треугольникам напряжений треугольники

мощностей и сопротивлений состоят из отрезков, а не из векторов, так как сопротивления и мощности – скалярные величины.

Силу тока можно определить по закону Ома (2).

$$I = \frac{U}{Z} = \frac{U}{\sqrt{R^2 + X_c^2}} \quad (2)$$

Величина угла  $\varphi$  определяется из прямоугольных треугольников, рассмотренных ранее, по формулам (3, 4, 5).

$$\sin \varphi = \frac{U_c}{U} = \frac{X_c}{Z} = \frac{Q_c}{S}, \quad (3)$$

$$\cos \varphi = \frac{U_a}{U} = \frac{R}{Z} = \frac{P}{S}, \quad (4)$$

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{U_c}{U_a} = \frac{X_c}{R} = \frac{Q_c}{P}, \quad (5)$$

где  $U_c, X_c, Q_c$  – реактивное напряжение, сопротивление и мощность соответственно.

Последние формулы позволяют связать активное и реактивное сопротивления, напряжения и мощности с помощью тригонометрических функций (6, 7, 8).

$$R = Z \cos \varphi, \quad X_c = Z \sin \varphi, \quad (6)$$

$$U_a = U \cos \varphi, \quad U_c = U \sin \varphi, \quad (7)$$

$$P = S \cos \varphi, \quad Q_c = S \sin \varphi \quad (8)$$

Особое значение имеет  $\cos \varphi$ , который называется коэффициентом мощности и входит в формулу активной мощности  $P = UI \cos \varphi$ .

### Порядок выполнения работы

**Задание 1. Измерить параметры электрической цепи с активным сопротивлением и ёмкостью**

1.1. Собрать схему, представленную на рисунке 2. Подать напряжение, указанное преподавателем. При трех различных значениях активного сопротивления измерить силу тока, напряжение и активную мощность цепи. Результаты записать в таблицу 1.

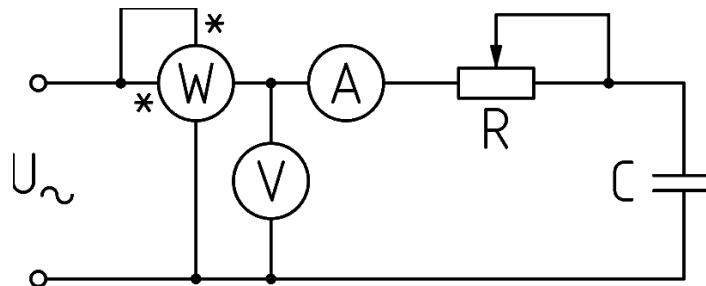


Рисунок 2. Схема для исследования последовательной цепи переменного тока, содержащей активное сопротивление и конденсатор

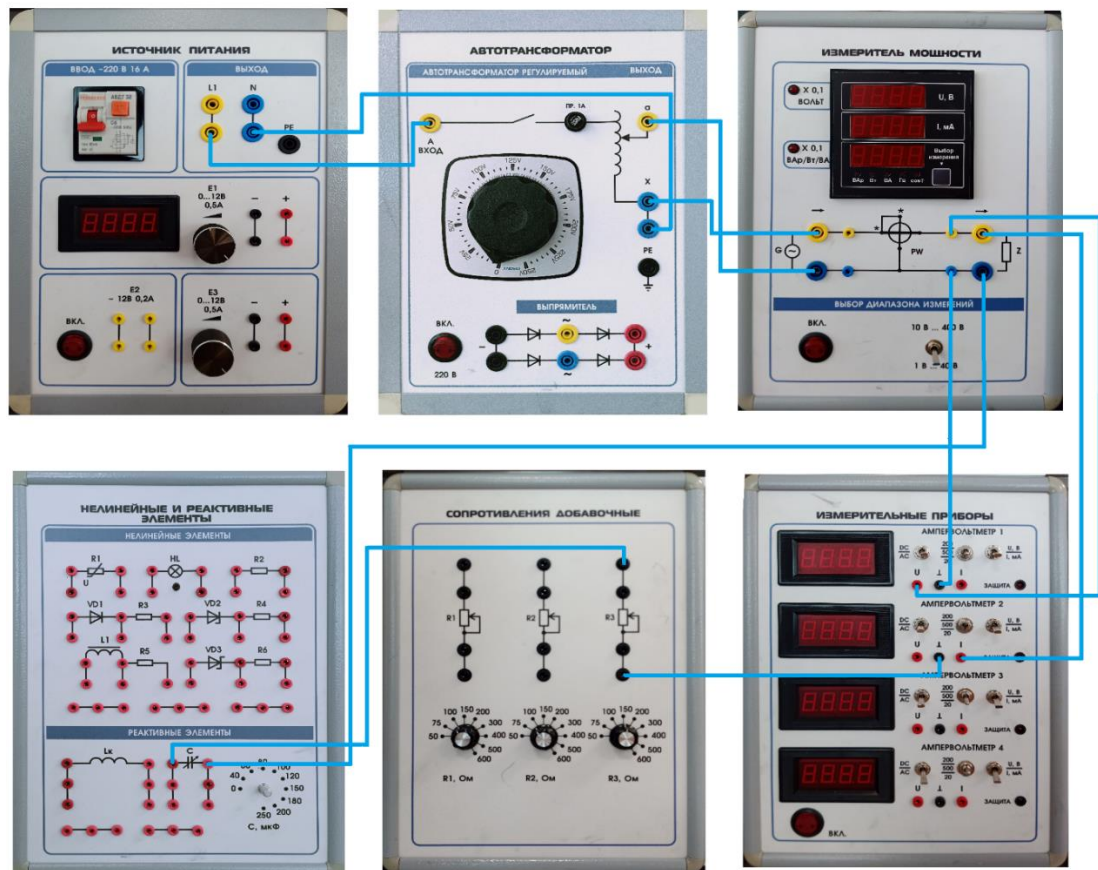


Рисунок 3. Схема подключения модулей стенда для исследования последовательной цепи переменного тока, содержащей активное сопротивление и конденсатор

Таблица 1. Параметры цепи, содержащей активное сопротивление и конденсатор.

Номер опыта	Результаты наблюдений			Результаты вычислений										
	$U, В$	$I, А$	$P, Вт$	$Z, Ом$	$R, Ом$	$X_C, Ом$	$C, мкф$	$\cos\varphi$	$\sin\varphi$	$\varphi, рад$	$U_a, В$	$U_C, В$	$S, В*А$	$Q_C, вар$

## Задание 2. Выполнить расчет параметров электрической цепи с активным сопротивлением и ёмкостью

2.1. По результатам наблюдений произвести вычисления величин, указанных в таблице 1.

2.2. Для всех опытов построить в масштабе векторные диаграммы действующих значений тока и напряжений.

Сделать выводы и составить отчет по результатам выполненной работы.

### Контрольные вопросы

1. Запишите формулы для расчета косинуса угла сдвига фаз между векторами напряжения и тока.

2. Как рассчитать полное сопротивление цепи, если известны активное и емкостное сопротивление, соединенные последовательно?

3. Запишите формулу для расчета активной мощности в цепи с активно–емкостной нагрузкой.

4. Запишите формулы для расчета силы тока в цепи, содержащей реальный конденсатор.

5. Каковы особенности энергетических процессов в цепи с реальным конденсатором?

## Лабораторная работа № 10

**Тема:** «Исследование последовательной резонансной цепи»

**Цель работы:** Проверить практически и уяснить, какие физические явления происходят в цепи переменного тока при последовательном соединении  $R$ ,  $L$ ,  $C$ . Рассчитать параметры элементов электрической цепи; построить по опытным данным векторные диаграммы.

### Теоретические сведения

При подведении к зажимам последовательно соединенных активного сопротивления  $R$ , индуктивности  $L$  и емкости  $C$  синусоидального напряжения  $u = U_m \sin \omega t$  (рисунок 1) в цепи устанавливается ток  $i = I_m \sin(\omega t - \varphi)$ .

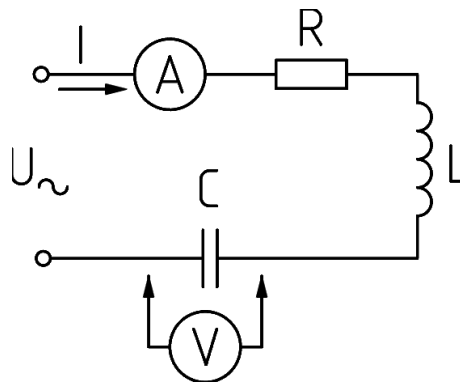


Рисунок 1. Цепь переменного тока с последовательным соединением элементов  $R$ ,  $L$ ,  $C$ .

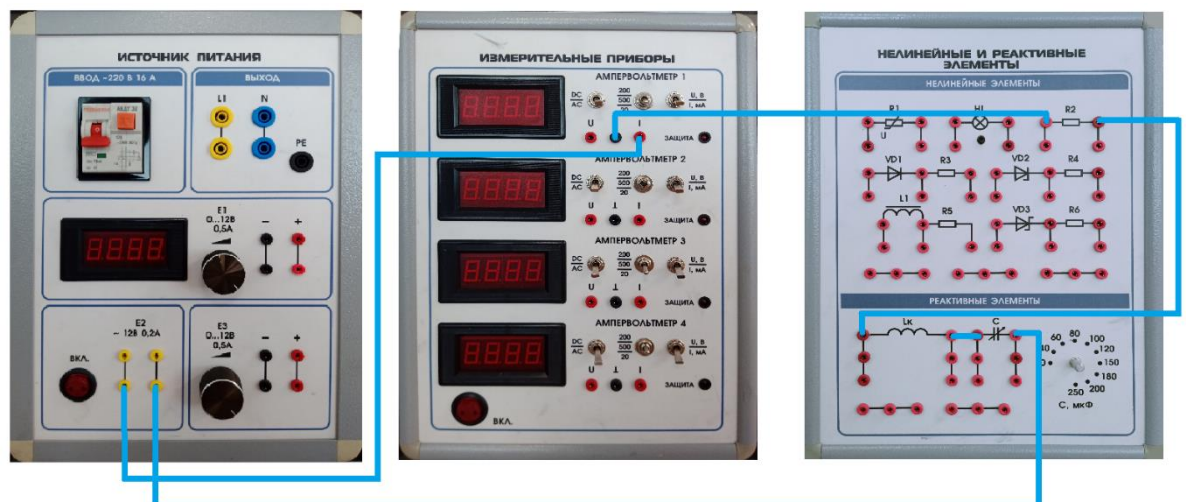


Рисунок 2. Схема подключения модулей стенда для исследования цепи переменного тока с последовательным соединением элементов  $R$ ,  $L$ ,  $C$ .

Сдвиг фаз между напряжением и током, индуктивное и емкостное



сопротивления определяются по формулам (1, 2, 3).

$$\varphi = \arctg \frac{x_L - x_C}{R}, \quad (1)$$

$$x_L = 2\pi fL, \quad (2)$$

$$x_C = \frac{1}{2\pi fC}, \quad (3)$$

Действующее значение тока цепи  $I$  можно найти по закону Ома по формуле (4).

$$I = \frac{U}{\sqrt{R^2 + (x_L - x_C)^2}} = \frac{U}{Z}. \quad (4)$$

Полное сопротивление цепи  $Z$  определяется по формуле (5).

$$Z = \sqrt{R^2 + (x_L - x_C)^2}, \quad (5)$$

Векторные диаграммы при последовательном соединении элементов  $R$ ,  $L$ ,  $C$  представлены на рисунке 2.

Если  $x_L > x_C$ , то  $U_L > U_C$  – ток в этом случае отстает от напряжения сети (рисунок 2а). В случае  $x_L < x_C$  и  $U_L < U_C$  – ток опережает напряжение (рисунок 2в). Когда  $x_L = x_C$ , то и  $U_L = U_C$  – ток и напряжение совпадают по фазе (рисунок 2б). Этот случай называется резонансом напряжений, он имеет место при резонансной частоте  $f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$ .

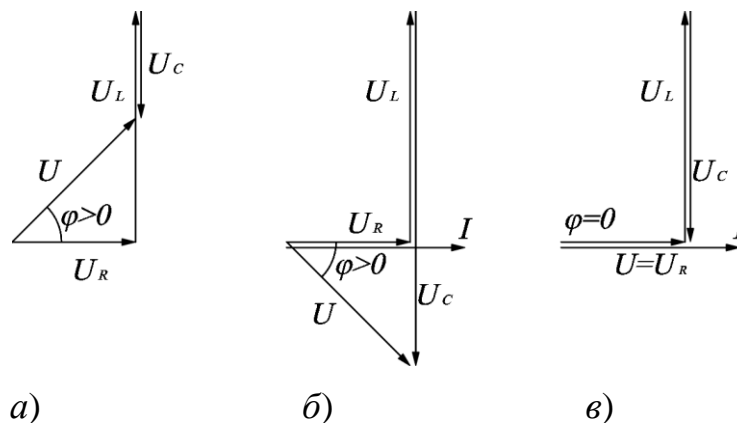


Рисунок 3. Векторные диаграммы при последовательном соединении элементов  $R$ ,  $L$ ,  $C$ .

Цепь при резонансе ведет себя так, как будто содержит только одно активное сопротивление, когда наступает резонанс, то реактивное сопротивление цепи  $x = x_L - x_C = 0$ , полное сопротивление цепи  $Z = R$ , ток  $I_0 = \frac{U}{R}$ , коэффициент мощности  $\cos \varphi = 1$ . Резонанс может быть получен подбором параметров цепи при заданной частоте сети или подбором частоты сети при заданных параметрах цепи. Для цепи с последовательным соединением резистора, индуктивной катушки и конденсатора по измеренным значениям напряжения  $U_R, U_C, U_L, U$ , тока  $I$  и активной мощности  $P$  можно определить параметры цепи. Расчет параметров цепи выполняется по формулам, представленным в таблице 1.

Таблица 1. Формулы для расчета параметров цепи

Сопротивление резистора	$R = \frac{U_R}{I}$	
Емкостное сопротивление	$x_C = \frac{U_C}{I}$	
Ёмкость конденсатора	$C = \frac{1}{2\pi f x_C}$	$f = 50$ Гц
Мощность	$P = UI \cdot \cos \varphi,$	$\varphi = \arcsin \frac{U_L - U_C}{U}$
Индуктивное сопротивление катушки	$x_L = \frac{U_L}{I}$	
Индуктивность катушки	$L = \frac{x_L}{2\pi \cdot f}$	

### Порядок выполнения работы

1. Собрать схему согласно рисунку 1 и подключить ее к источнику питания.
2. Настроить последовательный контур в резонанс.
3. Измерить ток  $I$  и напряжение  $U$  в цепи, а также напряжение на элементах  $R, L, C$ . Результаты наблюдений занести в таблицу 2.

Таблица 2. Результаты наблюдений и вычислений

Номер опыта	Результаты наблюдений					Результаты вычислений							
	$U$ , В	$I$ , А	$U_R$ , В	$U_L$ , В	$U_C$ ,В	$R$ , Ом	$X_L$ , Ом	$L$ , Гн	$X_C$ , Ом	$C$ , мкФ	$\varphi$ , град	$\cos\varphi$	$P$ , Вт

4. По результатам наблюдений произвести вычисления величин, указанных в таблице 2. Результаты вычислений записать в таблицу 2.

5. Построить в масштабе векторные диаграммы тока и напряжений.

6. Повторить наблюдения при различных значениях емкости конденсатора  $C$ , обеспечивая соотношения  $U_L < U_C$  и  $U_L > U_C$ .

Сделать выводы и составить отчет по результатам выполненной работы.

### Контрольные вопросы

1. От каких величин зависит сдвиг фаз между напряжением и током?
2. Какое явление называют резонансом напряжений ?
3. Перечислите характерные признаки резонанса напряжений.
4. Как определяется полное сопротивление цепи переменного тока?
5. Чему равен коэффициент мощности при резонансе?

## Лабораторная работа № 11

**Тема:** «Исследование параллельной резонансной цепи»

**Цель работы:** Проверить практически и уяснить, какие физические явления происходят в цепи переменного тока; рассчитать параметры отдельных элементов электрической цепи; построить по опытным данным векторные диаграммы.

### Теоретические сведения

Рассмотрим электрическую цепь, состоящую из двух параллельных ветвей, одна из которых содержит активное сопротивление  $R$  и

индуктивность  $L$ , а другая емкость  $C$  (рисунок 1) [3]. Действующее значение тока в каждой ветви определяется по закону Ома.

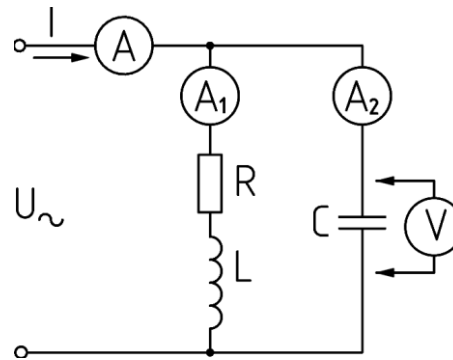


Рисунок 1. Цепь переменного тока при параллельном соединении катушки индуктивности и конденсатора

Векторные диаграммы при параллельном соединении цепей  $R, L$  и  $C$  представлены на рисунке 2.

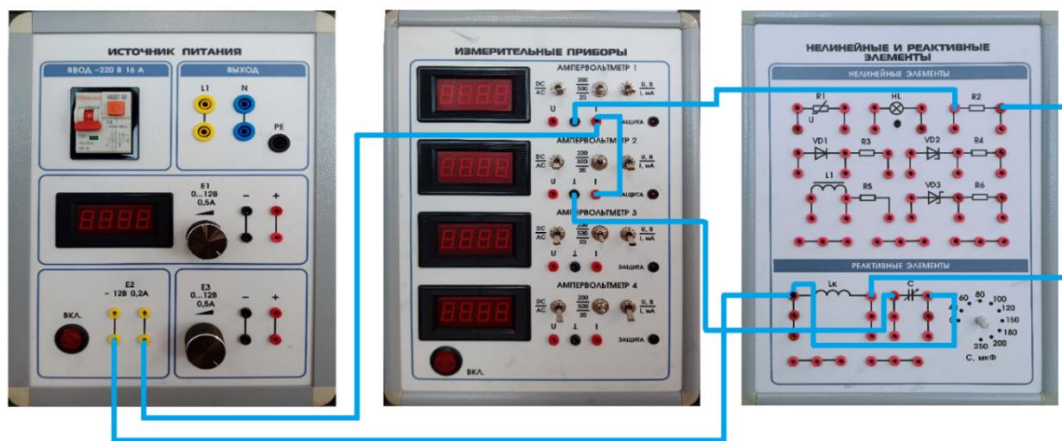


Рисунок 2. Схема подключения модулей стенда для исследования цепи переменного тока при параллельном соединении элементов  $R, L, C$ .

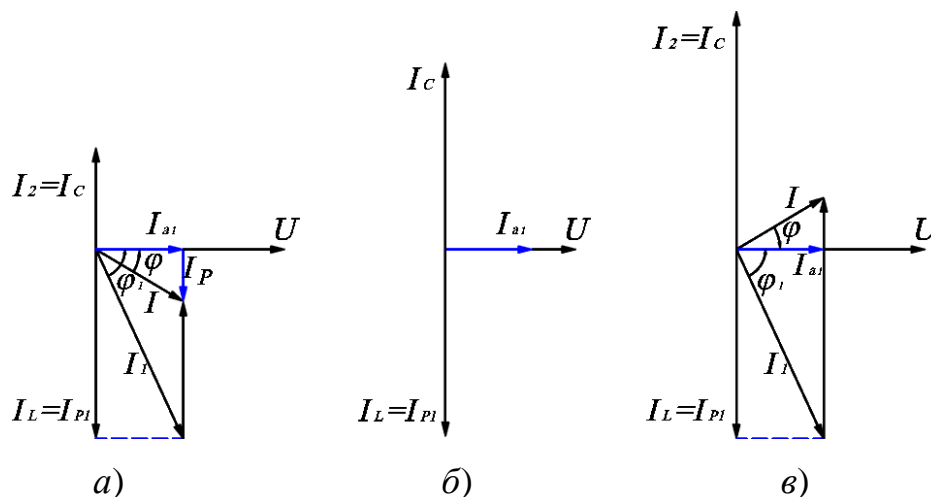


Рисунок 3. Векторные диаграммы при параллельном соединении  $R, L, C$

Ток в первой цепи  $I_1 = \frac{U}{z_1} = \frac{U}{\sqrt{R^2 + X_L^2}}$ . Этот ток отстает по фазе от

напряжения на угол  $\varphi_1$  (рисунок 2а), косинус которого  $\cos \varphi_1 = \frac{R}{z_1}$ . Активная

составляющая тока в первой ветви  $I_{a1} = I_1 \cdot \cos \varphi_1$ , а реактивная составляющая

в этой ветви  $I_p = I_L = I_1 \cdot \sin \varphi_1$ . Ток во второй ветви, содержащей емкость,

опережает приложенное напряжение на угол  $90^\circ$  и равен  $I_2 = I_C = \frac{U}{x_c}$ .

Ток до разветвления может быть определен как геометрическая сумма токов ветвей, тогда,  $I = \sqrt{I_a^2 + I_p^2}$  или  $I = \sqrt{I_a^2 + (I_L - I_C)^2}$ , где  $I_a = I_{a1}$  и  $I_p = I_L - I_C$ .

Этот ток может отставать на угол  $\varphi$  от напряжения цепи, если  $I_L > I_C$  (рисунок 2а), опережать его, если  $I_L < I_C$  (рисунок 2б) или совпадать по фазе с ним, если  $I_L = I_C$  (рисунок 2б).

В последнем случае наступает явление резонанса токов. При резонансе токов  $I_p = 0$ ,  $I = I_a$ ,  $P = UI$ , так как  $\varphi = 0$ , а  $\cos \varphi = 1$ . Отсутствие влияния реактивных сопротивлений на значение тока  $I$  при резонансе токов объясняется взаимной компенсацией реактивных составляющих токов  $I_L$  и  $I_C$ , которые сдвинуты по фазе на  $180^\circ$  и имеют одинаковые абсолютные значения. Следует помнить, что при резонансе токов токи ветвей могут быть больше тока вне разветвленной части цепи, который в момент резонанса достигает минимального значения.

Для представленной цепи по измеренным значениям напряжений  $U_L, U_R, U$  и токов  $I_1, I_2, I$  расчет параметров цепи выполняется по формулам, представленным в таблице 1.

Таблица 1. Формулы для расчета параметров цепи

Активная мощность первой ветви	$P_1 = UI_1 \cos \varphi_1$	
Фазовый сдвиг первой ветви	$\varphi_1 = \arcsin \frac{U_L}{U}$	$\varphi_1 = \arccos \frac{U_R}{U}$
Сопротивление резистора	$R = \frac{U_R}{I_1}$	
Емкостное сопротивление	$X_C = \frac{U_C}{I_2}$	
Ёмкость конденсатора	$C = \frac{1}{\omega X_C}$	$\omega = 2\pi f$
Угол сдвига фаз между общим током и напряжением	$\varphi = \arctg \frac{ X_L - X_C }{R}$	
Индуктивное сопротивление катушки	$X_L = \frac{U_L}{I_1}$	
Индуктивность катушки	$L = \frac{X_L}{\omega}$	

**Порядок выполнения работы**

1. Собрать схему согласно рисунку 1 и подключить ее к источнику питания.
  2. Настроить параллельный контур в резонанс.
  3. Измерить токи в ветвях и напряжение на приемниках цепи.
- Результаты наблюдений занести в таблицу 2.

Таблица 2. Результаты наблюдений и вычислений

Номер	Результаты наблюдений						Результаты вычислений							
	U, В	I <sub>1</sub> , мА	I <sub>2</sub> , мА	U <sub>L</sub> , В	U <sub>R</sub> , В	I, мА	P <sub>1</sub> , Вт	X <sub>L</sub> , Ом	L, Гн	X <sub>C</sub> , Ом	C, мкФ	R, Ом	φ, град	cosφ

4. По результатам наблюдений произвести вычисления величин, указанных в таблице 2. Результаты вычислений записать в таблицу 2.

5. Построить в масштабе векторные диаграммы токов и напряжений.

6. Повторить наблюдения при различных значениях емкости конденсатора  $C$ , обеспечивая соотношения  $U_L < U_C$  и  $U_L > U_C$ .

Сделать выводы и составить отчет по результатам выполненной работы.

### **Контрольные вопросы**

1. Как рассчитать действующий ток в неразветвленной части электрической цепи синусоидального тока?

2. Почему резонансный режим в цепи с параллельным соединением катушки и конденсатора назван резонансом токов?

3. Могут ли действующие токи параллельно соединенных ветвей электрической цепи превышать действующий ток в ее неразветвленной части?

4. Каким образом может быть получен резонанс токов?

5. Запишите формулу собственной резонансной частоты колебательного контура.

## **Лабораторная работа № 12**

**Тема:** «Исследование трёхфазной электрической цепи при соединении приёмника «треугольником»»

**Цель работы:** Установить соотношения между линейными и фазными токами и напряжениями при различной нагрузке фаз, выявить на опыте влияние обрыва линейного провода на работу трехфазного потребителя, построить векторные диаграммы при симметричной и несимметричной нагрузке фаз.

### **Теоретические сведения**

Каждая фаза приемника при соединении треугольником (рисунок 1) подключена к двум линейным проводам [ 1]. Поэтому независимо от значения и характера сопротивлений приемника каждое фазное напряжение равно соответствующему линейному напряжению  $U_\phi = U_L$ .

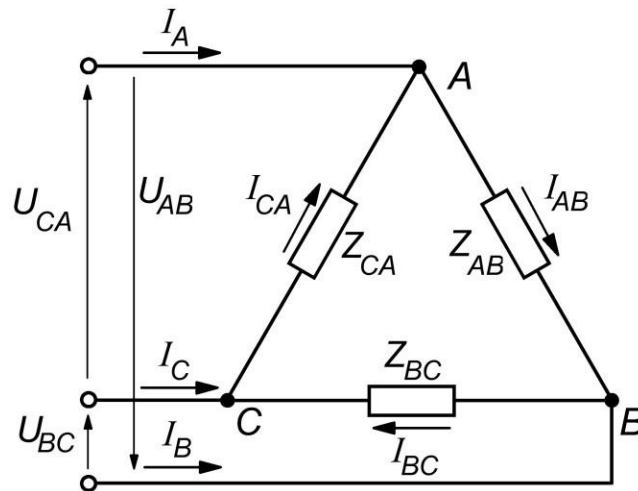


Рисунок 1. Схема соединения фаз приемника треугольником

Соединение нескольких обмоток источника в замкнутый контур возможно лишь в том случае, если сумма всех ЭДС этого контура равна нулю.

Это требование выполняется при таком порядке соединения, когда конец предыдущей обмотки соединяется с началом следующей. Симметричная система ЭДС, действующих в контуре, дает сумму, равную нулю:  $E_A + E_B + E_C = 0$ . В этом случае при холостом ходе источника ток в обмотках отсутствует.

Ток каждого приемника, входящего в соединение треугольника, является фазным и определяется по формуле (1).

$$I_{\phi} = \frac{U_{\phi}}{Z_{\phi}}, A, \quad (1)$$

где  $U_{\phi}, B$  – фазное напряжение данного приемника,

$Z_{\phi}, Ом$  – его полное сопротивление.

Фазные токи  $I_{AB}, I_{BC}, I_{CA}$  в общем случае не равны линейным токам  $I_A, I_B, I_C$ . Применяя первый закон Кирхгофа к узлам A, B и C, можно получить следующие соотношения между линейными и фазными токами:  $I_A = I_{AB} - I_{CA}$ ,  $I_B = I_{BC} - I_{AB}$ ,  $I_C = I_{CA} - I_{BC}$ .

Нагрузку называют симметричной, если сопротивления приемников одинаковы (по величине и характеру):  $Z_{AB} = Z_{BC} = Z_{CA} = Z_{\phi}$ , углы сдвига фаз между фазными напряжениями и соответствующими им фазными токами



равны между собой:  $\varphi_{AB} = \varphi_{BC} = \varphi_{CA} = \varphi$ . При симметричной нагрузке фазные напряжения  $U_{AB} = U_{BC} = U_{CA}$  одинаковы, фазные токи  $I_{AB}, I_{BC}, I_{CA}$  равны между собой, фазовые сдвиги между напряжениями и токами  $U_{AB}$  и  $I_{AB}$ ,  $U_{BC}$  и  $I_{BC}$ ,  $U_{CA}$  и  $I_{CA}$  одинаковы и определяются по формуле (2).

$$\varphi = \arctg(X_{\varphi} / R_{\varphi}), \quad (2)$$

где  $X_{\varphi}$  – реактивное сопротивление фазных нагрузок;

$R_{\varphi}$  – активное сопротивление фазных нагрузок.

Векторные диаграммы фазных и линейных токов при симметричной нагрузке приведены на рисунке 2.

При симметричной нагрузке равные линейные токи отстают от соответствующих фазных токов на  $\pi/6$  и превышают их в  $\sqrt{3}$  раз, т.е.  $I_{л} = \sqrt{3} \cdot I_{\varphi}$ . При несимметричной нагрузке, имеющей место при несоблюдении равенства  $Z_{AB} \neq Z_{BC} \neq Z_{CA}$  или  $\varphi_{AB} \neq \varphi_{BC} \neq \varphi_{CA}$  либо обоих равенств, нарушается симметрия как фазных, так и линейных токов.

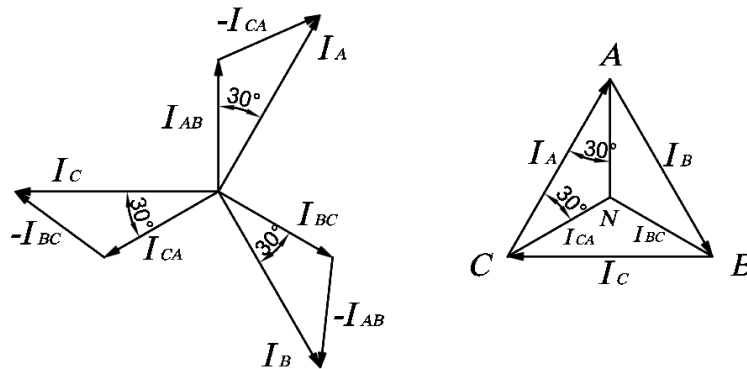


Рисунок 2. Векторные диаграммы токов при соединении приемника треугольником в случае симметричной нагрузки

Всякое изменение нагрузки одной из фаз, при соединении приемников треугольником, вызывает одновременное изменение соответствующих фазного и двух линейных токов, однако не влияет на фазные напряжения и токи других фаз, а также на третий линейный ток.

Обрыв линейного провода нарушает нормальный режим работы трехфазной цепи. При этом приемники одной фазы находятся под номинальным фазным напряжением, а приемники двух других фаз оказываются последовательно соединенными и находятся под этим же напряжением. Фазные напряжения этих приемников прямо пропорциональны их полным сопротивлениям, т.е. приемники оказываются под напряжением, отличающимся от номинального значения фазного напряжения. Активную мощность можно определять через линейные величины напряжений и токов по формуле  $P = 3U_{\phi} I_{\phi} \cos \varphi = \sqrt{3} U_{Л} I_{Л} \cos \varphi$ .

### Порядок выполнения работы

**Задание 1. Исследовать трехфазную электрическую цепь при симметричной нагрузке.**

1.1. Собрать схему, представленную на рисунке (3). Установить симметричную нагрузку используя резисторы модуля «Сопротивления добавочные».

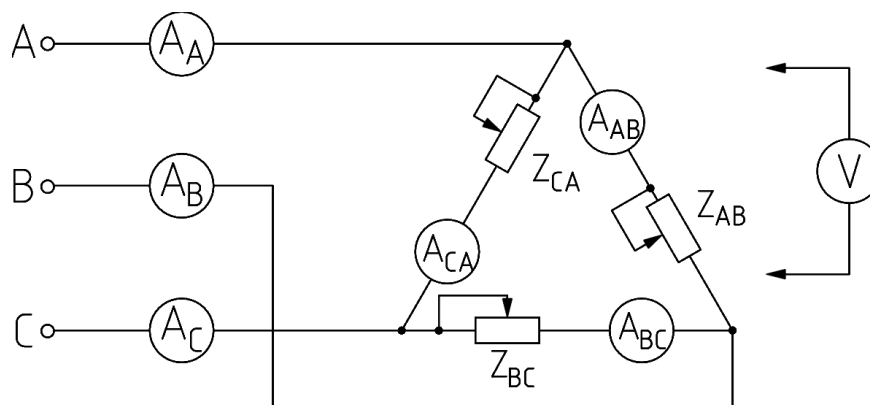


Рисунок 3. Схема для исследования трехфазной электрической цепи при соединении приемника треугольником

1.2. С помощью амперметров измерить токи  $I_A, I_B, I_C, I_{AB}, I_{BC}, I_{CA}$ . С помощью вольтметра со щупами измерить напряжения  $U_{AB}, U_{BC}, U_{CA}$ . Записать показания всех приборов в таблицу 1.

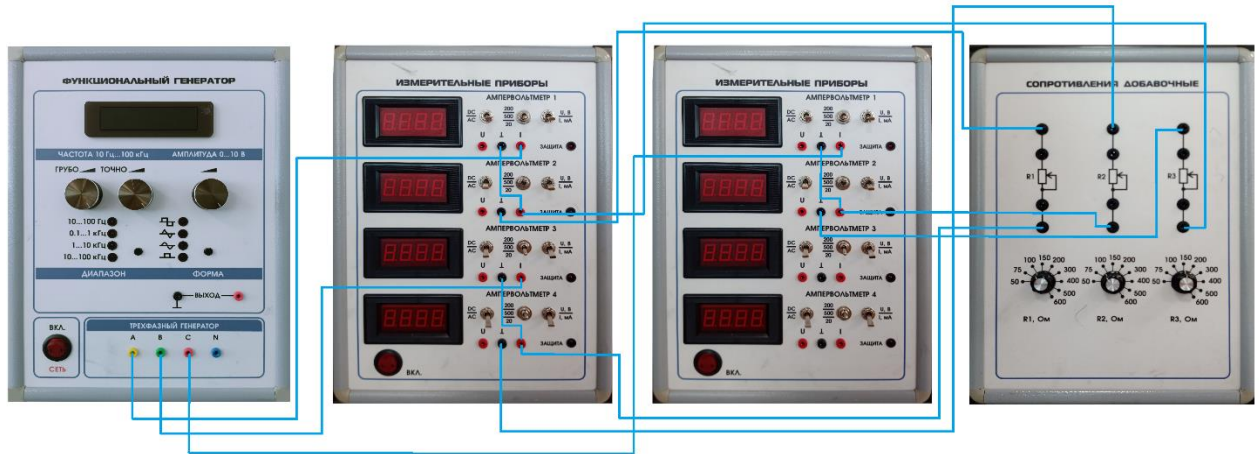


Рисунок 4. Схема подключения модулей стенда для исследования цепи переменного тока при соединении фаз приемника треугольником

Таблица 1. Данные наблюдений и вычислений при симметричной нагрузке

Номер опыта	Состояние системы	Результаты наблюдений								Результаты вычислений				
		Напряжение, В			Ток, А					Активная мощность, Вт				
		$U_{AB}$	$U_{BC}$	$U_{CA}$	$I_A$	$I_B$	$I_C$	$I_{AB}$	$I_{BC}$	$I_{CA}$	$P_{AB}$	$P_{BC}$	$P_{CA}$	$P$
1	Симметричная нагрузка													

1.3. Построить в масштабе векторные диаграммы напряжений и токов для симметричной нагрузки, используя данные таблицы 1.

1.4. Определить отношение линейного тока к фазному для случая симметричной нагрузки, сравнить его с теоретическим значением этой величины.

1.5. Подсчитать мощность каждой фазы и полную мощность, потребляемую нагрузкой, результаты вычислений занести в таблицу 1.

**Задание 2. Исследовать трехфазную электрическую цепь при несимметричной нагрузке**

2.1. В схеме (рисунок 1) создать несимметричную нагрузку фаз, изменяя сопротивления резисторов.

2.2. С помощью амперметров измерить токи  $I_A, I_B, I_C, I_{AB}, I_{BC}, I_{CA}$ . С помощью вольтметра со щупами измерить напряжения  $U_{AB}, U_{BC}, U_{CA}$ . Записать показания всех приборов в таблицу 2.

Таблица 2. Данные наблюдений и вычислений при несимметричной нагрузке

Номер опыта	Состояние системы	Результаты наблюдений									Результаты вычислений			
		Напряжение, В			Ток, А						Активная мощность, Вт			
		$U_{AB}$	$U_{BC}$	$U_{CA}$	$I_A$	$I_B$	$I_C$	$I_{AB}$	$I_{BC}$	$I_{CA}$	$P_{AB}$	$P_{BC}$	$P_{CA}$	$P$
1	Несимметричная нагрузка													
2	Несимметричная нагрузка с обрывом линейного провода													

2.3. Построить в масштабе векторные диаграммы напряжений и токов для несимметричной нагрузки, используя данные таблицы 2.

2.4. Определить отношение линейного тока к фазному для случая несимметричной нагрузки, сравнить его с теоретическим значением этой величины.

2.5. Подсчитать мощность каждой фазы и полную мощность, потребляемую нагрузкой, результаты вычислений занести в таблицу 2.

2.6. Не изменяя присоединенную нагрузку, отсоединить один из линейных проводов, подключить трехфазную цепь, выполнить измерения и записать показания всех приборов в таблицу 2.

Сделать выводы и составить отчет по результатам выполненной работы.

### Контрольные вопросы

1. Как три однофазных приемника соединить треугольником?
2. Какие существуют зависимости между линейными и фазными токами и напряжениями трехфазной системы при соединении приемников треугольником?
3. Какую трехфазную нагрузку называют симметричной?
4. Какую трехфазную нагрузку называют несимметричной?

5. От каких факторов зависит угол сдвига между фазным напряжением и фазным током?

### Лабораторная работа № 13

**Тема:** «Исследование трехфазной электрической цепи при соединении приёмника «звездой»»

**Цель работы:** Установить соотношения между линейными и фазными токами и напряжениями при различной нагрузке фаз, выявить роль нейтрального провода, построить векторные диаграммы.

#### Теоретические сведения

Соединение приемника энергии звездой представляет собой схему, когда концы фаз соединяются в общий узел, а их начала присоединяются к линейным проводам (рисунок 1) [2].

Благодаря этому в приемнике образуется нулевая точка  $N$  (нейтраль). Нулевые точки источника энергии и приемника могут быть связаны проводом, который называется нулевым или нейтральным. В этом случае получается связанная четырехпроводная трехфазная система электрических цепей. В симметричных трехфазных цепях можно отказаться от нулевого провода, так как ток в нем равен нулю. В этом случае связь между источником и приемником, соединенными «звездой», можно осуществлять по трехпроводной схеме.

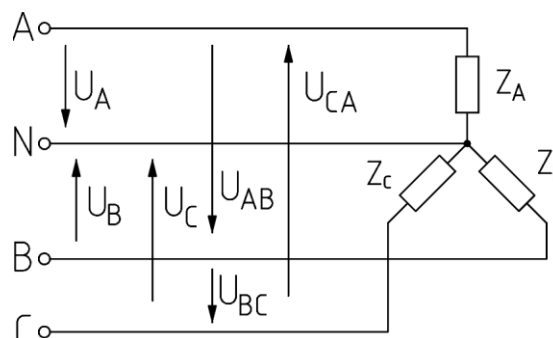


Рисунок 1. Схема соединения приемника энергии звездой

Разность потенциалов между линейными зажимами и нейтралью называется фазным напряжением ( $U_A$ ,  $U_B$ ,  $U_C$ ). Разность потенциалов между

каждой парой линейных проводов называется линейным напряжением ( $U_{AB}$ ,  $U_{BC}$ ,  $U_{CA}$ ).

Токи в фазах источника и приемника называют фазными  $I_\phi$ , а токи в линейных проводах называют линейными  $I_L$ . При соединении звездой в точках перехода из источника в линию и из линии в приемник нет разветвлений, поэтому фазные и линейные токи одинаковы между собой в каждой фазе  $I_L = I_\phi$ . При симметричной нагрузке фазные напряжения  $U_A, U_B, U_C$  одинаковы, фазные токи равны между собой  $I_\phi = \frac{U_\phi}{Z_\phi}$ , сдвиги фаз между напряжениями и токами  $U_A$  и  $I_A$ ,  $U_B$  и  $I_B$ ,  $U_C$  и  $I_C$  одинаковы и определяются по формуле (1).

$$\varphi = \arctg(X_\phi / R_\phi), \quad (1)$$

где  $X_\phi$  – реактивное сопротивление фазных нагрузок;

$R_\phi$  – активное сопротивление фазных нагрузок.

В этом случае между линейными и фазными напряжениями существует зависимость  $U_L = \sqrt{3} \cdot U_\phi$ . Векторные диаграммы при симметричной нагрузке приведены на рисунке 2.

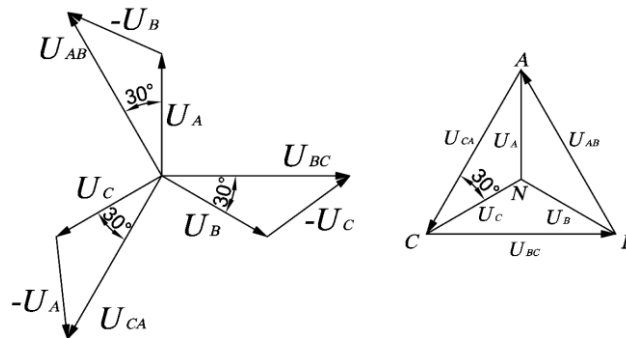


Рисунок 2. Векторные диаграммы напряжений при соединении приемника звездой в случае симметричной нагрузки

Активная мощность трехфазного приемника может быть выражена по формуле  $P = 3 \cdot P_\phi = 3 \cdot U_\phi I_\phi \cos \varphi_\phi = \sqrt{3} U_L I_L \cos \varphi_\phi$ .

Если нагрузка несимметричная, то в нейтральном проводе возникает ток  $I_N \neq 0$ , который можно определить графически исходя из векторного уравнения  $I_N = I_A + I_B + I_C$ .

### Порядок выполнения работы

**Задание 1. Исследовать трехфазную электрическую цепь при симметричной нагрузке.**

1.1. Собрать схему, представленную на рисунке 3. Установить симметричную нагрузку используя резисторы модуля «Сопротивления добавочные».

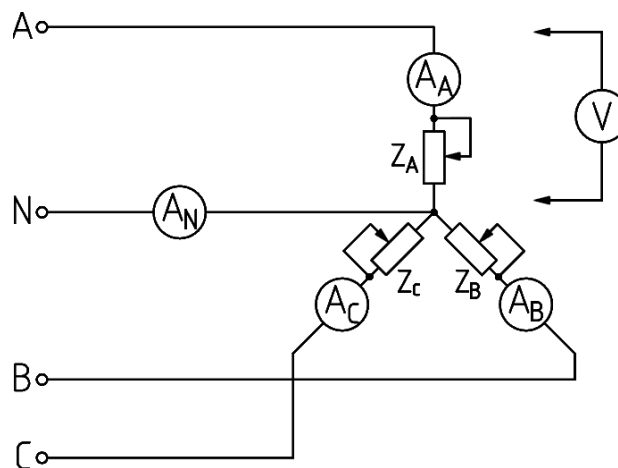


Рисунок 4. Схема для исследования трехфазной электрической цепи при соединении приемника звездой

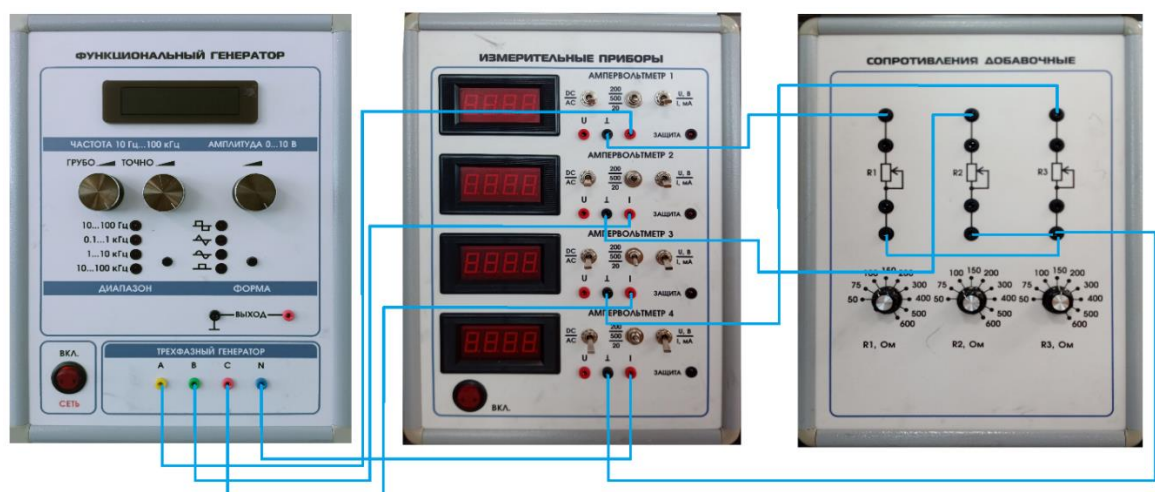


Рисунок 5. Схема подключения модулей стенда для исследования цепи переменного тока при соединении фаз приемника звездой

1.2. С помощью амперметров измерить линейные токи  $I_A, I_B, I_C$  и ток  $I_N$ .

С помощью вольтметра со щупами измерить линейные и фазные напряжения  $U_{AB}, U_{BC}, U_{CA}$  и  $U_A, U_B, U_C$ . Записать показания всех приборов в таблицу 1.

Таблица 1. Данные наблюдений и вычислений при симметричной нагрузке с нейтральным проводом

Номер опыта	Состояние системы	Результаты наблюдений										Результаты вычислений					
		Напряжение, В						Ток, А				Активная мощность, Вт					
		Линейное			Фазное												
		$U_{AB}$	$U_{BC}$	$U_{CA}$	$U_A$	$U_B$	$U_C$	$I_A$	$I_B$	$I_C$	$I_N$	$P_A$	$P_B$	$P_C$	$P$		
1	Симметричная нагрузка с нейтральным проводом																

1.3. Построить в масштабе векторные диаграммы напряжений и токов для симметричной нагрузки, используя данные таблицы 1.

1.4. Определить отношение линейного напряжения к фазному для случая симметричной нагрузки, сравнить его с теоретическим значением этой величины.

1.5. Подсчитать мощность каждой фазы и полную мощность, потребляемую нагрузкой, результаты вычислений занести в таблицу 1.

**Задание 2. Исследовать трехфазную электрическую цепь при несимметричной нагрузке**

2.1. В схеме (рисунок 4) создать несимметричную нагрузку фаз, изменяя сопротивления резисторов.

2.2. С помощью амперметров измерить линейные токи  $I_A, I_B, I_C$  и ток  $I_N$ . С помощью вольтметра со щупами измерить линейные и фазные напряжения  $U_{AB}, U_{BC}, U_{CA}$  и  $U_A, U_B, U_C$ . Записать показания всех приборов в таблицу 2.

2.3. Построить в масштабе векторные диаграммы напряжений и токов для несимметричной нагрузки, используя данные таблицы 2.



Таблица 2. Данные наблюдений и вычислений при несимметричной нагрузке

Номер опыта	Состояние системы	Результаты наблюдений										Результаты вычислений			
		Напряжение, В						Ток, А				Активная мощность, Вт			
		Линейное			Фазное										
		$U_{AB}$	$U_{BC}$	$U_{CA}$	$U_A$	$U_B$	$U_C$	$I_A$	$I_B$	$I_C$	$I_N$	$P_A$	$P_B$	$P_C$	$P$
1	Несимметричная нагрузка с нейтральным проводом														
2	Несимметричная нагрузка без нейтрального провода														

2.4. Определить отношение линейного напряжения к фазному для случая несимметричной нагрузки, сравнить его с теоретическим значением этой величины.

2.5. Подсчитать мощность каждой фазы и полную мощность, потребляемую нагрузкой, результаты вычислений занести в таблицу 2.

2.6. Не изменяя присоединенную нагрузку, отсоединить нейтральный провод, подключить трехфазную цепь, выполнить измерения и записать показания всех приборов в таблицу 2.

Сделать выводы и составить отчет по результатам выполненной работы.

### Контрольные вопросы

1. Как соединить фазы токоприемника звездой?
2. Какое напряжение называется фазным и какое напряжение – линейным?
3. При каких условиях трехфазная система называется симметричной?
4. В каких условиях можно обойтись без нейтрального провода?
5. Как определить ток в нейтральном проводе?

## Лабораторная работа № 14

### Тема: «Изучение однофазного трансформатора»

**Цель работы:** Ознакомление с принципом работы, характеристиками и методами исследования однофазных трансформаторов.

#### Теоретические сведения

Трансформатором называется статическое (без движущихся частей) электромагнитное устройство, предназначенное для преобразования одного переменного напряжения в другое (или другие) напряжения той же частоты.

Обмотка трансформатора, присоединенная к источнику питания (сеть электроснабжения, генератор), называется первичной. Соответственно первичными именуется все величины, относящиеся к этой обмотке – число витков, напряжение, ток и др. Их буквенное обозначение снабжается индексом 1, например:  $N_1$ ,  $U_1$ ,  $I_1$  (рисунок 1). Обмотка, к которой подключается приемник (потребитель электроэнергии), и относящиеся к ней величины называются вторичными. Их буквенное обозначение снабжается индексом 2, например:  $N_2$ ,  $U_2$ ,  $I_2$  (рисунок 1).

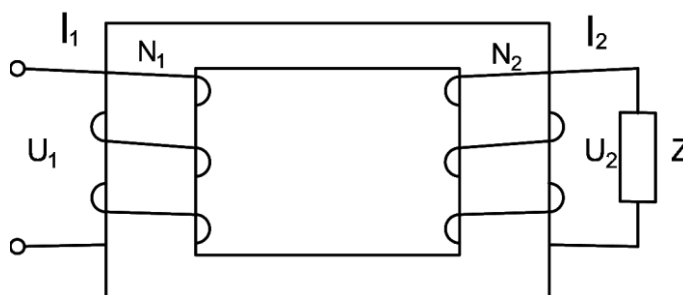


Рисунок 1. Схема однофазного трансформатора

Отношение напряжения первичной обмотки трансформатора к напряжению вторичной его обмотки, равное отношению соответствующих чисел витков обмоток является коэффициентом трансформации трансформатора (1).

$$K = \frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2}, \quad (1)$$

где  $U_1$ ,  $U_2$  – напряжения первичной и вторичной обмоток трансформатора,

$N_1, N_2$  – число витков в первичной и вторичной обмотках трансформатора.

Активная мощность, потребляемая трансформатором ( $P_0$ ), затрачивается на потери мощности в магнитопроводе ( $P_M$ ) и электрические потери в обмотке ( $P_э$ ) (2)

$$P_0 = P_M + P_э. \quad (2)$$

Опыт холостого хода позволяет определить коэффициент трансформации и потери мощности в магнитопроводе  $P_M$  (магнитные), поскольку ток вторичной обмотки равен нулю, активное сопротивление первичной обмотки, так же как и ток холостого хода незначительно, электрические потери мощности в этой обмотке оказываются весьма небольшими и ими можно пренебречь. Из опыта холостого хода можно определить параметры, приведенные в таблице 1.

Таблица 1. Параметры режима холостого хода

Параметры ветви намагничивания	$Z_0 = \frac{U_{1H}}{I_{1XX}}$	Полное сопротивление
	$R_0 = \frac{P_{XX}}{I_{1XX}^2}$	Активная составляющая
	$x_0 = \sqrt{Z_0^2 - R_0^2}$	Реактивная составляющая
Коэффициент мощности	$\cos \varphi_1 = \frac{P_{XX}}{U_{1H} I_{1XX}}$	
Потери в стали (показания ваттметра)	$P_{CT} \approx P_{XX}$	
Коэффициент трансформации	$K = \frac{U_{1H}}{U_{2XX}}$	

Опыт короткого замыкания – это испытание трансформатора при короткозамкнутой цепи вторичной обмотки. При этом подводимое напряжение мало, поэтому мал и магнитный поток. Магнитными потерями можно пренебречь и считать показание ваттметра равным электрическим потерям в обмотках  $P_э$  (потери в меди).

Из опыта короткого замыкания можно определить параметры, приведенные в таблице 2.

Таблица 2. Параметры режима короткого замыкания

Номинальные потери в обмотках (потери в меди) (показание ваттметра)	$P_K = R_1 I_{1H}^2 + R_2 I_{2H}^2$
Коэффициент мощности	$\cos \varphi_2 = \frac{P_K}{U_{1K} I_{1H}}$

Рабочий режим – это работа трансформатора при подключенных потребителях или под нагрузкой. В этом режиме напряжение первичной обмотки близко к номинальному  $U_1 \approx U_{1ном.}$ , ток первичной обмотки  $I_1$  определяется нагрузкой трансформатора, а ток вторичной обмотки ее номинальным током. Рабочий режим характеризуется параметрами, приведенными в таблице 3.

Таблица 3. Параметры рабочего режима

Коэффициент полезного действия	$\eta = \frac{P_1}{P_2}$
Коэффициент мощности первичной обмотки	$\cos \varphi_1 = \frac{P_1}{I_1 U_1}$
Коэффициент мощности вторичной обмотки	$\cos \varphi_2 = \frac{P_2}{I_2 U_2}$

### Порядок выполнения работы

#### Задание 1. Исследовать режим холостого хода трансформатора

1.1. Собрать схему, приведенную на рисунке 2.

1.2. Подайте на первичную обмотку номинальное напряжение.

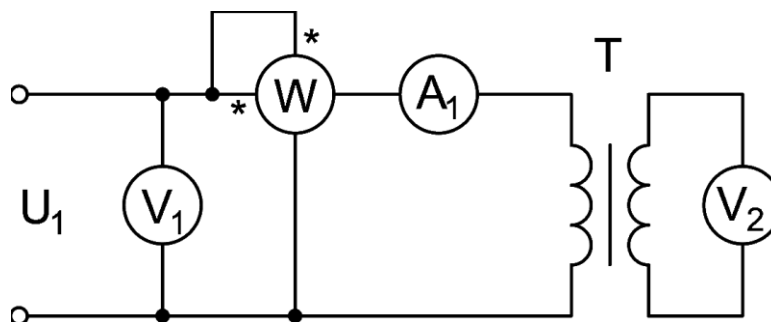


Рисунок 2. Схема для опыта холостого хода

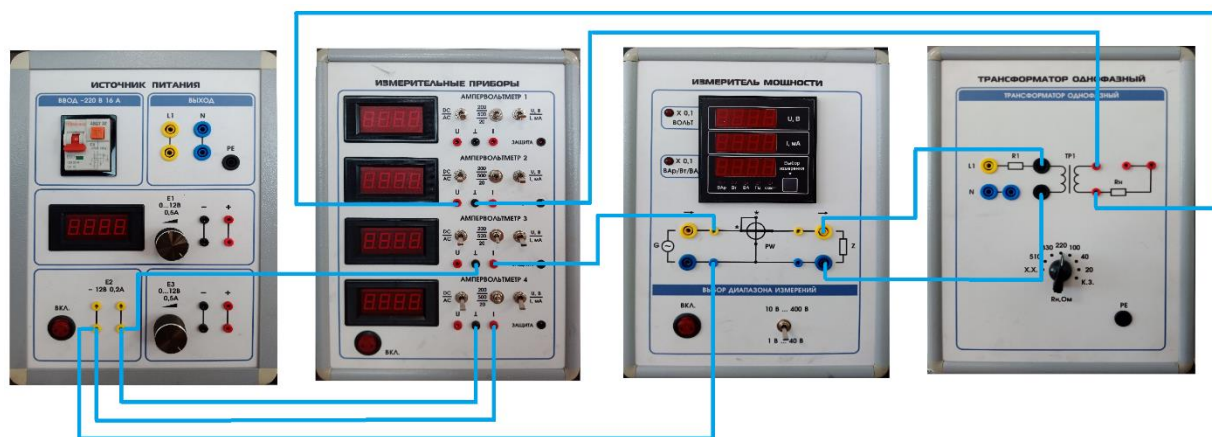


Рисунок 3. Схема подключения модулей стенда для опыта короткого замыкания

1.3. Показания приборов запишите в таблицу 4.

Таблица 4. Результаты наблюдений и вычислений для опыта холостого хода

Режим	Результаты наблюдений				Результаты вычислений		
	$I_1, A$	$U_1, B$	$P_1, Вт$	$U_2, B$	$P_{ст}, Вт$	$K$	$\cos \varphi_1$
Холостой ход							

1.4. По данным опыта определите потери в стали, коэффициент трансформации, коэффициент мощности. Результаты вычислений запишите в таблицу 4.

### Задание 2. Исследовать режим короткого замыкания трансформатора

2.1. Собрать схему, приведенную на рисунке 3.

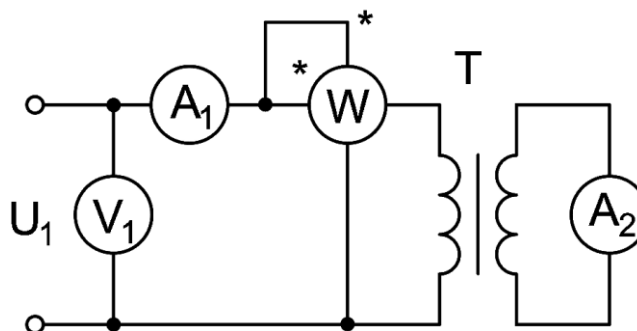


Рисунок 4. Схема для опыта короткого замыкания

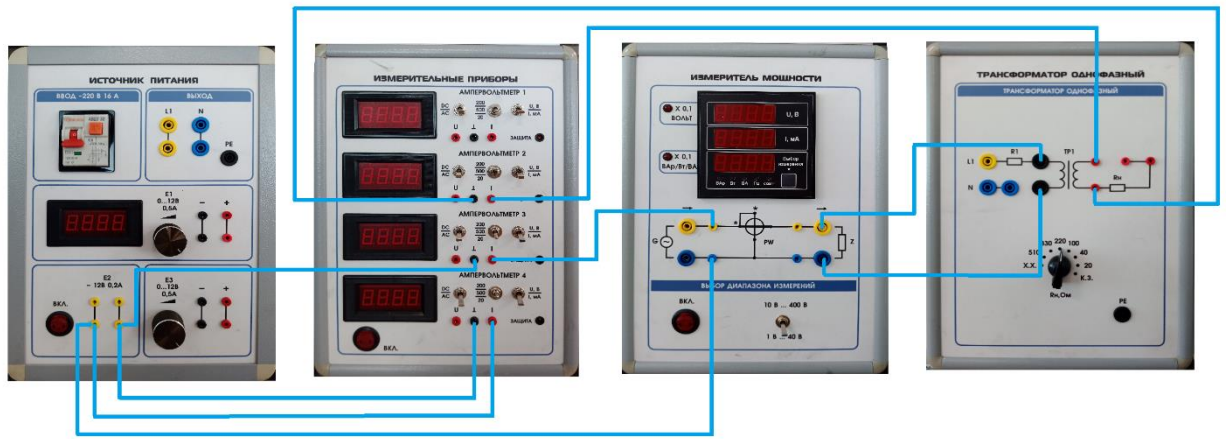


Рисунок 5. Схема подключения модулей стенда для опыта короткого замыкания

2.2. Увеличивая напряжение первичной обмотки (от минимального значения), получить номинальный ток во вторичной обмотке.

2.3 Показания приборов запишите в таблицу 5.

Таблица 5. Результаты наблюдений и вычислений для опыта короткого замыкания

Режим	Результаты наблюдений				Результаты вычислений	
	$I_1, A$	$U_1, B$	$P_1, Вт$	$I_2, A$	$P_M, Вт$	$\cos \varphi_2$
Короткое замыкание						

2.4. По данным опыта определите потери в меди, коэффициент мощности. Результаты вычислений запишите в таблицу 5.

**Задание 3. Исследовать режим активной нагрузки трансформатора**

3.1. Собрать схему, приведенную на рисунке 5.

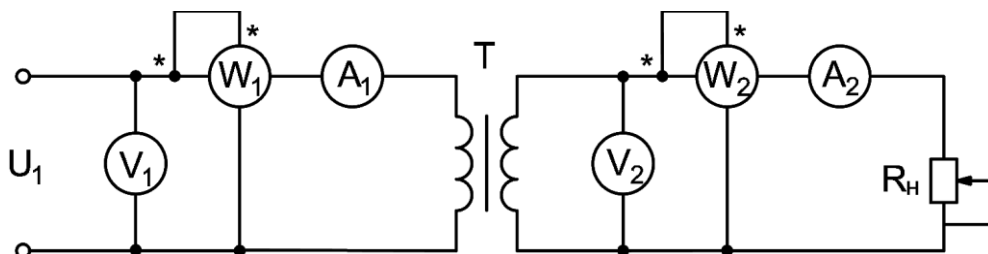


Рисунок 6. Схема для режима активной нагрузки трансформатора

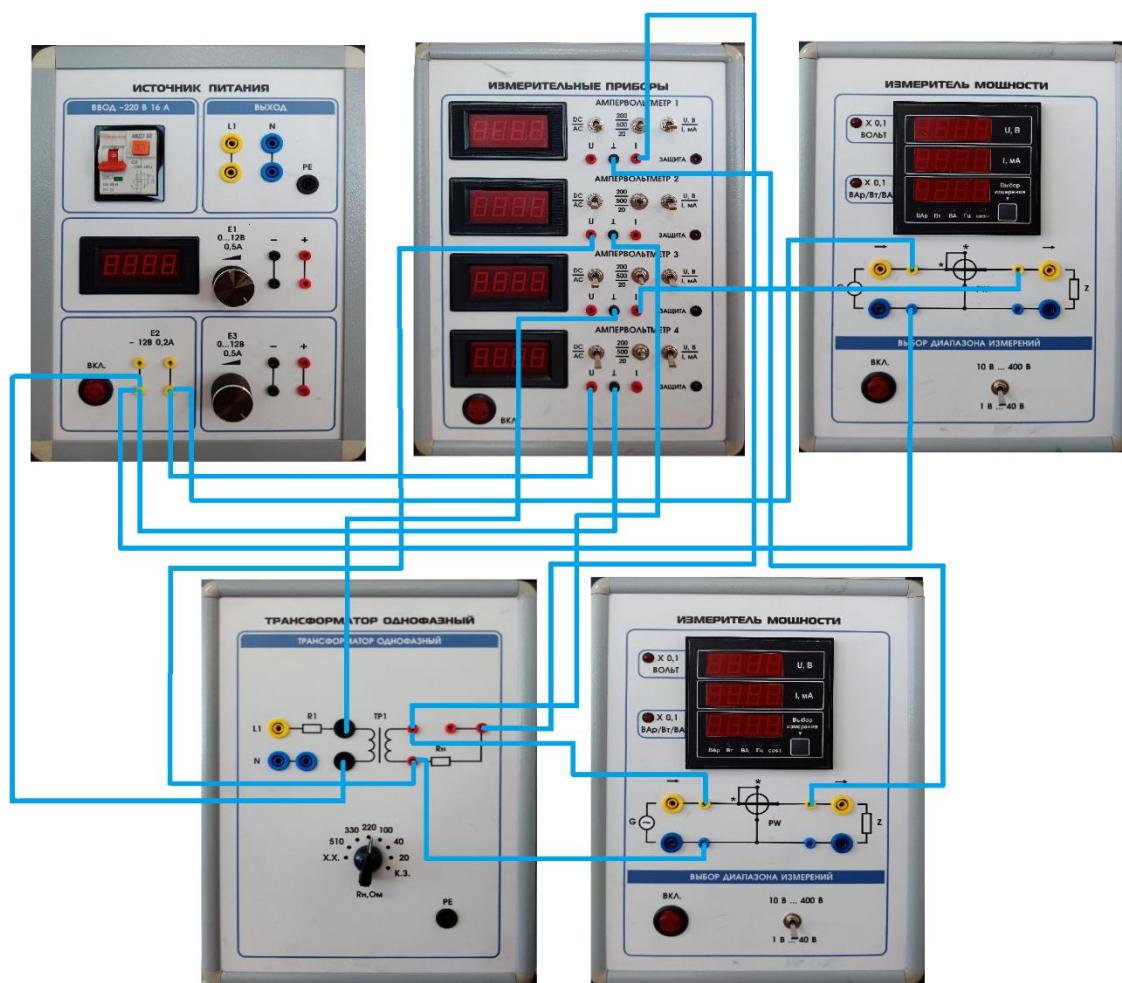


Рисунок 7. Схема подключения модулей стенда для режима активной нагрузки трансформатора

3.2. Подать на трансформатор номинальное напряжение и, изменяя сопротивление нагрузки, исследовать режим активной нагрузки трансформатора. При изменении сопротивления нагрузки следить за тем, чтобы напряжение на первичной обмотке  $U_1$  все время было равно номинальному.

3.3. Показания приборов запишите в таблицу 6.

Таблица 6. Результаты наблюдений для режима активной нагрузки

Режим активной нагрузки	Результаты наблюдений						Результаты вычислений		
	$I_2, A$	$U_2, B$	$P_2, Вт$	$I_1, A$	$U_1, B$	$P_1, Вт$	$\cos \varphi_1$	$\eta$	$\cos \varphi_2$

3.4. По данным опыта определите коэффициенты мощности и коэффициент полезного действия трансформатора. Результаты вычислений запишите в таблицу 6.

Сделать выводы и составить отчет по результатам выполненной работы.

### **Контрольные вопросы**

1. Как устроен трансформатор?
2. В каких случаях трансформатор называют повышающим и в каком понижающим?
3. Что называют коэффициентом трансформации?
4. Какие потери энергии имеются в трансформаторе, от чего они зависят и как определяются?
5. Для чего магнитопровод трансформатора набирается из листов электротехнической стали и какой толщины эти листы?



**Приложение 1****Описание лабораторного стенда**

Учебно-лабораторное оборудование «Электротехника и основы электроники» предназначено для проведения лабораторно-практических занятий по одноименному курсу и предназначено для изучения и исследования электрических цепей постоянного и переменного тока, трехфазных цепей, переходных процессов в линейных и нелинейных электрических цепях, полупроводниковых приборов, аналоговых электронных устройств на операционных усилителях, элементов цифровой техники, выпрямителей и сглаживающих фильтров.

Лицевая панель стенда показана на рисунке. 1

Она содержит блоки: функциональный генератор, источник питания, измеритель мощности, измерительные приборы, мультиметры, трансформатор однофазный, сопротивления добавочные, диоды, резисторы, конденсаторы.



Рисунок 1. Лицевая панель стенда

Однофазный источник питания (рисунок 2) предназначен для питания однофазным переменным током промышленной частоты функциональных

блоков учебных лабораторных комплексов. Модуль содержит в своем составе стабилизированный и регулируемый источник постоянного тока в пределах  $0...12\text{ В}$ ,  $0,5\text{ А}$  с защитой от перегрузок по току; источник переменного тока  $128 \times 0,2\text{ А}$  с внутренней защитой от перегрузок по току; источник переменного тока  $220\text{ В} \times 16\text{ А}$ . Источник оборудован цифровым вольтметром.



Рисунок 2. Однофазный источник питания

Модуль измерительные приборы (рисунок 3) содержит цифровые измерительные приборы: четыре ампервольтметра постоянного/переменного тока с соответствующими гнездами для включения в измерительную цепь, выведенными на лицевую панель. Выбор функционального назначения прибора осуществляется с помощью микро тумблеров «U, В/І, мА». В верхнем положении он выполняет функцию вольтметра, а в нижнем – амперметра. Выбор диапазона измерения ампервольтметров 20, 200 и 500 В/мА производится при помощи микро тумблеров, имеющих три фиксированных положения. Род измеряемого тока прибора (переменный или постоянный) выбирается тумблерами/АС.

Модуль мультиметров (рисунок 4) представляет собой блок из двух мультиметров Mastech MS8221A. Мультиметры имеют несъемную конструкцию и свои собственные, гальванически развязанные источники питания от сети  $220\text{ В}/50\text{ Гц}$ .



Рисунок 3. Модуль измерительные приборы

Мультиметр Mastech MS8221A предназначен для измерения величины силы постоянного и переменного тока, постоянного и переменного напряжения, сопротивления и коэффициента усиления биполярных транзисторов. Высокое входное сопротивление не вносит погрешности при измерениях величин. Выбор пределов измерения величин производится вручную путем установки нужного положения многопозиционного переключателя.



Рисунок 4. Модуль мультиметры

Модуль сопротивления добавочные (рисунок 5) представляет собой дискретно переключаемые при помощи галетных переключателей три резистора, предназначенные для применения в качестве добавочных сопротивлений в однофазных, трехфазных цепях переменного тока и цепях постоянного тока с регулированием вручную. На лицевую панель выведены клеммы для включения элементов в электрическую цепь.



Рисунок 5. Модуль сопротивления добавочные

Модуль диоды, резисторы, конденсаторы (рисунок 6) представляет собой набор элементов для исследования характеристик и параметров выпрямительного диода, стабилитрона, тиристора, различных типов выпрямителей, а также в качестве элементов для составления исследуемых схем (постоянные и переменные резисторы, конденсаторы, предохранитель) при проведении лабораторных работ. Модуль не имеет цепей питания.

Модуль измеритель мощности (рисунок 7) предназначен для измерения действующих значений переменного напряжения и тока; активной, реактивной и полной мощности, частоты и коэффициента мощности ( $\cos \varphi$ ) на нагрузке в цепях переменного тока. Модуль содержит цифровой 3-х строчный индикатор, на котором отображаются следующие параметры: 1) напряжение. 2) ток. 3) активная мощность, реактивная мощность, полная мощность, частота и  $\cos \varphi$ . Входное измеряемое напряжение – до 400 В (WAM 408), максимальный измеряемый ток – 600 мА.



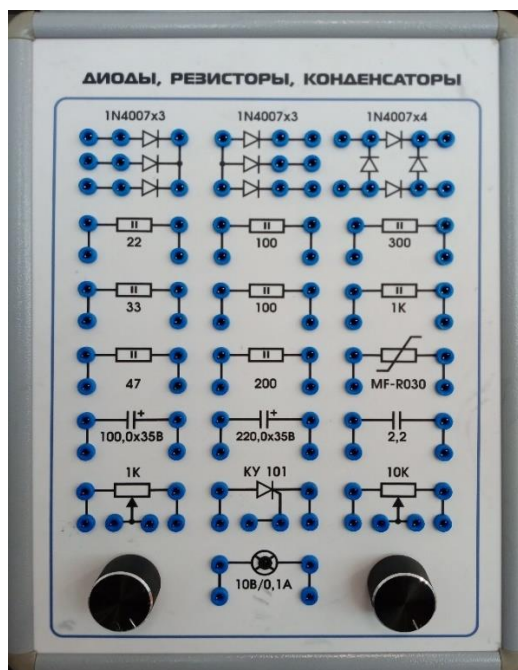


Рисунок 6. Модуль диоды, резисторы, конденсаторы



Рисунок 7. Модуль измеритель мощности

Модуль нелинейные и реактивные элементы (рисунок 8) представляет собой набор элементов для исследования характеристик и параметров следующих нелинейных элементов: варистора, лампы накаливания, полупроводникового диода, стабилитрона, дросселя, диода Шоттки, катушки индуктивности и переменного конденсатора. Эти элементы могут использоваться в качестве элементов для составления различных исследуемых схем.

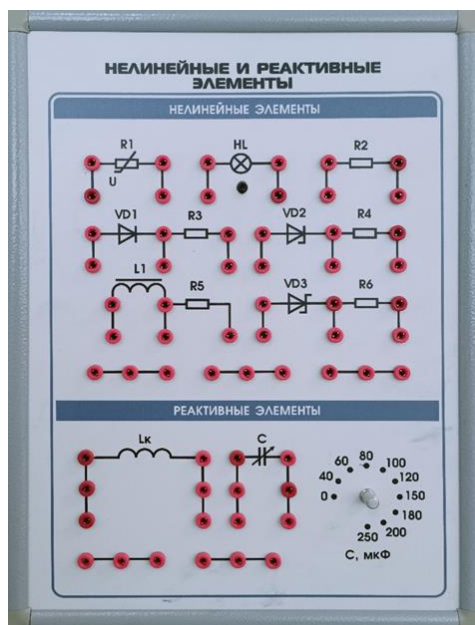


Рисунок 8. Модуль нелинейные и реактивные элементы

Модуль трансформатор однофазный (рисунок 9) предназначен для исследования свойств однофазного трансформатора и состоит из исследуемого однофазного трансформатора с дискретно регулируемым при помощи галетного переключателя « $R_H$ » сопротивлением нагрузки от холостого хода до короткого замыкания. Номинальное входное напряжение трансформатора составляет 220В при токе холостого хода 0,04А. Номинальная мощность трансформатора 13Вт при токе/напряжении на вторичной обмотке 1А/13,5В. Напряжение холостого хода вторичной обмотки составляет 19В.

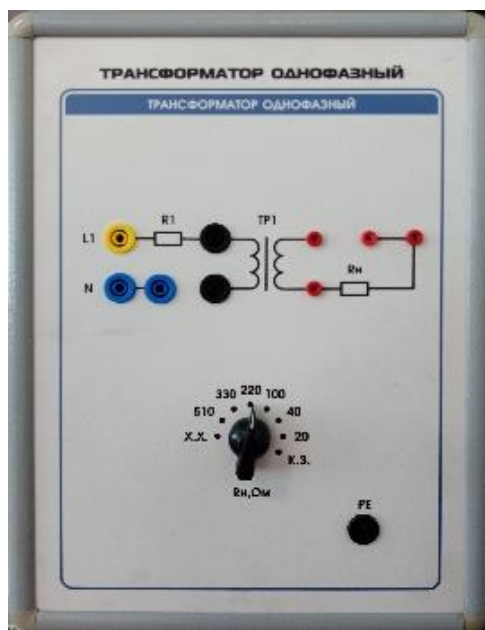


Рисунок 9. Модуль трансформатор однофазный

**Приложение 2****Инструкция по технике безопасности при проведении лабораторных работ по электротехнике.****1. Общие требования безопасности.**

1.1. К проведению лабораторных работ по электротехнике допускаются лица, ознакомленные с устройством лабораторного оборудования, принципом работы и мерами безопасности, прошедшие инструктаж по охране труда.

1.2. При проведении лабораторных работ по электротехнике соблюдать правила пожарной безопасности, знать места расположения первичных средств пожаротушения. Лаборатория должна быть оснащена первичными средствами пожаротушения: огнетушителем углекислотным или порошковым.

1.3. При неисправности оборудования прекратить работу и сообщить об этом преподавателю.

1.4. В процессе работы обучающиеся должны соблюдать порядок проведения лабораторных работ, содержать в чистоте рабочее место.

**2. Требования безопасности перед началом работы.**

2.1. Внимательно изучить содержание и порядок проведения лабораторной работы.

2.2. Подготовить к работе рабочее место, убрать посторонние предметы. Приборы и оборудование разместить таким образом, чтобы исключить их падение и опрокидывание.

2.3. Проверить исправность оборудования, приборов.

**3. Требования безопасности во время работы.**

3.1. Точно выполнять все указания преподавателя при проведении лабораторной работ, без разрешения не выполнять самостоятельно никаких работ.

3.2. Следить за исправностью всех креплений в приборах и приспособлениях.

3.3. При сборке электрической схемы использовать провода с наконечниками, без видимых повреждений изоляций, избегать пересечений проводов, источник тока подключать в последнюю очередь.

3.4. Для присоединения потребителей к сети пользуйтесь штепсельными соединениями.

3.5. Собранную электрическую схему включать только после проверки ее преподавателем.

3.6. Не прикасаться к находящимся под напряжением элементам электрической цепи, к корпусам стационарного электрооборудования, к зажимам конденсаторов, не производить переключений в цепях до отключения источника тока.

3.7. Наличие напряжения в электрической цепи проверять только приборами.

3.8. Не допускать предельных нагрузок измерительных приборов.

3.9. Не оставлять без надзора не выключенные электрические устройства и приборы.

4. Требования безопасности в аварийных ситуациях.

4.1. При обнаружении неисправности в работе электрических устройств, находящихся под напряжением, повышенном их нагревании, появлении искрения, запаха горелой изоляции и т.д. немедленно отключить источник электропитания и сообщить об этом преподавателю.

4.2. При получении травмы сообщить об этом преподавателю, который должен немедленно оказать первую помощь пострадавшему и сообщить администрации учреждения, при необходимости отправить пострадавшего в ближайшее лечебное учреждение.

5. Требования безопасности по окончании работы.

5.1. Отключить источник тока, разобрать электрическую схему.

5.2. Привести в порядок рабочее место, сдать преподавателю приборы, оборудование.



**Приложение 3****Требования к отчету по лабораторным работам**

Отчет должен содержать:

- 1 Название и порядковый номер лабораторной работы
2. Тему и цель работы.
- 2 Наименование приборов и принадлежностей, используемых при выполнении работы.
3. Схемы, выполненные с соблюдением принятых стандартных условных обозначений.
4. Таблицы результатов наблюдений и вычислений.
5. Графические зависимости в прямоугольной системе координат с нанесенными экспериментальными точками.
6. Основные выводы.

**Приложение 4****Защита отчета о выполненной лабораторной работе**

Защита лабораторной работы включает в себя беседу с преподавателем, ответы на контрольные вопросы (примерные контрольные вопросы приведены после каждой лабораторной работы).

Защищая отчет обучающийся должен **знать:**

- объект исследований (устройство и принцип его действия, состав, характеристики);
- лабораторную установку и функциональное назначение всех её элементов;
- последовательность, условия, назначение и выполнение экспериментов;
- характер и причины изменения всех измеренных и рассчитанных функциональных зависимостей.

Защищая отчет обучающийся должен **уметь:**

- объяснить, как выполнялись приведенные расчеты и построения;
- провести анализ полученных результатов;

– указать области практического использования исследованных явлений;

– сделать выводы по работе.

**Критерии оценок :**

– оценка «5» ставится: практическая работа выполнена в полном объеме, в соответствии с заданием, с соблюдением последовательности выполнения, расчеты выполнены без ошибок, самостоятельно; работа оформлена аккуратно.

– оценка «4» ставится: практическая работа выполнена в полном объеме, в соответствии с заданием, с соблюдением последовательности выполнения, частично с помощью преподавателя, присутствуют незначительные ошибки при расчетах; работа оформлена аккуратно.

– оценка «3» ставится: практическая работа выполнена в полном объеме, в соответствии с заданием, частично с помощью преподавателя, присутствуют ошибки при расчетах; по оформлению работы имеются замечания.

– оценка «2» ставится: обучающийся не подготовился к практической работе, при расчетах допустил грубые ошибки, по оформлению работы имеются множественные замечания.

## **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Кольниченко Г. И. Основы электротехники: учебник для СПО, 3-е изд., испр. и доп., – М.: «Лань», 2023. – 253 с.
2. Иванов И. И. Электротехника и основы электроники: учебник для СПО, 3-е изд., – М.: «Лань», 2023. – 736 с.
3. Кузовкин В. А., Филатов В. В. Электротехника и электроника: учебник для среднего профессионального образования, – М.: «Юрайт», 2024. – 433 с.