

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«СЕВАСТОПОЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

В.Н. Мирянова

**ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ.
ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ
ПО ДИСЦИПЛИНЕ**

Часть 1

Методические указания
к выполнению лабораторных работ
для студентов бакалавриата направлений
09.00.00 - Информатика и вычислительная техника,
27.00.00 - Управление в технических системах

Севастополь
СевГУ
2022

УДК 621.3.01(075.8)

ББК 31.2я73

М64

Р е ц е н з е н т :

А.А. Кабанов - кандидат технических наук, доцент,
заведующий кафедрой «Информатика и управление в технических системах»

Мирянова Вера Николаевна

М64 Основы электротехники. Лабораторный практикум по дисциплине : методические указания к выполнению лабораторных работ для студентов бакалавриата направлений 09.00.00 - Информатика и вычислительная техника, 27.00.00 - Управление в технических системах. В 2-х частях. Часть 1 / В.Н. Мирянова ; Севастопольский государственный университет. – Севастополь: СевГУ, 2022. – 56 с. – Текст : электронный.

Целью лабораторного практикума является привитие навыков исследования свойств электрических цепей и их расчета. Лабораторные работы предполагают изучение основных свойств элементов цепей, их последовательного, параллельного, смешанного соединений; резонанса напряжений и токов; трехфазных цепей при соединении потребителей звездой и треугольником; мощности цепи переменного тока. Каждая лабораторная работа кроме кратких теоретических сведений и указаний по её выполнению содержит требования к оформлению и содержанию отчета, а также перечень контрольных вопросов.

УДК 621.3.01(075.8)

ББК 31.2я73

Лабораторный практикум рассмотрен и утвержден на заседании кафедры «Информатика и управление в технических системах», протокол № 7 от 23 апреля 2021 г.

Рекомендовано Ученым советом Института информационных технологий и управления в технических системах, протокол № 5 от 15 апреля 2021 г.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
ПРАВИЛА ТЕХНИКИ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ	5
1. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1. ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЦЕПИ ПОСТОЯННОГО ТОКА С ОДНИМ ИСТОЧНИКОМ.....	7
2. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2 ИССЛЕДОВАНИЕ ЛИНЕЙНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ	12
3. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3. ИССЛЕДОВАНИЕ ЦЕПИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА С ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫМ СОЕДИНЕНИЕМ ЭЛЕМЕНТОВ	18
4. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4. ИССЛЕДОВАНИЕ ЦЕПИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА СО СМЕШАННЫМ СОЕДИНЕНИЕМ ЭЛЕМЕНТОВ	22
5. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5. ИЗМЕРЕНИЕ МОЩНОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЦЕПИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА.....	26
6. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 6. ИССЛЕДОВАНИЕ ТРЕХФАЗНЫХ ЦЕПЕЙ ПИТАНИЯ ПРИ СОЕДИНЕНИИ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ ЗВЕЗДОЙ ..	30
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	37
ПРИЛОЖЕНИЕ А. ОПИСАНИЕ И ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ОБОРУДОВАНИЯ	38
А.1 ИСТОЧНИКИ ПИТАНИЯ.....	38
А.2 ФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ ГЕНЕРАТОР. ИМПУЛЬСНЫЙ ГЕНЕРАТОР	40
А.3 РЕАКТИВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ. РЕЗИСТОРЫ/АКТИВНАЯ НАГРУЗКА НЕЛИНЕЙНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ	42
А.4 ДИОДЫ, РЕЗИСТОРЫ, КОНДЕНСАТОРЫ. КОННЕКТОР/ БЛОК ВВОДА-ВЫВОДА	44
А.5. ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ	45
А.6 МИЛЛИАМПЕРМЕТРЫ	47
А.7 ИЗМЕРИТЕЛЬ МОЩНОСТИ.....	47
А.8 АВТОТРАНСФОРМАТОР	48
А.9 МУЛЬТИМЕТРЫ	50

ВВЕДЕНИЕ

Лабораторный практикум (первая часть) включает шесть лабораторных работ, охватывающих основные разделы электротехники. Каждая лабораторная работа выполняется в течение трех академических часов. В процессе подготовки к выполнению студент должен ознакомиться с теоретическими положениями и описанием лабораторной установки, выполнить предварительные теоретические расчеты.

Работы проводятся с использованием типового комплекта учебного оборудования «Теоретические основы электротехники», исполнение стендовое ручное с осциллографом, который предназначен для проведения лабораторно-практических занятий по электротехническим дисциплинам и обеспечивает изучение неразветвленных и разветвленных электрических и магнитных цепей, потенциалов в электрической цепи, принципа наложения токов, законов Кирхгофа, методов узловых напряжений, параметров индуктивно связанных катушек и параметров линии электропередач, резонансных явлений, трехфазных цепей при соединении потребителей звездой и треугольником и других.

Общий вид лабораторного стенда показан на рис. 1.



Рисунок 1 – Общий вид оборудования

В его состав входят отдельные лабораторные модули с элементами и измерительными приборами. Описание работы модулей приведено в приложении А.

Лабораторные модули подключаются при помощи соединительных проводов, входящих в комплект поставки, в соответствии со схемами, приведенными в данном методическом руководстве.

После проверки собранной схемы преподавателем принимается решение о подаче в схему напряжения питания. Затем выполняется лабораторная работа и составляется отчет.

ПРАВИЛА ТЕХНИКИ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

До начала работ каждый студент ДОЛЖЕН внимательно ознакомиться с настоящими правилами и расписаться в журнале учета инструктажа по технике безопасности.

Студент ОБЯЗАН выполнять следующие правила:

1. Перед включением лабораторного комплекса в сеть 220 В убедитесь, что тумблер включения находится в положении «ВЫКЛ.».

2. При сборке цепи используйте провода с исправной изоляцией. Подключая приборы, проверяйте соблюдение норм нагрузки (рабочее напряжение конденсатора, максимальный ток для катушек индуктивности и т.п.).

3. Сборку электрической цепи ведите по контурам, начиная с основного (содержащего источник питания); мультиметр, образующий вспомогательный контур, подключайте в последнюю очередь.

4. Включайте источники питания только после проверки цепи преподавателем.

5. Для проведения любых переключений в цепи отключите источник питания, чтобы избежать короткого замыкания участка цепи.

6. Отключите питание по завершению измерений.

ЗАПРЕЩАЕТСЯ

1. Касаться токоведущих частей схемы металлическими предметами, работать мокрыми руками.

2. Без разрешения преподавателя включать лабораторные стенды в сеть 220 В и подавать питание на схему.

3. Перемещать лабораторные стенды с одного стола на другой или вскрывать их.

ПРИНЯТЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

I – действующее значение тока;
 U – действующее значение напряжения;
 I_m – амплитудное значение тока;
 U_m – амплитудное значение напряжения;
 E – действующее значение ЭДС;
 E_m – амплитудное значение ЭДС;
 R – сопротивление резистора;
 L – индуктивность катушки индуктивности;
 C – емкость конденсатора;
 r – активное сопротивление;
 G – проводимость;
 g – активная проводимость;
 Z – комплексное полное сопротивление;
 Y – комплексная полная проводимость;
 x – реактивное сопротивление;
 x_L – индуктивное сопротивление катушки индуктивности;
 x_C – емкостное сопротивление конденсатора;
 b – реактивная проводимость;
 b_L – индуктивная проводимость катушки индуктивности;
 b_C – емкостная проводимость конденсатора;
 P – активная мощность;
 S – полная мощность;
 Q – реактивная мощность;
 Q_L – реактивная мощность катушки индуктивности;
 Q_C – реактивная мощность конденсатора;
 i – мгновенное значение тока;
 u – мгновенное значение напряжения;
 e – мгновенное значение ЭДС;
 p – мгновенное значение мощности;
 φ – угол сдвига фаз между напряжением и током;
 ω – угловая частота.

Лабораторная работа № 1

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЦЕПИ ПОСТОЯННОГО ТОКА С ОДНИМ ИСТОЧНИКОМ

1.1. Цель работы: экспериментальная проверка соотношений между напряжениями и токами цепи постоянного тока с одним источником.

1.2. Теоретические сведения

Основными законами линейных электрических цепей являются законы Ома и Кирхгофа.

Закон Ома для участка цепи (рис. 1.1):

$$I = \frac{U_{ab} \pm E}{R}, \quad (1.1)$$

где I – ток в цепи; U_{ab} – напряжение на участке цепи; E – ЭДС источника; R – сопротивление участка.

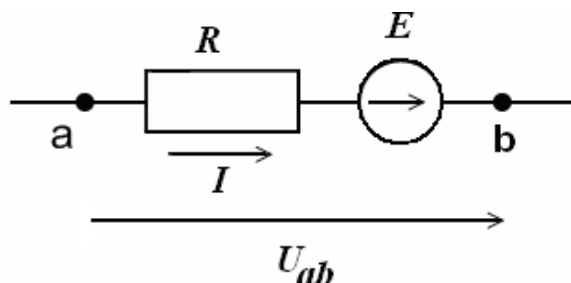


Рисунок 1.1 – Участок электрической цепи

Знак «+» в (1.1) ставится, если направление тока совпадает с направлением ЭДС, знак «–», если не совпадает.

Первый закон Кирхгофа гласит: сумма входящих в узел токов равна сумме токов, выходящих из узла.

Второй закон Кирхгофа: алгебраическая сумма падений напряжений в контуре равна алгебраической сумме ЭДС вдоль того же контура.

$$\sum IR = \sum E. \quad (1.2)$$

Электрическая цепь может содержать любое количество резисторов, соединенных между собой последовательно, либо параллельно.

При последовательном соединении n элементов их эквивалентное сопротивление равно

$$R_{\Sigma} = R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n. \quad (1.3)$$

При параллельном соединении эквивалентное сопротивление определяется по формуле

$$\frac{1}{R_{\Sigma}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots + \frac{1}{R_n}. \quad (1.4)$$

На основании законов Ома, Кирхгофа и эквивалентных преобразований производится расчет электрических цепей.

Пример. Рассчитаем электрическую цепь, изображенную на рисунке 1.2, методом эквивалентных преобразований, считая известными значения ЭДС и сопротивлений.

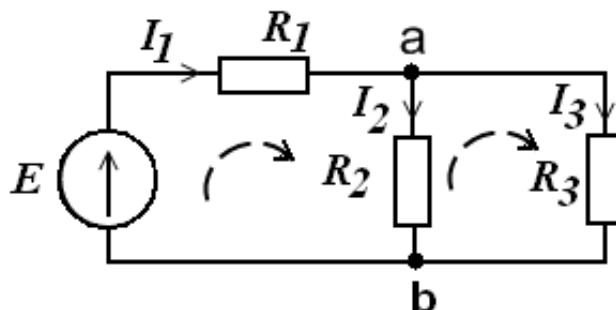


Рисунок 1.2 – Схема электрической цепи с одним источником ЭДС

Найдем эквивалентное сопротивление цепи

$$R_{\mathcal{O}} = R_1 + R_{23}, \quad (1.5)$$

$$R_{23} = \frac{R_2 R_3}{R_2 + R_3}.$$

Входной ток в цепи определяется по закону Ома:

$$I_1 = \frac{E}{R_{\mathcal{O}}}, \quad (1.6)$$

Определим напряжение на участке ab :

$$U_{ab} = I_1 R_{23}. \quad (1.7)$$

Токи ветвей находятся по закону Ома:

$$I_2 = \frac{U_{ab}}{R_2}, \quad I_3 = \frac{U_{ab}}{R_3}. \quad (1.8)$$

Полученные результаты легко проверить с помощью законов Кирхгофа:

$$\begin{cases} I_1 = I_2 + I_3 \\ I_1 R_1 + I_2 R_2 = E \\ I_3 R_3 - I_2 R_2 = 0. \end{cases} \quad (1.9)$$

1.3. Порядок выполнения работы

1. Изучить состав и работу модулей: «Источники питания», «Резисторы/Активная нагрузка», «Диоды, резисторы, конденсаторы», «Мультиметры», «Измерительные приборы» (приложение А), которые будут использоваться в эксперименте.

2. Собрать цепь согласно рисунку 1.3. В качестве R_1 использовать переменный резистор в модуле «Резисторы/Активная нагрузка». Использо-

вать амперметр и вольтметр из модуля «Измерительные приборы». Включить источник постоянного напряжения, установить регулятором значение напряжения источника, равное 12 В. Поочередно переключая резисторы, произвести измерение тока в каждом из них. Записать показания приборов и значения сопротивлений, указанных на стенде в таблицу 1.1.

3. Используя закон Ома, рассчитать сопротивления всех резисторов в блоке переменного резистора R_1 , результаты расчетов также занести в таблицу 1.1., сравнить с номиналами, указанными на панели модуля «Резисторы/Активная нагрузка».

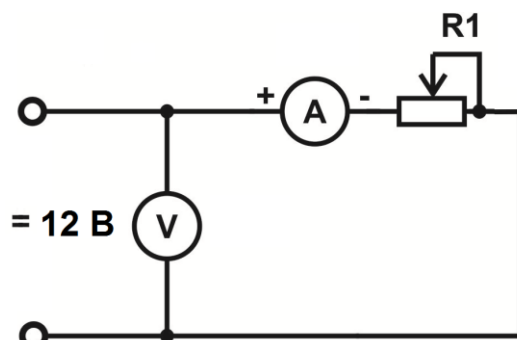


Рисунок 1.3 – Схема эксперимента 1

Таблица 1.1 – Экспериментальные и расчетные данные

Резистор Параметр	R_{1-1}	R_{1-2}	R_{1-3}	R_{1-4}	R_{1-5}	R_{1-6}	R_{1-7}	R_{1-8}	R_{1-9}	R_{1-10}	R_{1-11}	R_{1-12}	Примечание
U , В													измерено
I , А													
R_{1-i} , Ом													указано на стенде
R_{1-i} , Ом													вычислено

4. Собрать схему в соответствии с рисунком 1.4. В качестве R_1 , R_2 , R_3 использовать переменные резисторы в модуле «Резисторы/Активная нагрузка», номиналы которых установить согласно варианту из таблицы 1.2. Установить регулятором значение напряжения источника, равное 12 В. Измерить токи I_1 , I_2 , I_3 и напряжения на участках цепи. Полученные результаты занести в таблицу 1.3.

Таблица 1.2 – Варианты сопротивлений

Вариант	1	2	3	4	5	6	7
R_1 , Ом	50	75	150	300	100	150	200
R_2 , Ом	75	100	200	400	200	75	100
R_3 , Ом	100	150	300	500	300	100	150
R_4 , Ом	22	33	47	100	1000	200	300

5. Рассчитать ток и напряжение на участках цепи (рисунок 1.4). Результаты расчетов занести в таблицу 1.3.

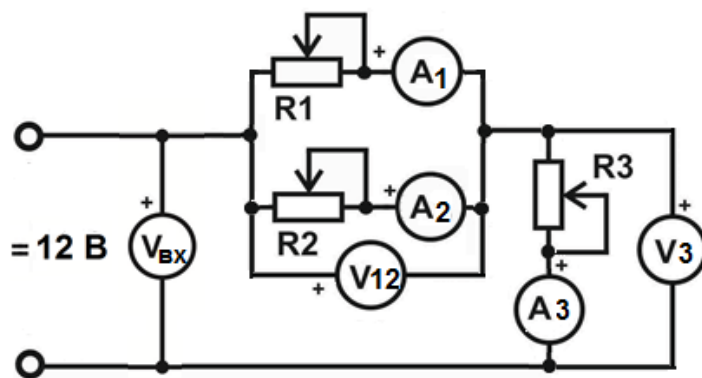


Рисунок 1.4 – Схема эксперимента 2

Таблица 1.3 – Экспериментальные и расчетные данные

Способ получения результата	Значения величин					
	U_{BX} , В	I_1 , А	I_2 , А	I_3 , А	U_{12} , В	U_3 , В
Эксперимент						
Расчет						

6. Собрать схему согласно рисунку 1.5. В качестве R_4 выбрать резистор в блоке «Диоды, резисторы, конденсаторы», номинал которого указан в таблице 1.2. Установить регулятором значение напряжения источника, равное 10 В. Измерить токи и напряжения на участках цепи. Результаты измерений занести в таблицу 1.4. Прodelать аналогичные действия со схемой, приведенной на рисунке 1.5,б, установив напряжение источника питания, равное 12 В. Результаты измерений также занести в таблицу 1.4.

7. Рассчитать токи и напряжения U_{ab} , U_{bc} , U_{bd} на участках цепи, указанных на рисунках 1.5, а и 1.5, б, с использованием законов Ома и Кирхгофа. Данные расчетов занести в таблицу 1.3.

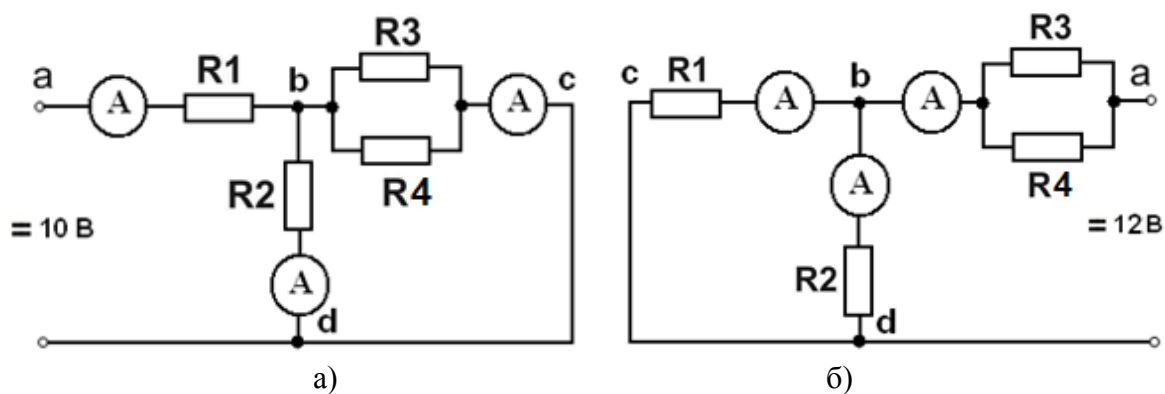


Рисунок 1.5 – Схемы эксперимента 3

Таблица 1.4 – Экспериментальные и расчетные данные

Способ получения результата	Значение величин						Рисунок
	U_{ab} , В	U_{bc} , В	U_{bd} , В	I_{ab} , А	I_{bc} , А	I_{bd} , А	
Эксперимент							1.5, а
Расчет							
Эксперимент							1.5, б
Расчет							

1.4. Содержание отчета

1. Схема каждого эксперимента.
2. Расчеты исследуемых цепей на основании формул (1.1) – (1.9).
3. Результаты экспериментальных и расчетных данных (заполненные таблицы 1.1, 1.3, 1.4).
4. Выводы.

1.5. Контрольные вопросы

1. Какие эквивалентные преобразования в резистивных цепях с одним источником энергии вы знаете?
2. Чему равно общее сопротивление электрической цепи при параллельном соединении четырех резисторов, если их сопротивления одинаковы? Если различны?
3. Сформулируйте законы Кирхгофа и закон Ома для участка цепи.
4. Запишите уравнение баланса мощностей в электрических цепях.
5. Влияют ли на состояние цепи измерительные приборы (амперметр, вольтметр)? Как следует их включать в цепь?
6. Опишите понятие идеального источника напряжения и идеального источника тока. Изобразите их вольтамперные характеристики.
7. Прокомментируйте результаты расчетов.
8. Чему равно общее сопротивление электрической цепи, если последовательно с резистором 10 Ом включены два параллельно соединенных резистора по 20 Ом каждый?

Лабораторная работа № 2

ИССЛЕДОВАНИЕ ЛИНЕЙНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ

2.1. Цель работы

1. Экспериментальное исследование основных свойств линейных элементов электрических цепей: сопротивления, индуктивности и емкости.

2. Изучение соотношений, связывающих напряжения и токи в пассивных элементах схем замещения.

2.2. Теоретические сведения

В работе рассматриваются в качестве линейных элементов электрических цепей резистор, катушка индуктивности и конденсатор, работающие на промышленной частоте.

Схема замещения резистора состоит из одного резистивного элемента. Напряжение и ток на нем совпадают по фазе, реактивное сопротивление равно нулю. Векторная и временная диаграммы тока и напряжения цепи с резистивным элементом изображены на рисунке 2.1.

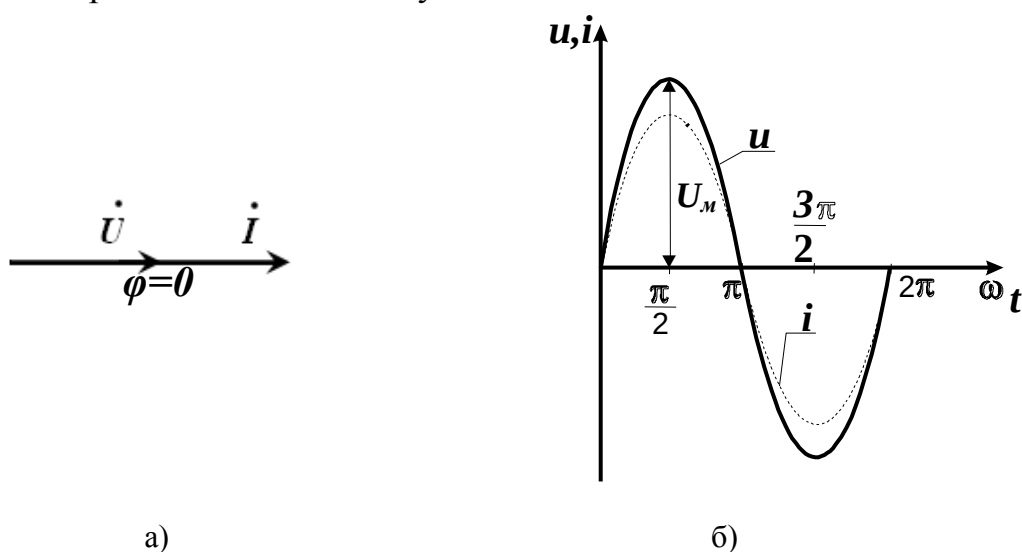
Величину сопротивления резистора легко определить по закону Ома

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

где U – напряжение на зажимах резистора; I – ток через резистор. Активная проводимость является величиной, обратной сопротивлению:

$$g = \frac{1}{R}.$$

Для линейного резистора можно построить вольтамперную характеристику (ВАХ) по двум значениям напряжения и тока. Так как сопротивление резистора – постоянная величина, то его ВАХ является прямой линией. По ВАХ резистора, взяв любую точку, можно определить его сопротивление по закону Ома.



а) б)
Рисунок 2.1 – Векторная (а) и временная (б) диаграммы тока и напряжения цепи с резистивным элементом

В конденсаторе при синусоидальном воздействии ток опережает напряжение на угол 90^0 . Векторная и временная диаграммы тока и напряжения цепи с идеальным конденсатором представлены на рис. 2.2.

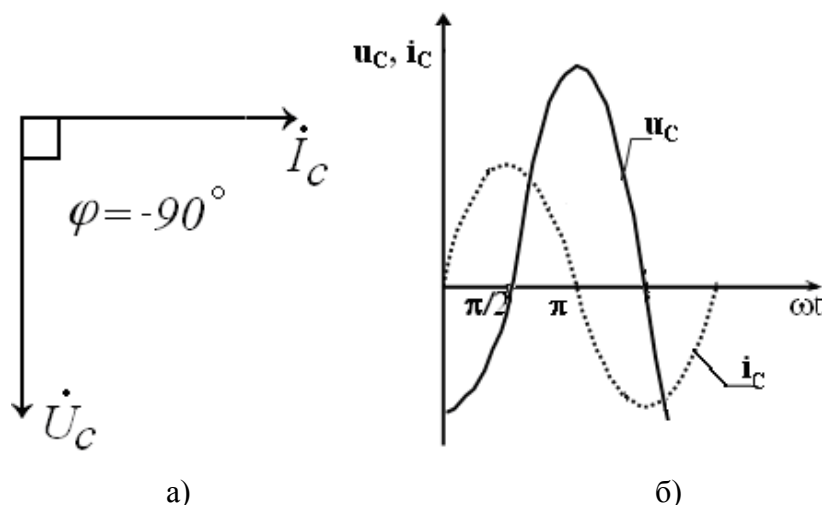


Рисунок 2.2 – Векторная (а) и временная (б) диаграммы цепи с идеальным конденсатором

Соотношение, связывающее ток и напряжение на конденсаторе, определяется формулой

$$i_C = C \frac{du_C}{dt}, \quad (2.2)$$

где C – емкость конденсатора; i_C – мгновенное значение тока; u_C – мгновенное значение напряжения. Действующие значения тока и напряжения связываются соотношением

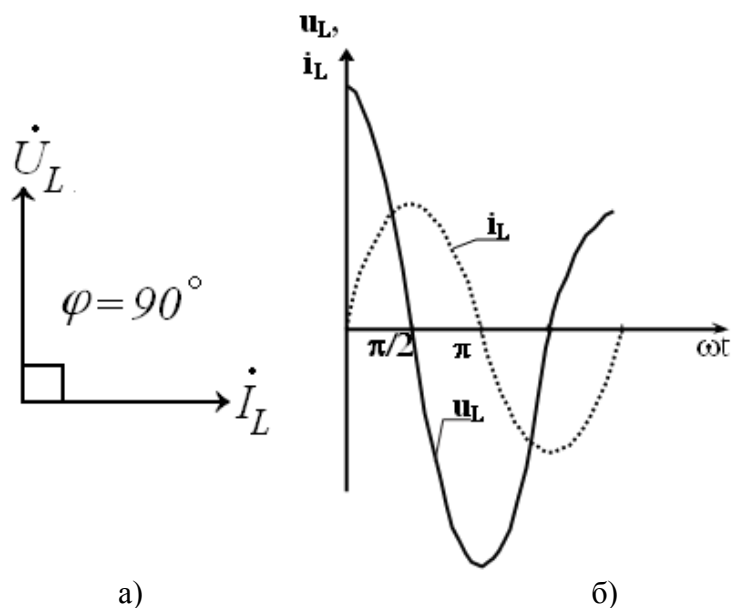
$$U = X_C I, \quad (2.3)$$

где $X_C = \frac{1}{\omega C}$ – емкостное сопротивление конденсатора.

Измеряя действующее значение тока и напряжения на конденсаторе и считая его идеальным, можно определить его емкость по формуле

$$C = \frac{I}{U \omega}. \quad (2.4)$$

На катушке индуктивности напряжение опережает ток на угол 90^0 . Векторная и временная диаграммы цепи с идеальной катушкой показаны на рисунке 2.3.



а) б)
Рисунок 2.3 – Векторная (а) и временная (б) диаграммы цепи с идеальной катушкой индуктивности

В реальном случае этот угол меньше 90° , так как катушка индуктивности обладает внутренним активным сопротивлением обмотки R_L . Схема замещения реальной катушки индуктивности выглядит, как показано на рисунке 2.4.

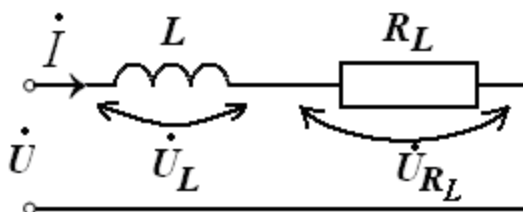


Рисунок 2.4 – Схема замещения реальной катушки индуктивности

Векторная диаграмма токов и напряжений для реальной катушки (рис. 2.4) строится с учетом сдвигов фаз между напряжением и током в индуктивном и резистивном элементах (рис. 2.5).

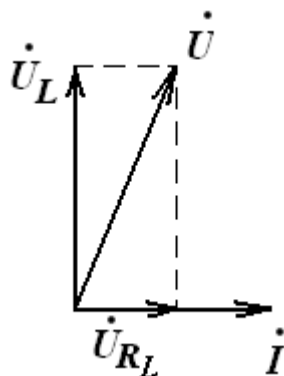


Рисунок 2.5 – Векторная диаграмма тока и напряжений реальной катушки индуктивности

Соотношение между током и напряжением на идеальной катушке определяется формулой

$$u_L = L \frac{di_L}{dt}, \quad (2.5)$$

где u_L – мгновенное напряжение на катушке; i_L – мгновенное значение тока в катушке.

Катушка обладает реактивным сопротивлением

$$X_L = \omega L, \quad (2.6)$$

где L – индуктивность катушки; ω – круговая частота.

2.3. Порядок выполнения работы

1. Изучить состав и работу модулей: «Функциональный генератор», «Источники питания», «Реактивные элементы. Резисторы/активная нагрузка нелинейные элементы», «Мультиметры», «Измерительные приборы» (приложение А), которые будут использоваться в эксперименте.

2. Опыт *на переменном напряжении*. Поочередно собрать электрические цепи согласно рисунку 2.6. Установить номиналы элементов согласно варианту, указанному в таблице 2.1. Подать на вход переменное напряжение до 8 В частотой 50 Гц от функционального генератора и измерить ток через резистор R1, катушку индуктивности L1 и конденсатор C1 соответственно.

Таблица 2.1 – Варианты номиналов элементов

Вариант Параметр	1	2	3	4	5	6	7
R1, Ом	50	75	150	300	100	150	200
L1, мГн	1,2	2,5	5	10	22	47	100
C1, мкФ	0,5	1	5	10	20	50	100

Все переключения производить при выключенном источнике. Результаты эксперимента занести в таблицу 2.2.

3. Опыт *на постоянном напряжении*. Подключить те же цепи к регулируемому источнику постоянного напряжения из модуля «Источники питания».

3.1. Для резистора и конденсатора входное постоянное напряжение установить равным напряжению функционального генератора из предыдущего опыта, измерить ток в этих элементах.

3.2. Сбросить входное напряжение до нуля, выкрутив влево ручку регулятора. Переключить точки а и b на катушку индуктивности L1. **Для катушки индуктивности плавно установить входное напряжение таким образом, чтобы ток на ней не превышал 0,3 А !** Результаты эксперимента занести в таблицу 2.3.

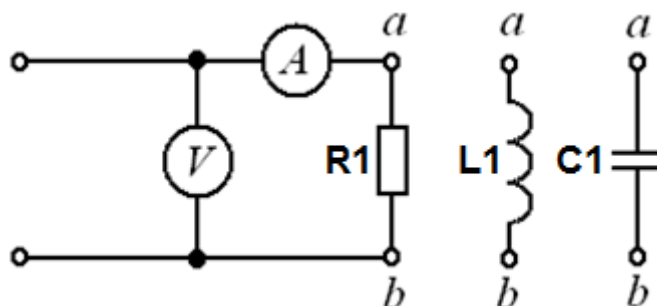


Рисунок 2.6 - Схема эксперимента

Таблица 2.2 - Экспериментальные и расчетные данные для переменного тока

Элемент / Параметр	Резистор	Катушка	Конденсатор
U , В			
I , А			
Z , Ом			

Таблица 2.3 - Экспериментальные и расчетные данные для постоянного тока

Элемент / Параметр	Резистор	Катушка	Конденсатор
U , В			
I , А			
R , Ом			
g , См			

4. По данным таблиц 2.2, 2.3 рассчитать следующие параметры исследуемых элементов схем замещения:

- полное сопротивление каждого элемента $Z = \frac{U}{I}$ (см. таблицу 2.2);
- активное сопротивление резистора $R = \frac{U}{I}$, (см. таблицу 2.3);
- активное сопротивление катушки индуктивности $R_L = \frac{U}{I}$ (см. таблицу 2.3);
- активное сопротивление конденсатора $R_C = U/I$ (см. таблицу 2.3);
- активную проводимость конденсатора $g_C = I/U$ (см. таблицу 2.3);
- реактивное сопротивление катушки индуктивности $X_L = \sqrt{Z_L^2 - R_L^2}$;
- индуктивность катушки $L = \frac{X_L}{\omega}$;
- реактивное сопротивление конденсатора принять равным полному сопротивлению $x_C = Z_C$: конденсатор считается идеальным; реактивную проводимость вычислить по формуле $b_C = 1/x_C$;

- емкость конденсатора $C = \frac{1}{\omega x_C}$;
- значение угла сдвига фаз между синусоидальным напряжением и током для резистора и катушки $\varphi = \arctg(X/R)$; для конденсатора $\varphi = \arctg(b_C/g_C)$;
- эксплуатационный параметр – коэффициент мощности $\cos\varphi$ для каждого элемента.

Результаты расчетов занести в таблицу 2.4.

Таблица 2.4 – Результаты расчета параметров элементов электрических цепей

Параметр Элемент	Z, Ом	R, Ом	x, Ом	b _C , См	L, Гн	C, мкФ	φ, град	cos φ
Резистор								
Катушка								
Конденсатор								

5. Записать комплексное сопротивление $\underline{Z}$ всех трех элементов, используя алгебраическую и показательную формы записи комплексных чисел

$$\underline{Z} = Z e^{j\varphi} = R + jx.$$

6. Построить векторные диаграммы напряжений и токов для всех элементов, используя рисунки 2.1а, 2.2а, 2.5.

2.4. Содержание отчета

1. Схема эксперимента.
2. Результаты экспериментальных и расчетных данных (заполненные таблицы 2.1 - 2.3).
3. Расчет параметров резистора, катушки индуктивности и конденсатора по п. 4 порядка выполнения работы.
4. Алгебраическая и показательная формы записи комплексного сопротивления всех элементов.
5. Векторные диаграммы тока и напряжений для всех элементов.
6. Выводы.

2.5. Контрольные вопросы

1. Назовите основные величины, характеризующие синусоидальный ток.
2. Как связаны между собой действующие и амплитудные значения синусоидальных токов и напряжений? Привести доказательство.
3. Дайте определение комплекса действующего значения синусоидальной функции и его графическую интерпретацию.
4. Чему равно индуктивное (емкостное) сопротивление, в каких единицах оно измеряется?

5. Чему равно полное сопротивление катушки индуктивности при постоянном токе? При переменном токе?
6. Чему равно полное сопротивление конденсатора при постоянном токе? При переменном токе?
7. Чему равно полное сопротивление резистора при постоянном токе? При переменном токе?
8. Что такое коэффициент мощности?
9. Чем отличается идеальная катушка индуктивности от реальной?

Лабораторная работа № 3

ИССЛЕДОВАНИЕ ЦЕПИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА С ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫМ СОЕДИНЕНИЕМ ЭЛЕМЕНТОВ

3.1. Цель работы

1. Проверка справедливости закона Ома для неразветвленной цепи переменного тока, состоящей из резистора, катушки индуктивности и конденсатора.
2. Изучение явления резонанса напряжений и условий его возникновения.
3. Выработка навыков построения векторных диаграмм.

3.2. Теоретические сведения

Для цепи переменного синусоидального тока, включающей последовательно соединенные резистивный, индуктивный и емкостной элементы, закон Ома для действующих значений напряжения и тока определяется соотношением:

$$I = U/Z, \quad (3.1)$$

где I – действующее значение входного тока;

U – действующее напряжение на зажимах цепи;

Z – полное сопротивление цепи, определяемое по формуле

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}, \quad (3.2)$$

где R – сопротивление резистивного элемента;

$X_L = \omega L$ – реактивное сопротивление индуктивного элемента;

$X_C = \frac{1}{\omega C}$ – реактивное сопротивление емкостного элемента.

В таких цепях, называемых также последовательным RLC -контуром, возможно явление резонанса. Под электрическим резонансом понимается такой режим работы цепи, при котором ее входное сопротивление имеет чисто резистивный характер. Иначе говоря, это явление полной взаимной компенсации индуктивного и емкостного сопротивлений, что следует из (3.2)

Резонанс в последовательном RLC -контуре называется резонансом напряжений.

Условием наступления резонанса является равенство реактивных сопротивлений цепи:

$$\omega L = \frac{1}{\omega C} . \quad (3.3)$$

Резонанса в рассматриваемой цепи можно достичь, изменяя индуктивность или емкость (параметрический резонанс), либо частоту (частотный резонанс).

Резонансное значение емкости рассчитывается на основании (3.3)

$$C_0 = \frac{1}{\omega^2 L} , \quad (3.4)$$

резонансная частота определяется по формуле

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} . \quad (3.5)$$

При резонансе входной ток достигает максимума за счет минимального значения входного сопротивления цепи $Z = R$. Напряжения на индуктивном и емкостном элементах при этом равны и противоположны по направлению. Сдвиг фаз между входным напряжением и током равен нулю (сопротивление цепи имеет чисто активный характер).

Характеристическим сопротивлением RLC-цепи называется величина

$$\rho = \sqrt{\frac{L}{C}} . \quad (3.6)$$

Добротность колебательного контура определяется по формуле

$$Q = \frac{\rho}{R} . \quad (3.7)$$

Напряжения на индуктивности и емкости при резонансе определяются соотношением

$$U_L = U_C = QU_{\text{вх}} , \quad (3.8)$$

где $U_{\text{вх}}$ – входное напряжение цепи.

Таким образом, из (3.8) следует, что в режиме резонанса напряжения на индуктивном и емкостном элементах может превосходить входное напряжение по величине.

Векторная диаграмма резонансного режима в последовательном RLC контуре изображена на рисунке 3.1.

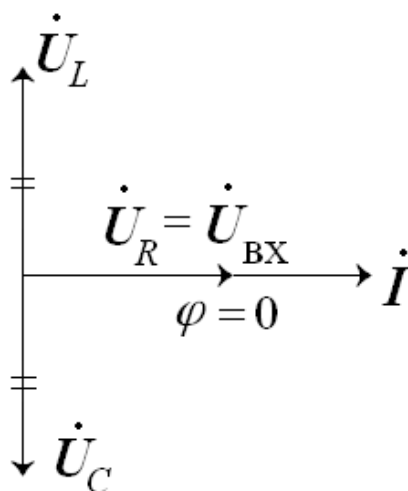


Рисунок 3.1 – Векторная диаграмма тока и напряжений последовательной RLC -цепи в режиме резонанса

3.3. Порядок выполнения работы

1. Изучить состав и работу модулей: «Автотрансформатор», «Реактивные элементы. Резисторы/активная нагрузка нелинейные элементы», «Мультиметры», «Измерительные приборы» (приложение А), которые будут использоваться в эксперименте.

2. Собрать схему согласно рисунку 3.2. Установить величину сопротивления $R1 = 50 \text{ Ом}$.

В качестве индуктивности L использовать последовательное согласное соединение двух катушек индуктивности $L1=L2 = 100 \text{ мГн}$.

Величина индуктивности $L=L1+L2+2M=400 \text{ мГн}$, где $M \approx 100 \text{ мГн}$ – взаимная индуктивность катушек $L1$ и $L2$.

Рассчитать резонансное значение емкости конденсатора C_0 по формуле (3.4) и установить его значение на стенде, учитывая, что при параллельном соединении конденсаторов их общая емкость равна сумме емкостей каждого конденсатора.

Амперметр и вольтметры взять из модуля «Измерительные приборы».

Подать на вход переменное напряжение до 30 В частотой 50 Гц , используя модуль «Автотрансформатор». Для режимов, указанных в таблице 3.1, измерить ток и падения напряжения на элементах цепи. Значения $C < C_{\text{рез}}$, $C > C_{\text{рез}}$ подобрать самостоятельно (по три-четыре значения). C_{min} – это минимальное значение емкости, которое возможно установить в блоке «Реактивные элементы» стенда. Для увеличения диапазона изменения емкости можно параллельно $C1$ подключить конденсатор $C2$. Данное подключение выполнять при выключенном питании.

Показания приборов занести в таблицу 3.1.

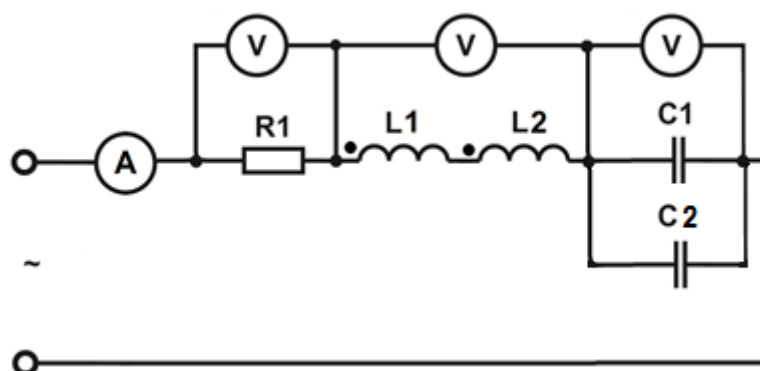


Рисунок 3.2 – Схема эксперимента

Таблица 3.1 – Экспериментальные данные

№	Режим	C , мкФ	I , А	U_R , В	U_L , В	U_C , В
1	$C = C_{min}$					
2	$C < C_0$					
3						
4						
5	$C = C_0$					
6	$C > C_0$					
7						
8						

3. По данным таблицы 3.1 построить графики $I = f(C)$, $U_R = f(C)$, $U_L = f(C)$, $U_C = f(C)$ в одной системе координат.

4. Построить векторные диаграммы тока и напряжений для трех случаев: $C < C_0$, $C = C_0$, $C > C_0$.

5. Для схемы, представленной на рисунке 3.2, рассчитать полное сопротивление последовательной цепи, а также действующие значения тока и напряжений по формулам: (3.1), (3.2), $U_R = RI$; $U_L = X_L I$; $U_C = X_C I$. При этом значение емкости взять из строки таблицы 3.1, номер которой соответствует номеру варианта, выданного преподавателем. Данные из этой строки перенести в таблицу 3.2 в раздел «Эксперимент». Результаты расчета также занести в таблицу 3.2.

Сравнить расчетные и экспериментальные данные.

Таблица 3.2 – Экспериментальные и расчетные данные

Способ получения результатов	Значение величин			
	I , А	U_R , В	U_L , В	U_C , В
Эксперимент (значения из табл. 3.1)				
Расчет				

3.4. Содержание отчета

1. Схема лабораторной установки.
2. Результаты экспериментальных и расчетных данных (заполненные таблицы 3.1, 3.2)

3. Графики зависимостей $I=f(C)$, $U_R = f(C)$, $U_L = f(C)$, $U_C = f(C)$.
4. Векторные диаграммы тока и напряжений для случаев: $C < C_0$, $C = C_0$, $C > C_0$.
5. Выводы.

3.5. Контрольные вопросы

1. Сформулируйте закон Ома и законы Кирхгофа для последовательной RLC - цепи переменного тока.
2. Что такое резонанс? Назовите пути достижения этого режима в неразветвленной цепи (рисунок 3.2).
3. Может ли напряжение на реактивном элементе неразветвленной цепи (рисунок 3.2) быть больше входного напряжения?
4. Чему равен коэффициент мощности $\cos\varphi$ при резонансе напряжений?
5. В чем заключается практическое значение явления резонанса напряжений?
6. Объясните построение векторных диаграмм.
7. Чему равно полное сопротивление последовательной RLC при резонансе.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4 ИССЛЕДОВАНИЕ ЦЕПИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА СО СМЕШАННЫМ СОЕДИНЕНИЕМ ЭЛЕМЕНТОВ

4.1. Цель работы

1. Экспериментальная проверка правильности расчета цепи переменного тока со смешанным соединением элементов.
2. Изучение способов эквивалентного преобразования схем замещения цепей синусоидального тока.

4.2. Теоретические сведения

Для расчета цепей переменного синусоидального тока обычно применяется комплексный метод, основанный на представлении синусоидальных функций вращающимися векторами и теории комплексных чисел.

Например, напряжение, заданное мгновенным значением $u(t) = U_m \sin(\omega t + \Psi_u)$, в форме комплексного действующего значения записывается следующим образом:

$$\dot{U} = \frac{U_m}{\sqrt{2}} e^{j\Psi_u} \quad (4.1)$$

Аналогично можно представить ток и ЭДС.

Комплексные сопротивления пассивных элементов электрических цепей определяются соотношениями:

$\underline{Z}_r = r$ — для резистивного элемента;

$\underline{Z}_L = j\omega L$ – для индуктивного элемента;

$\underline{Z}_C = 1/j\omega C = -j/\omega C$ – для емкостного элемента.

В сложных цепях синусоидального тока применяются эквивалентные преобразования, аналогичные таким же преобразованиям резистивных элементов.

Рассмотрим участки цепи, включающие последовательно или параллельно соединенные пассивные элементы, представленные на рис. 4.1.

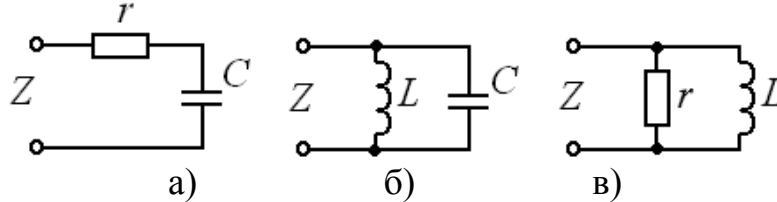


Рисунок 4.1 – Варианты соединений элементов в цепях переменного тока

Для рис. 4.1, а комплексное сопротивление участка определяется суммой комплексных сопротивлений элементов, т.е. $\underline{Z} = r + \underline{Z}_C = r - j \frac{1}{\omega C}$.

Для рис. 4.1, б комплексное сопротивление Z определяется следующим образом:

$$\underline{Z} = \frac{\underline{Z}_L \underline{Z}_C}{\underline{Z}_L + \underline{Z}_C} = \frac{j\omega L (-j \frac{1}{\omega C})}{j\omega L - j \frac{1}{\omega C}} = -j \frac{\frac{L}{C}}{(\omega L - \frac{1}{\omega C})}.$$

Таким же образом можно найти комплексное сопротивление участка цепи на рис. 4.1, в:

$$\underline{Z} = \frac{\underline{Z}_L \underline{Z}_r}{\underline{Z}_L + \underline{Z}_r} = \frac{j\omega L r}{r + j\omega L}.$$

С помощью эквивалентных преобразований и закона Ома достаточно просто рассчитывать цепи синусоидального тока с одним источником.

4.3. Порядок выполнения работы

1. Рассчитать токи и напряжения на участках цепи, изображенной на рис. 4.2, по формулам:

1) $R_{12} = R_1 \cdot R_2 / (R_1 + R_2);$

2) $Z_L = j\omega L;$

3) $Z_C = -j/\omega C;$

7) $\dot{U}_{ab} = \dot{I}_L \underline{Z}_{ab};$

8) $\dot{I}_R = \dot{U}_{ab} / R_{12};$

9) $\dot{I}_C = \dot{U}_{ab} / \underline{Z}_C;$

$$4) Z_{ab} = R_{12} \cdot Z_C / (R_{12} + Z_C);$$

$$10) \dot{U}_L = \dot{I}_L Z_L;$$

$$5) Z_{\Sigma} = Z_{ab} + Z_L;$$

$$11) \dot{U}_R = \dot{U}_C = \dot{U}_{ab}.$$

$$6) \dot{I}_L = \dot{U} / Z_{\Sigma};$$

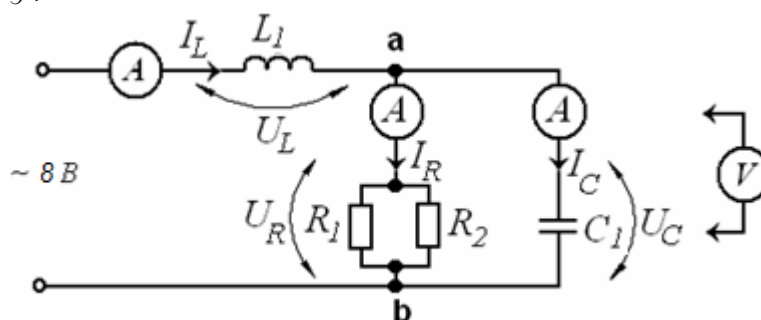


Рисунок 4.2 – Схема эксперимента

Параметры элементов взять из таблицы 2.1 в лабораторной работе №2, считая $R_1 = R_2$.

Результаты расчетов занести в таблицу 4.1.

2. Изучить состав и работу модулей: «Функциональный генератор», «Реактивные элементы. Резисторы/активная нагрузка нелинейные элементы», «Мультиметры», «Измерительные приборы» (приложение А), которые будут использоваться в эксперименте.

3. Собрать схему (рис. 4.2), подать на вход переменное напряжение до 8 В с частотой 50 Гц, измерить токи и напряжения на участках цепи. Показания приборов занести в таблицу 4.1.

Примечание: Измерение напряжения на участках цепи можно производить одним вольтметром, поочередно подключая его параллельно к этим участкам.

Таблица 4.1 - Экспериментальные и расчетные данные

Способ получения результатов	Значение величин						Рисунок
	$U_L, \text{В}$	$U_R, \text{В}$	$U_C, \text{В}$	$I_L, \text{А}$	$I_R, \text{А}$	$I_C, \text{А}$	
Эксперимент							4.1
Расчет							
Эксперимент							4.2
Расчет							

4. Рассчитать токи и напряжения на участках цепи (рис. 4.3) по формулам

$$1) R_{12} = R_1 \cdot R_2 / (R_1 + R_2);$$

$$6) \dot{U}_{ab} = \dot{I}_R Z_{ab};$$

$$2) \underline{Z}_L = j\omega L; \quad \underline{Z}_C = -j/\omega C$$

$$7) \dot{I}_L = \frac{\dot{U}_{ab}}{\underline{Z}_L};$$

$$3) \underline{Z}_{ab} = \underline{Z}_L \cdot \underline{Z}_C / (\underline{Z}_L + \underline{Z}_C);$$

$$8) \dot{I}_C = \frac{\dot{U}_{ab}}{\underline{Z}_C};$$

$$4) \underline{Z}_{\Sigma} = R_{12} + \underline{Z}_{ab};$$

$$9) U_R = I_R \cdot R_{12};$$

$$5) \dot{I}_R = \frac{\dot{U}_{\Sigma}}{\underline{Z}_{\Sigma}};$$

$$10) \dot{U}_L = \dot{U}_C = \dot{U}_{ab}.$$

Параметры элементов взять из таблицы 2.1 в лабораторной работе №2, считая $R_1=R_2$.

Результаты расчетов занести в таблицу 4.1.

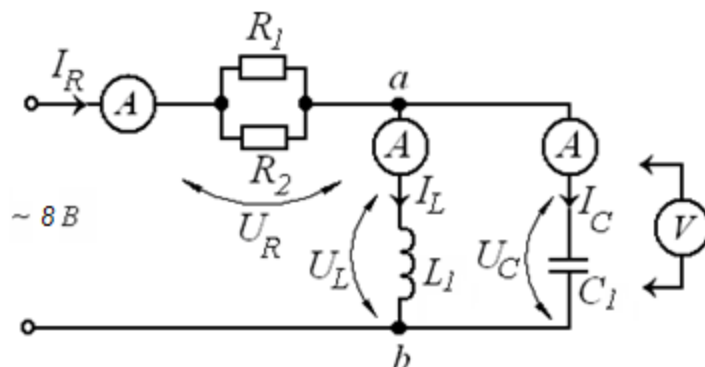


Рисунок 4.3 – Схема эксперимента

5. Собрать схему согласно рисунку 4.3, подать на вход переменное напряжение до 8 В с частотой 50 Гц. Измерить токи и напряжения на участках цепи. Показания приборов занести в таблицу 4.1.

6. По данным таблицы 4.1 построить совмещенные векторные диаграммы токов и напряжений, используя первый и второй законы Кирхгофа, для схем, представленных на рисунках 4.2 и 4.3.

4.4. Содержание отчета

1. Схемы экспериментальных установок
2. Расчет цепей, изображенных на рисунках 4.2, 4.3, комплексным методом
3. Экспериментальные и расчетные данные (заполненная таблица 4.1)
4. Векторные диаграммы токов и напряжений для исследуемых цепей.
5. Выводы.

4.5. Контрольные вопросы

1. Какие методы расчета сложных цепей синусоидального тока вы знаете?
2. Постройте эквивалентную схему замещения последовательного типа для цепей, показанных на рисунках 4.2 и 4.3.
3. Как определить значение угла сдвига фаз φ по векторной диаграмме?

4. Исходя из значений комплексных эквивалентных сопротивлений, найденных для каждой схемы (рисунок 4.1, 4.2), определить характер этих сопротивлений (емкостный или индуктивный).

5. Запишите законы Кирхгофа для цепей, изображенных на рисунках 4.2 и 4.3.

6. Запишите в общем виде комплексные эквивалентные сопротивления цепи, состоящей из последовательного соединения сопротивления и конденсатора (сопротивления и индуктивности, емкости и индуктивности).

7. Запишите в общем виде комплексные эквивалентные сопротивления цепи, состоящей из параллельного соединения сопротивления и конденсатора (сопротивления и индуктивности, емкости и индуктивности).

Лабораторная работа № 5

ИЗМЕРЕНИЕ МОЩНОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЦЕПИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

5.1. Цель работы

1. Ознакомление с методами измерения и расчета мощности в цепях переменного тока.

2. Выработка навыков включения ваттметра в цепь.

5.2. Теоретические сведения

Протекание тока по электрической цепи сопровождается потреблением энергии от источника. Скорость поступления энергии характеризуется мощностью. При анализе цепей синусоидального тока обычно различают мгновенную, активную, реактивную и полную мощности. Под мгновенной мощностью $p(t)$ понимают произведение мгновенного значения напряжения $u(t)$ на мгновенное значение тока $i(t)$, протекающего по этому участку:

$$p(t) = u(t)i(t).$$

Активная мощность представляет собой энергию, которая выделяется в единицу времени в виде тепла на активном элементе цепи, и измеряется в Ваттах (Вт). Активная мощность P – это среднее за период значение или постоянная составляющая мгновенной мощности

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T p(t) dt.$$

Активная мощность участка цепи, содержащего активное сопротивление R , определяется соотношением

$$P = I^2 R = UI,$$

где U – действующее значение напряжения на участке цепи, I – действующее значение тока, протекающего через этот участок.

Реактивная мощность характеризует собой ту энергию, которой обмениваются между собой источник и приемник (катушка

индуктивности, емкостной элемент). Реактивную мощность Q можно вычислить следующим образом:

$$Q = I^2 x, \text{ или } Q = Q_L - Q_C$$

где x – реактивное сопротивление элемента цепи, I – действующее значение тока, протекающего через этот элемент, Q_L – реактивная мощность индуктивного элемента, Q_C – реактивная мощность емкостного элемента. Реактивную мощность принято измерять в вольт-амперах реактивных (ВАР).

Полная мощность S определяется произведением действующих значений тока и напряжения на зажимах цепи

$$S = UI. \quad (5.1)$$

Полная мощность S измеряется в вольт-амперах (ВА).

Комплексное число $\tilde{S}$, модуль которого равен полной мощности цепи S , а аргумент – углу сдвига фаз между током и напряжением φ , называется комплексной мощностью цепи

$$\tilde{S} = S \cos \varphi + jS \sin \varphi \quad (5.2)$$

Вещественная часть комплексной мощности равна активной мощности цепи

$$\operatorname{Re}(\tilde{S}) = S \cos \varphi = P, \quad (5.3)$$

мнимая часть комплексной мощности представляет собой реактивную мощность цепи

$$\operatorname{Im}(\tilde{S}) = S \sin \varphi = Q, \quad (5.4)$$

то есть

$$\tilde{S} = P + jQ. \quad (5.5)$$

Комплексному числу $\tilde{S}$ можно поставить в соответствие вектор $\tilde{S}$, проекции которого на вещественную и мнимую оси равны, соответственно P и Q (рис. 5.1). Прямоугольный треугольник с гипотенузой, равной S , и катетами P и Q называется треугольником мощностей. Из рисунка видно, что полная, активная и реактивная мощности связаны между собой соотношением

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2}. \quad (5.6)$$

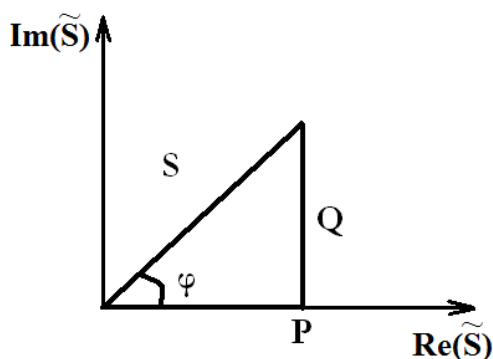


Рисунок 5.1 – Треугольник мощностей

Мощность может быть измерена с помощью ваттметра.

Активная мощность измеряется аналоговым ваттметром. Наиболее распространенными и точными *аналоговыми ваттметрами* являются приборы электродинамической системы.

Принцип их работы основан на взаимодействии двух катушек. Одна из них, токовая – неподвижная, имеет толстую обмотку с небольшим числом витков и малое сопротивление. Подключается последовательно с нагрузкой. Вторая катушка (обмотка напряжения) – подвижная. Ее намотка выполнена из тонкого провода и имеет большое количество витков, высокое сопротивление. Подключается она параллельно нагрузке и снабжается добавочным сопротивлением (для исключения короткого замыкания между катушками). При подключении прибора к сети, в катушках образуются магнитные поля. Их взаимодействие создает вращающий момент, который отклоняет подвижную катушку с подсоединенной к ней стрелкой на определенный угол.

Цифровые ваттметры способны измерять как активную, так и реактивную мощность. В основе работы *цифрового ваттметра* лежит предварительное измерение силы тока и напряжения. Для этого на входе последовательно нагрузке устанавливается датчик тока, параллельно нагрузке – датчик напряжения. Они могут выполняться на базе термисторов, измерительных трансформаторов, термопар и других элементов.

Мгновенные значения полученных величин тока и напряжения посредством аналого-цифрового преобразователя передаются к встроенному микропроцессору. Здесь производятся необходимые вычисления (находится активная и реактивная мощности) и выдаются в виде итоговой информации на дисплей и подключенные внешние устройства.

Зажимы обмоток, подключаемых к источнику, называют генераторными и обозначают звездочкой (*) или точкой (•) как на схеме цепи, так и на самом ваттметре.

5.3. Порядок выполнения работы

1. Изучить состав и работу модулей: «Измеритель мощности», «Функциональный генератор», «Реактивные элементы. Резисторы/активная нагрузка нелинейные элементы», «Мультиметры», «Измерительные приборы» (приложение А), которые будут использоваться в эксперименте.

2. Собрать схему согласно рисунку 5.2. Установить величину сопротивления $R_1 = 100 \text{ Ом}$.

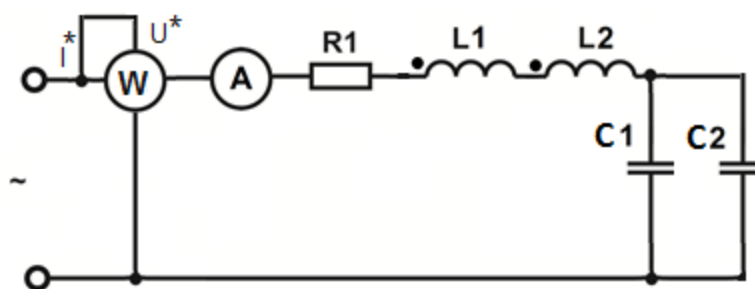


Рисунок 5.2 – Схема эксперимента

В качестве индуктивности L использовать последовательное согласное соединение двух катушек индуктивности $L_1 = L_2 = 100$ мГн.

Величина индуктивности $L = L_1 + L_2 + 2M = 400$ мГн, где $M \approx 100$ мГн – взаимная индуктивность катушек L_1 и L_2 .

3. Подать на вход цепи синусоидальное напряжение до 30 В частотой 50 Гц.

4. С помощью измерителя мощности измерить напряжение и ток в цепи, активную, реактивную, полную мощности, угол сдвига фаз между входным напряжением и током, коэффициент мощности. Измерение произвести для трех значений емкости C : меньше резонансного значения ($\approx 0,25C_0$), равного резонансному значению и для значения емкости, большего резонансного ($\approx 10C_0$). Значение резонансной емкости C_0 взять из лабораторной работы №3. Результаты измерений занести в таблицу 5.1.

5. Рассчитать активное сопротивление R_L последовательного соединения катушек индуктивности L_1 и L_2 , выполнив опыт по п. 3 лабораторной работы №2.

6. Произвести следующие расчеты:

- вычислить полную мощность при переменном однофазном токе по формуле (5.1);

- вычислить активную мощность по формуле $P = I^2(R_1 + R_L)$, где R_L – активное сопротивление катушки индуктивности, рассчитанное по результатам измерения в п. 5;

- вычислить реактивные мощности на индуктивности и емкости $Q_L = I^2 X_L$, $Q_C = I^2 X_C$. Полная реактивная мощность равна $Q = Q_L - Q_C$.

Результаты расчетов занести в таблицу 5.1.

7. Осуществить проверку расчетов, основываясь на том, что полная мощность электрической цепи представляет собой геометрическую сумму активной и реактивной мощностей (5.6).

8. Построить треугольник мощностей данной цепи для трех значений емкости.

Таблица 5.1 – Экспериментальные и расчетные данные

Емкость		Измерено							Вычислено						
C		U	I	P	S	Q	φ	$\cos\varphi$	P	S	Q_L	Q_C	Q	φ	$\cos\varphi$
мкФ		В	А	Вт	ВА	ВАР	град ус		Вт	ВА	ВА Р	ВА Р	ВА Р	град ус	
$0,25C_0$															
C_0															
$10C_0$															

5.4. Содержание отчета

1. Схема эксперимента.
2. Расчет всех видов мощностей для исследуемой цепи.
3. Экспериментальные и расчетные данные (таблица 5.1).
4. Треугольники мощностей для трех случаев.
5. Выводы.

5.5. Контрольные вопросы

1. Каково устройство и назначение ваттметра?
2. Что такое активная, реактивная и полная мощность цепи и в каких единицах они измеряются?
3. Какую мощность в цепи переменного тока измеряет ваттметр?
4. Как вычислить коэффициент мощности, зная входное напряжение, ток и активную мощность цепи?
5. Что такое комплексная мощность?
6. Записать и объяснить формулу комплексной мощности.
7. Как можно скомпенсировать реактивную мощность в цепи?

Лабораторная работа № 6 ИССЛЕДОВАНИЕ ТРЕХФАЗНЫХ ЦЕПЕЙ ПИТАНИЯ ПРИ СОЕДИНЕНИИ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ ЗВЕЗДОЙ

6.1. Цель работы

Изучение принципов питания аппаратуры от трехфазных источников, исследование трехфазной цепи при соединении потребителей звездой в различных режимах.

6.2. Теоретические сведения

Применение трехфазных цепей дает ряд технических и экономических преимуществ, поэтому они широко используются при питании аппаратуры повышенной мощности.

В трехфазных цепях действуют три синусоидальных ЭДС одинаковой амплитуды $E_{\max}$ и одинаковой частоты ω с фиксированным сдвигом фазы между ними 120° ($2\pi/3$). Эти ЭДС создаются общим трехфазным

источником. На рис. 6.1. изображены ЭДС на выходе трехфазного источника и векторная диаграмма ЭДС источника.

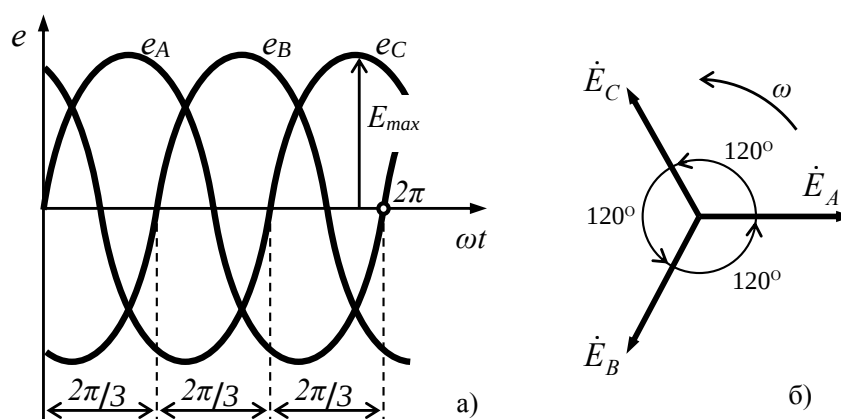


Рисунок 6.1 – Изменение мгновенных значений ЭДС (а) и векторная диаграмма ЭДС (б) трехфазного симметричного генератора

Каждую из частей многофазной системы, характеризующуюся одинаковым током, принято называть фазой. Таким образом, понятие «фаза» имеет в электротехнике два значения: первое – аргумент синусоидально изменяющейся величины, второе – часть многофазной системы электрических цепей.

Для получения трехфазного напряжения применяются, как правило, электромашинные генераторы. Обмотка такого генератора, расположенная на статоре, состоит из трех фаз. Оси витков трех фазных обмоток сдвинуты относительно друг друга на угол 120° . При вращении ротора в одинаковых по конструкции фазных обмотках наводятся ЭДС, имеющие одинаковые амплитуды, одинаковые фазы и сдвинутые по фазе относительно друг друга на угол 120° ($2\pi/3$). Такая система ЭДС называется симметричной. Фазы источника принято обозначать буквами «A, B, C» или цифрами «1, 2, 3» (рис. 6.2).

При подключении «звездой» концы фаз генератора соединяют в один общий узел 0, называемый нулевой или нейтральной точкой. Провод, соединяющий нейтральные точки источника и приемника, называется нейтральным или нулевым, а провода, соединяющие начала фаз источника и приемника электрической энергии, называются линейными.

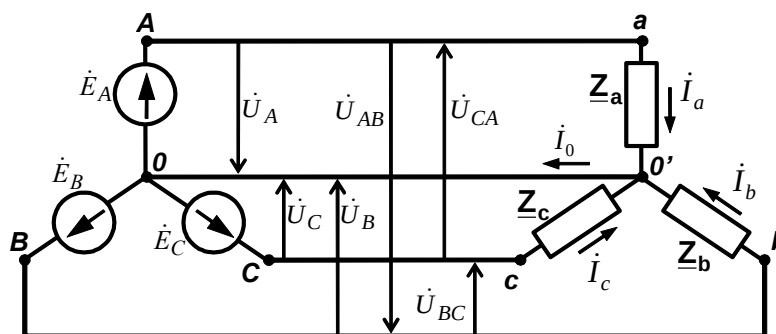


Рисунок 6.2 – Трехфазная цепь.
Схема соединения "звезда" – "звезда"

В трехфазной системе различают фазные и линейные напряжения. Фазными называют напряжения между началом и концом каждой фазы (U_A, U_B, U_C), а линейным – между двумя линейными проводами (U_{AB}, U_{BC}, U_{CA}). Пример схемы трехфазной цепи изображен на рисунке 6.2.

Для симметричной трехфазной системы действующее значение линейного напряжения в $\sqrt{3}$ раз больше фазного, $U_L = \sqrt{3} U_\phi$.

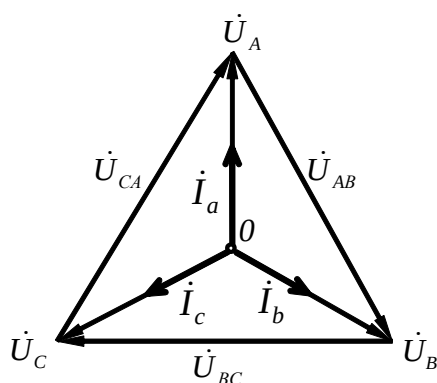


Рисунок 6.3 – Векторные диаграммы напряжений

Подобно рассмотренному трехфазному источнику приемники электрической энергии так же могут быть соединены «звездой» (рис. 6.2.). Начала фаз приемника обычно обозначаются строчными буквами «a, b, c». Если сопротивления фаз приемника равны, то приемник является симметричным. В противном случае – приемник несимметричен. Векторная диаграмма напряжений трехфазного симметричного источника при соединении его фаз «звездой» и резистивной нагрузке приведена на рисунке 6.3. Направление каждого вектора тока на векторной диаграмме совпадает с направлением соответствующего вектора напряжения, и все токи имеют одинаковую амплитуду.

В трехфазных системах, в которых источник и приемник соединены звездой, часто применяется нулевой провод. Он обеспечивает сохранение симметрии фазных напряжений в случае несимметрии приемника, при

этом при изменении сопротивления какой-либо фазы, фазные напряжения остаются одинаковыми. В этом случае трехфазная цепь является четырехпроводной.

В случае пренебрежения сопротивлениями линейных и нулевого проводов фазные напряжения симметричного приемника равны фазным напряжениям источника, а фазные токи, равные в данном случае линейным, можно определить по закону Ома:

$$\dot{I}_a = \frac{\dot{U}_A}{\underline{Z}_a}; \quad \dot{I}_b = \frac{\dot{U}_B}{\underline{Z}_b}; \quad \dot{I}_c = \frac{\dot{U}_C}{\underline{Z}_c} \quad , \quad (6.1)$$

где $\underline{Z}_a, \underline{Z}_b, \underline{Z}_c$ - комплексные сопротивления фаз приемника.

По первому закону Кирхгофа ток в нулевом проводе

$$\dot{I}_0 = \dot{I}_a + \dot{I}_b + \dot{I}_c \quad . \quad (6.2)$$

В случае симметричного режима фазные токи представляют собой симметричную систему, поэтому ток в нулевом проводе $I_0 = 0$, то есть необходимость в нулевом проводе отпадает. Такая трехфазная цепь содержит только три провода.

При несимметричном приемнике ток в нулевом проводе $I_0 \neq 0$. Его значение зависит от характера сопротивлений в фазах нагрузки. В исследуемой лабораторной установке (рис. 6.6.) этот режим имитируется отключением одного из двух нагрузочных резисторов в какой-либо фазе.

Векторная диаграмма напряжений и токов для несимметричного режима при наличии нулевого провода изображена на рис. 6.4.

Векторная диаграмма поясняет произошедшие в схеме изменения: сопротивления фаз b и c одинаковы, а резистивное сопротивление фазы a увеличено. Это приводит к тому, что амплитуды токов $\dot{I}_b$ и $\dot{I}_c$ равны, а амплитуда тока $\dot{I}_a$ уменьшилась. Следовательно, сумма токов в нулевом проводе (7.2) не равна нулю и через него течет ток $\dot{I}_0$, направленный в противоположную сторону относительно вектора тока $\dot{I}_a$.

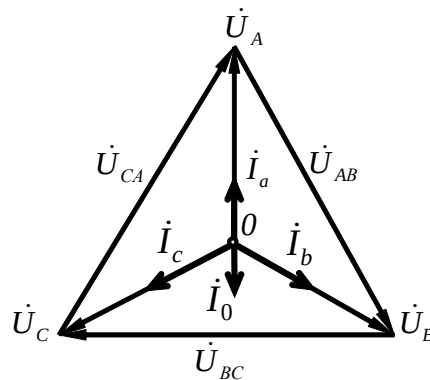


Рисунок 6.4 – Векторные диаграммы напряжений и токов для несимметричного режима при увеличении сопротивления нагрузки фазы a

Предельным несимметричным режимом является обрыв фазы. В данной работе он имитируется отключением всех сопротивлений одной из фаз приемника. При этом отсутствует один фазный ток в той фазе, где произошел обрыв. Векторная диаграмма напряжений и токов для режима обрыва фазы a приведена на рисунке 6.5. Ток в нулевом проводе I_0 равен сумме токов I_b и I_c .

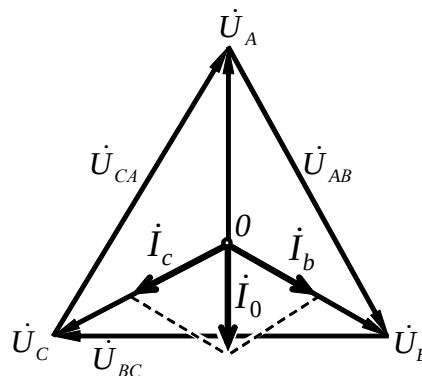


Рисунок 6.5 – Векторные диаграммы напряжений и токов в режиме обрыва фазы a

Короткое замыкание фазы является аварийным режимом, при котором закорачивается фаза источника и резко возрастет ток в цепи.

Внимание! Режим короткого замыкания в данной работе не исследуется.

6.3. Порядок выполнения работы

1. Изучить состав и работу модулей: «Источники питания/Генератор многофазный», «Реактивные элементы. Резисторы/активная нагрузка нелинейные элементы», «Диоды, резисторы, конденсаторы. Коннектор/

блок ввода-вывода», «Мультиметры», «Измерительные приборы» (приложение А), которые будут использоваться в эксперименте.

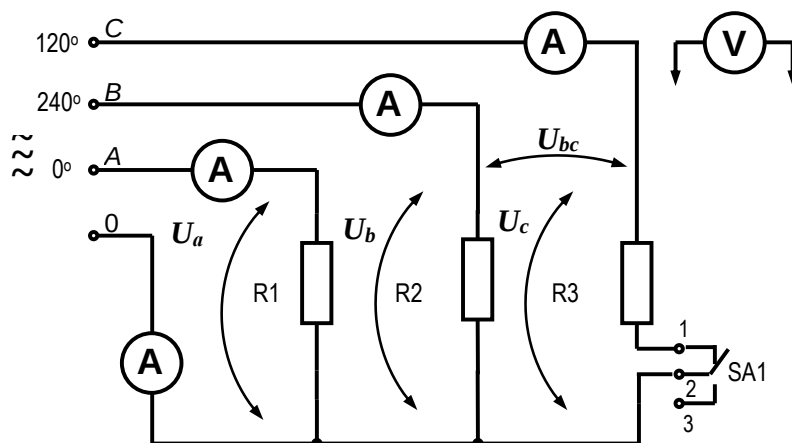


Рисунок 6.6 – Схема экспериментальной установки

2. В блоке «Генератор многофазный» выбрать три источника, установив тумблер выбора количества источников вниз, к мнемосхеме . Резистор R3 подключить через переключаемый тумблер SA1, который находится в блоке «Коннектор/ блок ввода-вывода». Собрать схему согласно рисунку 6.6. С помощью регуляторов установить частоту источников 50 Гц, амплитуду 10 В, переключив тумблер выбора регулируемой величины (напряжения или частоты) в соответствующее положение.

3. Исследование симметричного режима.

Установить значения сопротивлений $R1=R2=R3=100\text{ Ом}$. Подать питание, включив трехфазный источник. Измерить значения фазных токов I_a , I_b , I_c в потребителях и нулевом проводе I_0 , а также значения фазных напряжений U_a , U_b , U_c и линейных напряжений U_{ab} , U_{bc} , U_{ca} . Данные опыта записать в таблицу 6.1.

4. Исследование несимметричного режима.

Увеличить сопротивление третьей фазы потребителей, установив $R3=200\text{ Ом}$. Произвести измерения всех параметров режима с нулевым проводом. Результаты измерений занести в таблицу 6.1.

5. Исследование режима «обрыв фазы».

Имитировать обрыв 3-й фазы потребителя, отключив резистор R3. При подключенном нулевом проводе измерить параметры этого режима и записать в таблицу 6.1.

Таблица 6.1 – Экспериментальные данные режимов с нулевым проводом

Режим		Напряжения						Токи			
		U_{ab}	U_{bc}	U_{ca}	U_a	U_b	U_c	I_a	I_b	I_c	I_0
		В	В	В	В	В	В	А	А	А	А
1	Симметричный										
2	Несимметричный										
3	Обрыв фазы										

6.4. Содержание отчета

1. Схема лабораторной установки.
2. Результаты эксперимента (заполненная таблица 6.1).
3. Векторные диаграммы для каждого вида эксперимента.
4. Результаты расчета токов каждой фазы с использованием формулы (6.1) для каждого из исследованных режимов.
5. Выводы.

6.5. Контрольные вопросы

1. Дайте определение трехфазной симметричной системы ЭДС.
2. Какое соединение однофазных потребителей электрической энергии называют «звездой»?
3. Что понимают под фазными и линейными напряжениями, токами?
4. Какие соотношения связывают линейные и фазные токи и напряжения при соединении звездой с нулевым проводом? Докажите это.
5. Приведите векторные диаграммы токов и напряжений при симметричной (несимметричной) нагрузке трехфазной системы.
6. Какова роль нулевого провода в трехфазной системе?
7. Как определяется ток в нулевом проводе в четырехпроводной трехфазной системе?
8. Почему нельзя проводить опыт короткого замыкания при наличии нулевого провода?
9. Начертите векторные диаграммы токов и напряжений в исследуемой схеме, если нагрузка имеет индуктивный (емкостной) характер.
10. Каковы особенность векторных диаграмм токов и напряжений в режиме обрыва фазы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Основы электротехники, микроэлектроники и управления в 2 т. Том 1: учеб. пособие для академического бакалавриата / Ю. А. Комиссаров, Л. С. Гордеев, Д. П. Вент, Г. И. Бабокин. – 2-е изд., испр. и доп. – Москва: Издательство Юрайт, 2019. – 455 с. – (Серия: Бакалавр. Академический курс). – ISBN 978-5-534-05431-6. – Текст: электронный // ЭБС Юрайт [сайт]. – URL: <https://biblio-online.ru/bcode/441207>.

2. Основы электротехники, микроэлектроники и управления в 2 т. Том 2 : учеб. пособие для академического бакалавриата / Ю. А. Комиссаров, Л. С. Гордеев, Г. И. Бабокин, Д. П. Вент. – 2-е изд., испр. и доп. – Москва : Издательство Юрайт, 2018. – 313 с. – (Серия : Бакалавр. Академический курс). – ISBN 978-5-534-05432-3. – Текст : электронный // ЭБС Юрайт [сайт]. – URL: <https://biblio-online.ru/book/osnovy-elektrotehniki-mikroelektroniki-i-upravleniya-v-2-t-tom-2-421609>.

3. Потапов, Л. А. Теоретические основы электротехники. Сборник задач : учеб. пособие для академического бакалавриата / Л. А. Потапов. – 2-е изд., испр. и доп. – Москва : Издательство Юрайт, 2019. – 245 с. – (Серия : Бакалавр. Академический курс). – ISBN 978-5-534-08894-6. – Текст : электронный // ЭБС Юрайт [сайт]. – URL: <https://biblio-online.ru/bcode/437992>.

4. Электротехника : учеб. пособие / И.С. Рыбков. – М. : РИОР : ИНФРА-М, 2018. – 160 с. – (ВО: Бакалавриат). - Режим доступа: <http://znanium.com/catalog/product/938944>

5. Атабеков, Г.И. Теоретические основы электротехники. Линейные электрические цепи [Электронный ресурс] : учебное пособие / Г.И. Атабеков. – Электрон. дан. – Санкт-Петербург : Лань, 2009. – 592 с. – Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/90>. – Загл. с экрана.

6. Аполлонский, С.М. Теоретические основы электротехники. Практикум [Электронный ресурс] : учебное пособие / С.М. Аполлонский. – Электрон. дан. – Санкт-Петербург : Лань, 2017. – 320 с. – Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/93583>. – Загл. с экрана.

7. Теоретические основы электротехники в примерах и задачах. Часть 1. Линейные электрические цепи постоянного тока/Нейман В.Ю. - Новосиб.: НГТУ, 2011. - 116 с.: ISBN 978-5-7782-1796-6 - Режим доступа: <http://znanium.com/catalog/product/546599>

8. Теоретические основы электротехники в примерах и задачах. Ч. 2. Линейные электрические цепи однофазного синусоидального тока / Нейман В.Ю. - Новосиб.: НГТУ, 2009. - 150 с.: ISBN 978-5-7782-1225-1 - Режим доступа: <http://znanium.com/catalog/product/556633>

ПРИЛОЖЕНИЕ А

ОПИСАНИЕ И ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ОБОРУДОВАНИЯ (справочное)

А.1 ИСТОЧНИКИ ПИТАНИЯ

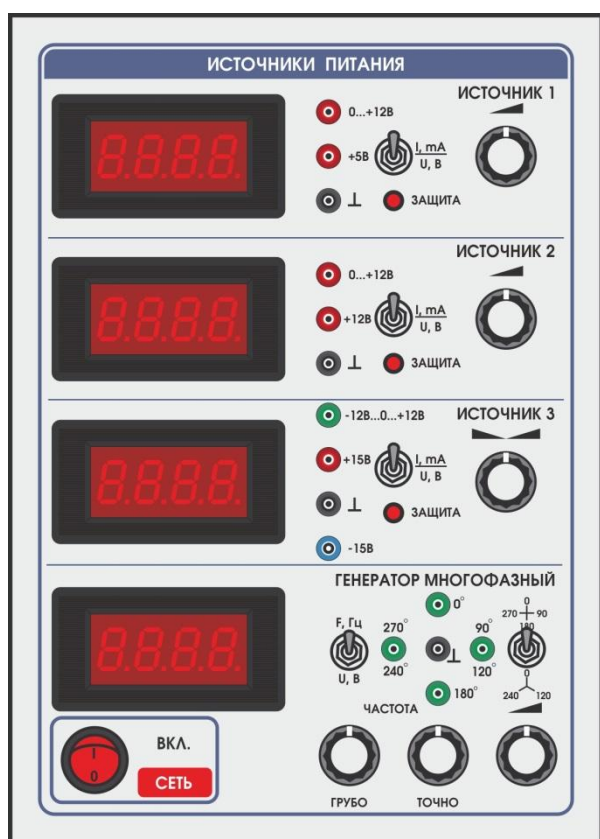


Рисунок А.1. — Источники питания

Модуль источников питания (рис. А.1) предназначен для питания исследуемых схем напряжением постоянного тока. Модуль содержит в своем составе три источника постоянного тока «Источник 1», «Источник 2», «Источник 3» и «Генератор многофазный».

«Источник 1» содержит в своем составе два источника постоянного тока: 1) стабилизированный регулируемый источник постоянного тока $0...+12\text{ В}$; 2) стабилизированный источник постоянного тока $+5\text{ В}$.

«Источник 2» содержит в своем составе два источника постоянного тока: 1) стабилизированный регулируемый источник постоянного тока $0...+12\text{ В}$; 2) стабилизированный источник постоянного тока $+12\text{ В}$.

«Источник 3» содержит в своем составе три источника постоянного тока: 1) стабилизированный регулируемый источник постоянного тока $-12...0...+12\text{ В}$; 2) стабилизированный источник постоянного тока $+15\text{ В}$; 3) стабилизированный источник постоянного тока -15 В .

Значения выходных параметров источников (выходное напряжение и ток нагрузки) отображаются на встроенном цифровом индикаторе. Тумблером «I, mA/U, V» происходит выбор индицируемого параметра. Источники имеют встроенную защиту по току (700 мА), срабатывание которой индицируется светодиодом «ЗАЩИТА». Время действия защиты – 4с. При срабатывании защиты рекомендуется обесточить стенд, устранить причину перегрузки и включить стенд заново. Если причину не устранить, то будет происходить повторное срабатывание защиты и т.д., до устранения ошибки в собранной схеме.

Все источники имеют гальваническую развязку друг от друга и от питающей сети 220В/50Гц.

«Генератор многофазный» содержит в своём составе 3 или 4 синхронно работающих синусоидальных генератора в зависимости от необходимого режима работы. Выбор режима (3 или 4 выхода) производится с помощью тумблера на передней панели (расположен справа). При этом сдвиг фаз между синусоидальными выходами имеет определенное фиксированное значение 120 или 90 градусов в зависимости от выбранного режима работы. При перестройке частоты сдвиг фаз остается неизменным. Тумблером, расположенным слева, можно производить выбор контроля амплитуды выходного напряжения или её частоты. В нижнем положении контролируется напряжение на выходах многофазного генератора (амплитудное значение в Вольтах). В верхнем положении контролируется частота выходного сигнала в Герцах.

Частота устанавливается плавно с помощью двух ручек «ГРУБО» и «ТОЧНО» в диапазоне **50...2000 Гц**. Амплитуда выходных сигналов регулируется плавно и синхронно по всем выходам с помощью ручки «АМПЛИТУДА» (обозначена сверху значком в виде наклонной плоскости). Амплитуда сигналов на каждом выходе регулируется в пределах 0,25В...10В.

Таблица А.1 – Технические характеристики модуля «Источники питания»

Электропитание от однофазной сети переменного тока с нулевым и защитным проводниками: - напряжение, В - частота, Гц	230±10% 50±0,5
Параметры вторичных источников: - Источник 1: - регулируемое постоянное напряжение(вых.1), В - постоянное напряжение(вых. 2), В - ток нагрузки(суммарный для двух выходов), мА - индикация тока/напряжение - Источник 2: - регулируемое постоянное напряжение(вых.1), В - постоянное напряжение(вых. 2), В - ток нагрузки (суммарный для двух выходов), мА - индикация тока/напряжение - Источник 3: - регулируемое постоянное напряжение(вых.1), В - постоянное напряжение(вых. 2), В - постоянное напряжение(вых. 3), В - ток нагрузки(суммарный для трех выходов), мА - индикация тока/напряжение	0...+12 +5 0...500 цифровая 0...+12 +12 0...500 цифровая 12...0...+12 +15 -15 0...500 цифровая
- Генератор многофазный: - форма выходного сигнала в каждой фазе - регулируемая амплитуда сигнала (синхронно на всех выходах), В - регулируемая частота (синхронно на всех выходах), Гц	Синус 0,25...10,0

- сдвиг фаз для трех/четырех фазного варианта (синхронно на всех выходах), град Выходной ток по каждому каналу (макс.), мА	50...2000 120/90 300
Встроенная защита по току для источников : 1,2,3	есть
Гальваническая развязка между источниками: 1,2, 3	есть
Гальваническая развязка между источниками: 1,2 и генератором многофазным	есть
Гальваническая развязка между источником 3 и генератором многофазным	нет
Сопротивление нагрузки по каждому каналу многофазного генератора , не менее, Ом	50

А.2 ФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ ГЕНЕРАТОР. ИМПУЛЬСНЫЙ ГЕНЕРАТОР

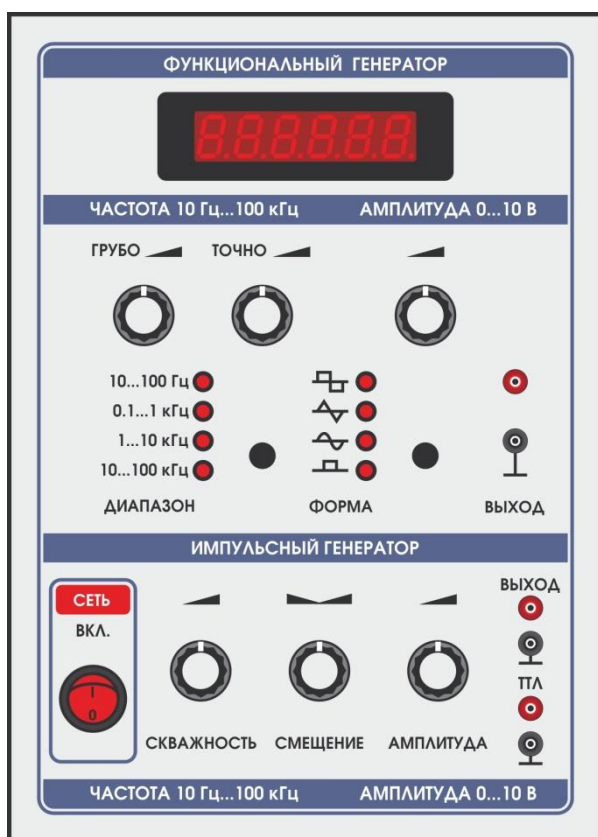


Рисунок А.2 – Функциональный генератор. Импульсный генератор загорается соответствующий светодиод: прямоугольная двуполярная, синусоидальная, треугольная, прямоугольная однополярная положительная. Амплитуда выходного сигнала генератора регулируется в диапазоне 0...10 В ручкой «Амплитуда». Для отображения текущего значения амплитуды генератора необходимо подключить измерительный

Блок функционального генератора (рис. А.2) представляет собой генератор колебаний заданной формы, частоты и амплитуды. Частотный диапазон генератора составляет 10 Гц...100 кГц и разбит на 4 поддиапазона: 10...100 Гц, 0,1...1 кГц, 1...10 кГц, 10...100 кГц. Переключение между поддиапазонами происходит путем нажатия на тактовую кнопку. Текущий диапазон индицируется включением соответствующего светодиода. Реализовано два режима регулировки частоты генератора –ручками «Грубо» и «Точно». Текущее значение частоты в Гц отображается на цифровом индикаторе.

Выбор формы выходного сигнала генератора осуществляется тактовой кнопкой, при этом

прибор. На лицевую панель выведены клеммы «Выход» для включения прибора в измерительную цепь.

Таблица А.2.1 – Технические характеристики функционального генератора

Электропитание от однофазной сети переменного тока - напряжение, В - частота, Гц	230±10% 50±0,5
Максимальный ток нагрузки, А	0,3
Выходное напряжение специальной формы: - синусоидальное - амплитуда, В - частота, Гц - прямоугольное, двуполярное - амплитуда, В - частота, Гц - скважность - треугольное - амплитуда, В - частота, Гц - прямоугольное, однополярное - амплитуда, В - частота, Гц - скважность	0... ± 10 10...100000 0... ± 10 10...100000 2 0...±10 10...100000 0... + 10 10...100000 2
Индикация текущего значения частоты	цифровая
Погрешность измерения частоты, не более	0.1%
Защита от короткого замыкания	есть

Блок импульсного генератора представляет собой устройство формирующее импульсы положительной или отрицательной полярности амплитудой до **+10 В** или до **-10 В**. Частота следования импульсов плавно регулируется в диапазоне **10...100000 Гц** (в четырех поддиапазонах – **10...100, 100...1000, 1000...10000, 10000...100000 Гц**). Установка частоты (с визуальным контролем на цифровом индикаторе) производится с помощью ручек и кнопок управления функционального генератора. Длительность импульса устанавливается с помощью ручки «СКВАЖНОСТЬ». Предел регулировки скважности находится в диапазоне **1,1...10**. Выбор полярности импульса задается с помощью ручки «СМЕЩЕНИЕ». При этом значение среднего уровня импульсного сигнала регулируется в пределах **-5 В...0...+5 В**. Установкой среднего уровня в отрицательную область (**до -5 В**) формируются импульсы отрицательной полярности. Установкой среднего уровня в положительную область (**до +5 В**) формируются импульсы положительной полярности. Возможны также и промежуточные (комбинированные) уровни формирования импульсов. Установка амплитуды выходного сигнала производится с помощью ручки «АМПЛИТУДА» в пределах **0...10 В**.

Таблица А.2.2 – Технические характеристики импульсного генератора

Электропитание от однофазной сети переменного тока - напряжение, В - частота, Гц	230±10% 50±0,5
Максимальный ток нагрузки, А	0,2
Выходное напряжение специальной формы: - прямоугольное, положительной полярности, В - прямоугольное, отрицательной полярности, В - амплитуда (+), В - амплитуда(-), В - частота, Гц - скважность в пределах	0... + 10 0... -10 10...100000 1,1...10
Регулировка уровня смещения, В	-5,0...0...+5,0
Индикация текущего значения частоты	Цифровая
Погрешность измерения частоты, не более	0.1%

А.3 РЕАКТИВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ. РЕЗИСТОРЫ/АКТИВНАЯ НАГРУЗКА. НЕЛИНЕЙНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ

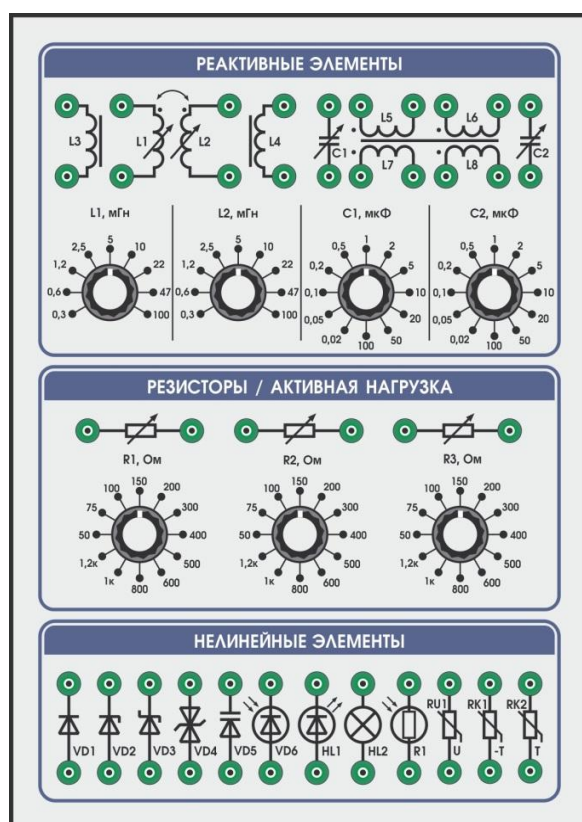


Рисунок А.3 – Реактивные элементы.
Резисторы/Активная нагрузка.
Нелинейные элементы

Блок «Реактивные элементы» (рис. А.3) представляет собой набор элементов для исследования характеристик и параметров реактивных элементов – катушек индуктивности, трансформаторов, конденсаторов. Также блок используется в качестве отдельных элементов для составления схем.

Блок содержит следующие реактивные элементы:

- взаимосвязанные катушки переменной индуктивности **L1, L2** с диапазоном дискретных значений от **0,3мГн до 100мГн (0,3-0.6-1,2-2,5-5-10-22-47-100)**;

- катушки индуктивности **L3 и L4**, конструктивно выполненные на ферритовых сердечниках (индуктивность **L3 = 10 мГн, L4 = 40 мГн**);

- трансформатор, выполненный на ферритовом сердечнике, состоит из 4-х одинаковых обмоток **L5...L8** индуктивностью по **10 мГн**. Максимальный ток для катушек **L1...L8** - не более **500 мА**. Точка на

схеме, показанная на одном конце катушки (**L1, L2, L5...L8**) обозначает начало обмотки;

- конденсаторы **C1** и **C2**. Емкость каждого конденсатора устанавливается дискретно в диапазоне **0,02...100мкФ (0,02-0,05-0,1-0,2-0,5-1-2-5-10-20-50-100 мкФ)**. Все конденсаторы – неполярные. Максимальное напряжение – **50 В**.

Катушки индуктивности конструктивно выполнены как взаимосвязанные, т.е. имеется возможность проводить эксперименты по исследованию повышающего или понижающего воздушного трансформатора, взаимосвязанных катушек, индуктивности с отводом при последовательном включении катушек и т.п.

На лицевую панель блока нанесены условные графические обозначения элементов, выведены клеммы для включения элементов в электрическую цепь, установлены ручки регулировки.

Блок не имеет цепей питания.

Блок **«Резисторы/Активная нагрузка»** (рис. А.3) представляет собой дискретно изменяемые при помощи галетных переключателей резисторы **R1, R2, R3**, предназначенные для использования в качестве добавочных сопротивлений в однофазных, трехфазных цепях переменного тока и цепях постоянного тока с регулированием вручную.

На лицевую панель блока нанесены условные графические обозначения элементов, выведены клеммы для включения элементов в электрическую цепь, установлены ручки регулировки.

Блок не имеет цепей питания.

Таблица А.3 – Технические характеристики блока «Резисторы/Активная нагрузка»

Количество резисторов	3 (R1, R2, R3)
Дискретность изменения номинальной величины сопротивления резисторов R1...R3, Ом	50/ 75 / 100 /150 / 200 / 300 / 400 / 500 / 600/800/1000/1200
Номинальная мощность (при минимальном значении сопротивления равном 50 Ом) каждого из резисторов R1-R3, Вт	8
Ток коммутации галетного переключателя максимальный, мА	500

Блок **«Нелинейные элементы»** (рис. А.3) представляет собой набор элементов для исследования характеристик и параметров следующих нелинейных элементов: полупроводникового диода (**VD1**), стабилитрона (**VD2**), диода Шоттки (**VD3**), диода защитного- супрессора (**VD4**), варикапа (**VD5**), фотодиода (**VD6**), светодиода (**HL1**), лампочки накаливания (**HL2**), фоторезистора (**R1**), варистора (**RU1**), терморезистора с отрицательным ТКС (**RK1**), терморезистора с положительным ТКС

(RK2), а также в качестве отдельных элементов для составления различных исследуемых схем.

Блок содержит следующие нелинейные элементы :

- полупроводниковый диод **1N4007 (VD1)**;
- стабилитрон **KC168 (VD2)**;
- диод Шоттки **1N5822 (VD3)**;
- диод защитный (супрессор) **1,5KE6V8CA (VD4)**;
- варикап **KB127 (VD5)**;
- фотодиода - (входит в состав диодной оптопары **АОД101**) –(**VD6**);
- светодиода - (входит в состав диодной оптопары **АОД101**) –(**HL1**);
- лампочки накаливания - (входит в состав оптопары **ОЭП13**) – (**HL2**);
- фоторезистор - (входит в состав оптопары **ОЭП13**) –(**R1**);
- варистор **FNR07K180** –(**RU1**);
- терморезистора с отрицательным ТКС (термистор **NTS B57153S0330M000**)
- терморезистора с положительным ТКС (термистор **PTS B59901D60A4**)

На лицевую панель блока нанесены условные графические обозначения элементов, выведены клеммы для включения элементов в электрическую цепь. Блок не имеет цепей питания.

А.4 ДИОДЫ, РЕЗИСТОРЫ, КОНДЕНСАТОРЫ. КОННЕКТОР/ БЛОК ВВОДА-ВЫВОДА

Блок «**Диоды, резисторы, конденсаторы**» (рис. А.4) представляет собой набор элементов для исследования характеристик и параметров выпрямительного диода, тиристора, динистора, различных типов выпрямителей, а также в качестве элементов для составления исследуемых схем (постоянные и переменные резисторы, конденсаторы неполярные и полярные, самовосстанавливающийся предохранитель) и проведения лабораторных работ.

Блок содержит:

- диоды для исследования трехфазных цепей:
 - **1N4007 х 3** (с общим катодом);
 - **1N4007 х 3** (с общим анодом);
- диоды для исследования однофазных цепей (диодный мост **1N4007 х 4**);
- самовосстанавливающийся предохранитель **MF-R030**;

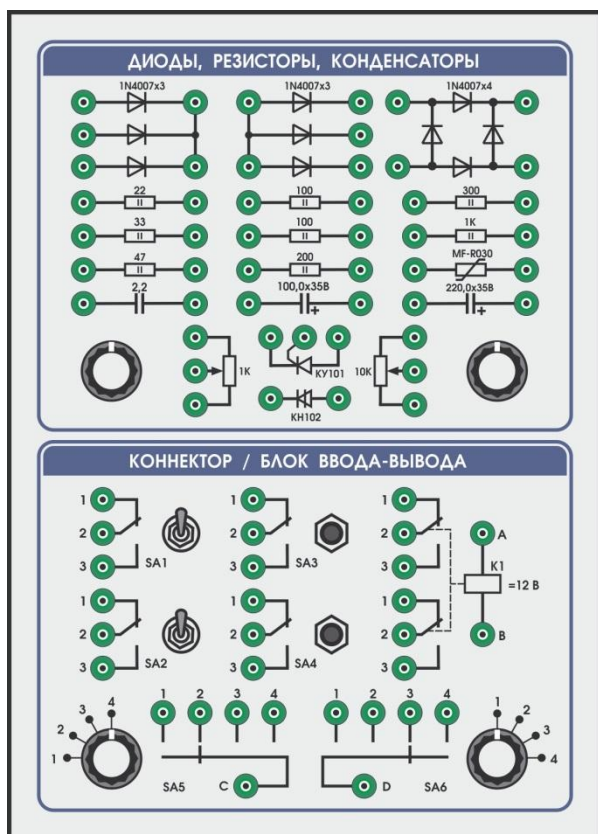


Рисунок А.4 —Диоды, резисторы, конденсаторы.
Коннектор/Блок ввода-вывода

Блок не имеет цепей питания.

Блок «**Коннектор/блок ввода-вывода**» (рис. А.4) представляет собой набор элементов: переключаемые тумблеры **SA1** и **SA2**, кнопки **SA3** и **SA4**, реле на **12В** с двумя перекидными контактами, два галетных переключателя на 4 положения **SA5** и **SA6**. Блок не имеет цепей питания.

А.5. ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ

Модуль измерительных приборов (рис. А.5) содержит четыре цифровых ампервольтметра постоянного/переменного тока с соответствующими гнездами для включения в измерительную цепь, выведенными на лицевую панель. Выбор функционального назначения прибора осуществляется с помощью микротумблеров «U,V/I,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 микротумблеров, имеющих три фиксированных положения (верхнее положение –200, среднее –500, нижнее –20).

- тиристор **KY101**;
 - динистор **KN102**;
 - набор из 8-ми отдельных постоянных резисторов мощностью **2 Вт** каждый со следующими номинальными величинами сопротивлений: **22 Ом, 33 Ом, 47 Ом, 100 Ом (2 шт.), 200 Ом, 300 Ом, 1 кОм**;
 - два переменных резистора мощностью **0,5Вт** каждый с номинальными величинами сопротивлений **1 кОм и 10 кОм**;
 - три конденсатора: **2,2 мкФ** по **50В** (керамический, неполярный), **100,0 мкФ** по **35В** и **220,0 мкФ** по **35В** (электролитические, полярные);
- На лицевую панель блока нанесены условные графические обозначения элементов, выведены клеммы для включения элементов в электрическую цепь, установлены ручки регулировки.

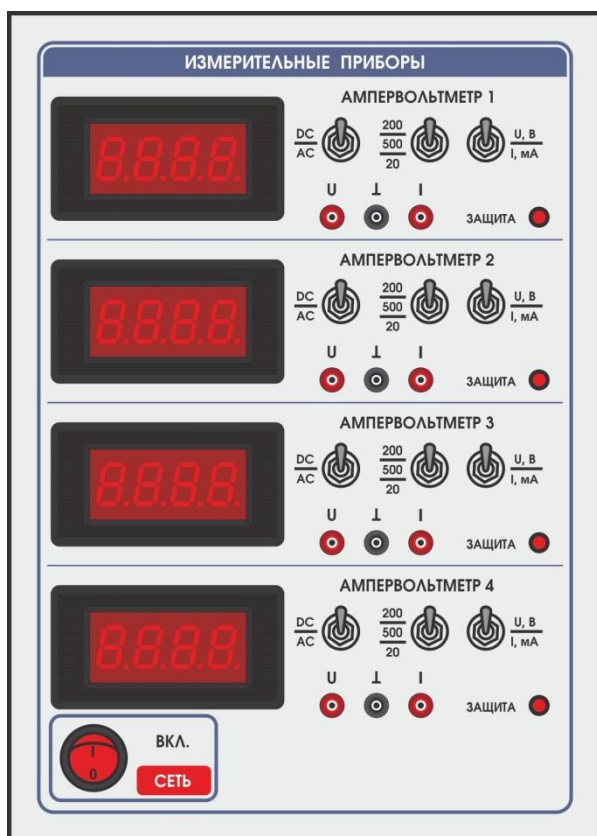


Рисунок А.5 – Измерительные приборы

Род измеряемого тока прибора (переменный или постоянный) выбирается тумблерами DC/AC (верхнее положение – постоянный ток или напряжение, нижнее положение – переменный ток или напряжение). Погрешность измерения токов и напряжений – 2,5 %.

Все миллиамперметры имеют встроенные схемы защиты шунтов от прямой подачи напряжения без последовательной нагрузки. В случае протекания повышенного тока через шунт (более 1А), он отключается от цепи путем размыкания на время около 4 с.

При измерении постоянного тока или напряжения гнездо красного цвета соответствует полярности «плюс». Гнездо черного цвета – полярности «минус».

Таблица А.5 – Технические характеристики модуля «Измерительные приборы»

Электропитание от однофазной сети переменного тока с защитным проводником:	
- напряжение, В	230
- частота питающей сети, Гц	50
Потребляемая мощность, ВА, не более	20
Количество цифровых вольтметров	4
Количество цифровых амперметров	4
Типы измеряемых токов	переменный /постоянный
Дискретность измерения напряжения, В	20 / 200 /500
Дискретность измерения тока, мА	20/ 200 /500
Частотный диапазон измеряемых переменных токов и напряжений	10 Гц...50 кГц

А.6 МИЛЛИАМПЕРМЕТРЫ

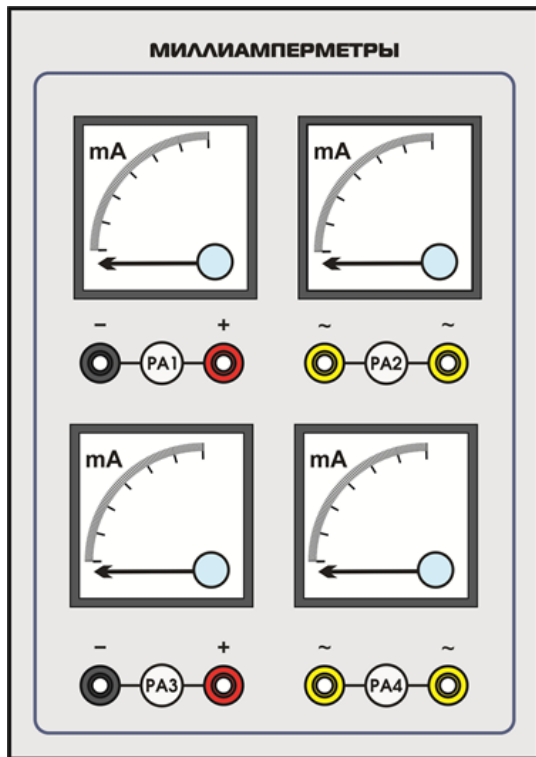


Рисунок А.6 – Миллиамперметры

Модуль миллиамперметров (рис. А.6) предназначен для измерения величины переменного и постоянного тока в электрических цепях посредством стрелочных аналоговых измерительных приборов РА1...РА4. Для каждого амперметра на лицевую панель выведены соответствующие гнезда для подключения прибора в исследуемую электрическую цепь. Модуль не имеет цепей питания.

Состав модуля:

- РА1, РА3 – стрелочные амперметры постоянного тока с током полного отклонения стрелки 1000 мА.
- РА2, РА4 – стрелочные амперметры переменного тока с током полного отклонения стрелки 1000 мА.

Таблица А.6 – Технические характеристики миллиамперметров

Количество амперметров	4
Рабочее положение	вертикальное
Класс точности приборов РА1...РА4	2,5
Пределы измерения постоянного тока РА1, РА3, мА	0...1000
Пределы измерения переменного тока РА2, РА4, мА	0...1000
Номинальная частота, Гц	50

А.7 ИЗМЕРИТЕЛЬ МОЩНОСТИ

Модуль «Измеритель мощности» (рис. А.7) предназначен для измерения действующих значений переменного напряжения и тока; активной, реактивной и полной мощности, частоты, $\cos\phi$ угла сдвига между током и напряжением на нагрузке в цепях переменного тока.

Содержит цифровой 4-строчный индикатор, на котором отображаются следующие параметры: 1) напряжение, 2) ток, 3) активная мощность, 4) реактивная мощность, 5) полная мощность, 6) частота, 7) $\cos\phi$, 8) угол (град.).

Входное измеряемое напряжение – до 30 В, максимальный измеряемый ток – 500 мА.

На лицевую панель выведены клеммы для включения прибора в измерительную цепь.

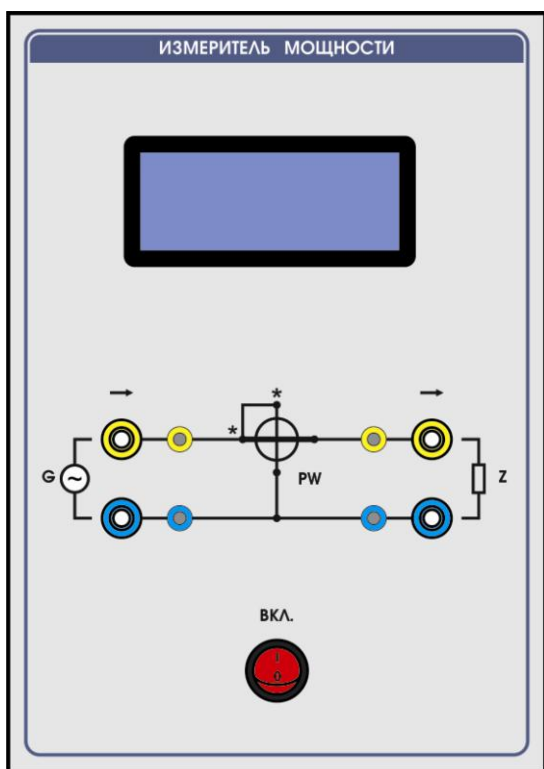


Рисунок А.7 – Измеритель мощности

Таблица А.7 – Технические характеристики модуля «Измеритель мощности»

Электроснабжение от однофазной сети переменного тока с защитным проводником: - напряжение, В - частота питающей сети, Гц	230 50
Потребляемая мощность, В·А, не более	10
Пределы измерения: - активная мощность, Вт - реактивная мощность, Вар - полная мощность, ВА - напряжение (переменное), В - ток (переменный), мА - частота тока/напряжения, Гц - Коэффициент мощности ($\cos\varphi$)	0,02...15 0,02...15 0,02...15 0,01...30 2...500 40...1000 0...1,000
Погрешность измерения %, не более	± 5

А.8 АВТОТРАНСФОРМАТОР

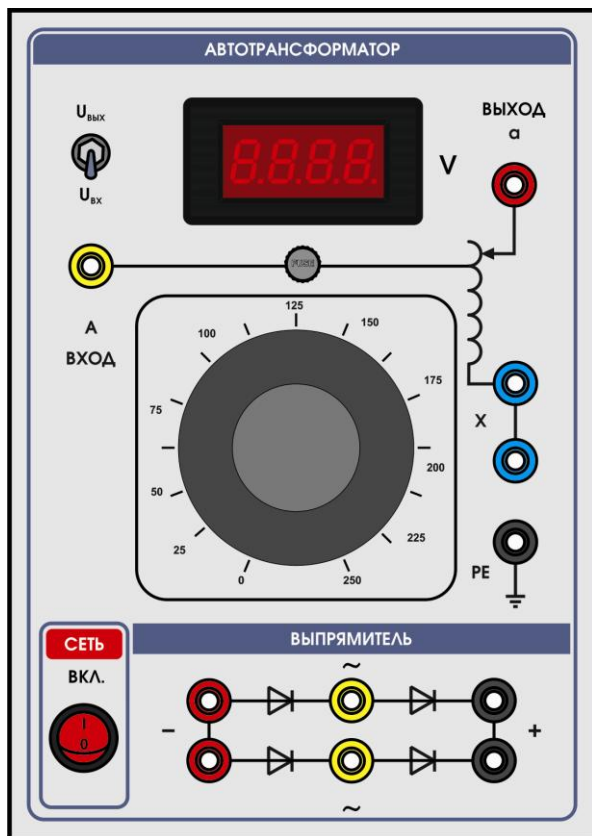


Рисунок А.8 — Автотрансформатор

Модуль «Автотрансформатор» включает в себя лабораторный автотрансформатор (ЛАТР) и мостовую схему выпрямления.

Регулируемый автотрансформатор предназначен для преобразования однофазного нерегулируемого напряжения промышленной частоты 220В/50 Гц в однофазное регулируемое напряжение 0...250 В той же частоты. ЛАТР имеет номинальное входное напряжение 220 В. Входное напряжение подается на вход «А» и «Х» и включается в работу клавишным выключателем питания «СЕТЬ». Выходное напряжение от 0 до 250 В регулируется при помощи ручки ЛАТРа, выведенной на переднюю панель. Значение входного и выходного напряжения

можно контролировать с помощью встроенного цифрового вольтметра переменного напряжения. Выбор измеряемого переменного напряжения осуществляется с помощью тумблера, находящегося слева от цифрового индикатора. В положении «U_{вх}» контролируется напряжение сети подаваемое на вход автотрансформатора. В положении «U_{вых}» контролируется напряжение, которое выставлено с помощью регулировочной ручки автотрансформатора. Диапазон устанавливаемых напряжений находится в пределах 0...250 В. Погрешность установки определяется точностью вольтметра (порядка 2 %). Максимальная мощность нагрузки составляет 200 Вт. Перед началом проведения лабораторных экспериментов необходимо ручку регулировки напряжения установить в положение «0 В» (вывернуть против часовой стрелки).

«Вход А» в данной конструкции автотрансформатора, является только контрольным. Использовать его в качестве входа ЛАТРа невозможно, т.к. его вход защищен последовательным включением резистора 100 кОм (2 Вт). Это связано с возможностью неоднозначного подключения сетевой вилки кабеля, подведенного к задней панели автотрансформатора. Поэтому к сети 220 В автотрансформатор подключается только через кабель, который соединен к гнезду на задней панели.

Мостовая схема выпрямителя предназначена для преобразования переменного двуполярного напряжения в однополярное. Модуль содержит в своем составе блок из четырех диодов. На лицевую панель нанесена мнемосхема выпрямителя, выведены контрольные гнезда.

Таблица А.8 – Технические характеристики автотрансформатора

Число фаз, не менее	1
Номинальная мощность, В·А	200
Номинальное напряжение, В: - первичной обмотки - вторичной обмотки	220 0...250
Частота напряжения, Гц	50±0,5
Защита	от перегрузки по току
Рабочее напряжение мостового выпрямителя (не менее), В	600
Максимальный ток мостового выпрямителя (не менее), А	10

А.9 МУЛЬТИМЕТРЫ



Рисунок А.9.1 – Мультиметры

Модуль мультиметров представляет собой блок из двух мультиметров **Mastech MY68**. Мультиметры имеют несъемную конструкцию и свои собственные, гальванически развязанные, источники питания от сети 220В/50Гц. Мультиметр **Mastech MY68** предназначен для измерения величины силы постоянного и переменного тока, постоянного и переменного напряжения, сопротивления, емкости конденсаторов, частоты переменного тока/напряжения и коэффициента усиления биполярных транзисторов. Высокое входное сопротивление не вносит погрешности при измерениях величин. Выбор пределов измерения величин производится вручную или автоматически путем установки нужного положения

многопозиционного переключателя или соответствующей кнопки.

Включение/выключение модуля производится клавишным выключателем «Вкл», расположенным на лицевой панели.

Для измерения трех базовых электрических величин (тока, напряжения и омического сопротивления) используется мультиметр. Этот прибор является основным измерительным инструментом в слаботочных системах.

Мультиметр, в общем случае, имеет следующие режимы:

- Измерение переменного напряжения, пределы измерений до 600 В и до 200 В;
- Генератор прямоугольных импульсов;
- Измерение силы тока для постоянного напряжения;
- Измерение постоянного тока до 10 А;
- Проверка транзисторов;
- Прозвонка для определения целостности кабеля;
- Измерение сопротивления пределы измерений 200 Ом, 2000 Ом, 20 кОм, 200 кОм, 2000 кОм;
- Измерение постоянного напряжения пределы измерений 200 мВ, 2000 мВ, 20 В, 200 В, 600 В.

Таблица А.9 – Технические характеристики мультиметра

Разрядность индикации	3 3/4
Диапазоны измерения постоянного напряжения, В	0,4/ 4/ 40/ 400/ 1000
Диапазоны измерения переменного напряжения, В	0, 4/ 4/ 40/ 400/ 750
Диапазоны измерения постоянного тока	400мкА/ 4 мА/ 40 мА/ 400 мА/ 10 А
Диапазоны измерения переменного тока	400мкА/ 4 мА/ 40мА/ 400 мА/ 10 А
Диапазоны измерения сопротивления	400 Ом/ 4 кОм/ 40 кОм/ 400кОм/ 4Мом/ 40 МОм
Диапазон рабочих частот по переменному току	40...1000 Гц
Диапазоны измерения емкости	4 нФ/40 нФ/400 нФ/4 мкФ/ 40 мкФ/200 мкФ
Диапазоны измерения частоты	10 Гц/100 Гц/1000 Гц/10 кГц/ 100 кГц/200 кГц
Проверка транзисторов	hFE = 0...1000
Проверка диодов	есть
Прозвонка цепи	есть
Ручной / автоматический выбор режима измерений	есть
Фиксирование результатов измерений (DATAHOLD)	есть

Общие принципы работы с мультиметром

1. Переключения между режимами работы мультиметра производятся с помощью поворотного переключателя (рис. А.9.3). По окончании измерений необходимо установить переключатель в положение OFF, для предотвращения разряда батареи.

2. Не касаться оголенной части щупов при работе с мультиметром, т.к. помимо возможности поражения электрическим током возрастает погрешность измерений.

3. Перед началом работы с мультиметром необходимо правильно выставлять пределы измерений. Чем ближе к измеряемому значению выставлен предел, тем точнее будет результат. Если же примерное значение измеряемой величины заранее не известно, то стоит начинать измерения с максимально возможного предела измерений. Появление на дисплее цифры «1» указывает на то, что следует увеличить диапазон измерений.

Внимание! Если положение переключателя режимов не изменяют в течение 10 минут, мультиметр автоматически выключается. Для продолжения работы необходимо дважды нажать кнопку 2 (рис. А.9.2).

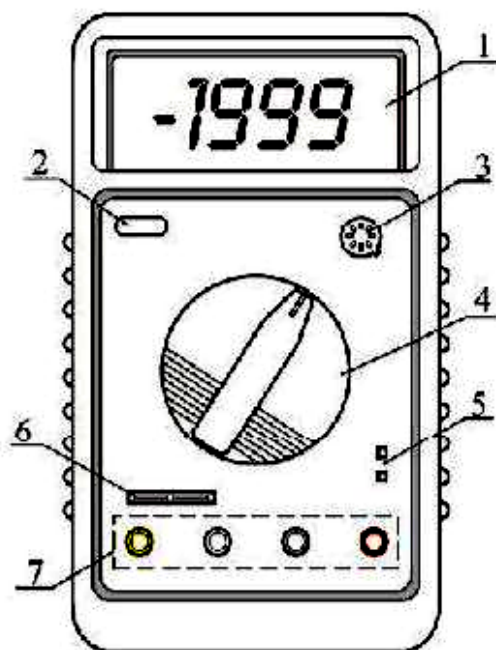


Рисунок А.9.2 – Лицевая панель мультиметра:
1 - дисплей; 2 - выключатель питания; 3 - гнездо для проверки транзисторов; 4 - переключатель режимов; 5 - разъем для подключения термопары; 6 - разъем для подключения конденсатора; 7 - входы для измерения тока, напряжения, сопротивления

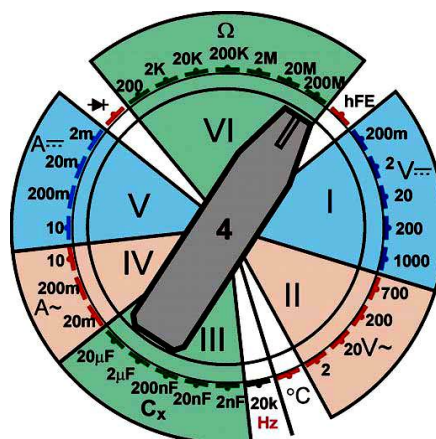


Рисунок А.9.3 – Переключатель режимов мультиметра

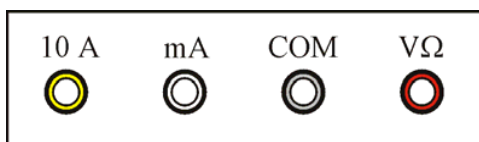


Рисунок А.9.4 – Измерительные входы мультиметра:
10 А - вход для измерения тока до 10 А; mA - вход для измерения тока до 200 мА;
COM - общий вход (земля); VΩ - вход для измерения напряжения и сопротивления

На рис. А.9.5 показано подключение мультиметра (как вольтметра) для измерения напряжения (а), мультиметра (как амперметра) для измерения тока (б), мультиметра (как омметра) для измерения омического сопротивления (в).

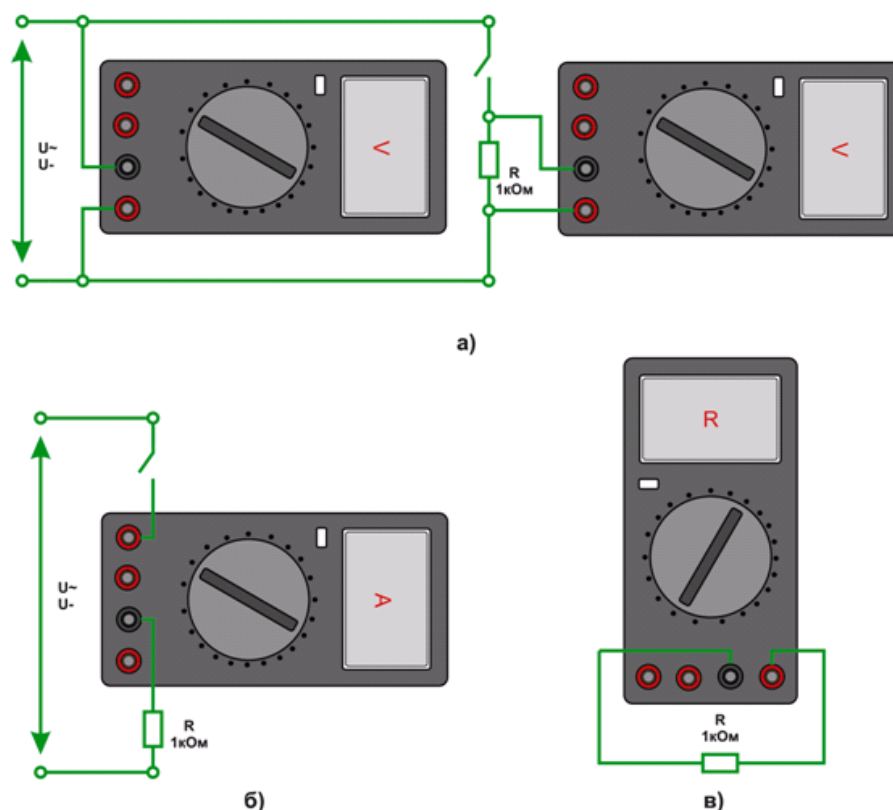


Рисунок А.9.5 – Подключения мультиметра в измеряемую цепь в качестве:
а – вольтметра, б – амперметра, в – омметра

Измерение силы тока с помощью мультиметра

Для измерения силы тока необходимо красный щуп подключить к входу «10А», черный – ко входу «СOM». Если Вы уверены, что в цепи течет небольшая сила тока (до 200 мА), то можно установить щуп во вход «mA». Подключение мультиметра в режиме амперметра в цепь необходимо производить последовательно (в разрыв цепи).

Поворотным переключателем выберите желаемый предел измерения «A=» или «A~» и подсоедините щупы последовательно с исследуемой нагрузкой.

Прочтите показания на дисплее. При измерении постоянного тока индикатор покажет полярность сигнала на красном щупе.

Если дисплей показывает «1», это указывает на перегрузку и необходимость выбрать больший предел измерения.

Измерение напряжения с помощью мультиметра

Для измерения напряжения необходимо красный щуп подключить ко входу «VΩ», черный – ко входу «СOM». Подключение мультиметра в режиме вольтметра в цепь необходимо производить параллельно.

Поворотным переключателем выберите желаемый предел измерения «V=» или «V~» и подсоедините щупы к источнику напряжения или исследуемой нагрузке.

Прочтите показания на дисплее. При измерении постоянного напряжения индикатор покажет полярность сигнала на красном щупе. Если дис-

плей показывает «1», это указывает на перегрузку и необходимость выбрать больший предел измерения.

Измерение сопротивления с помощью мультиметра

Для измерения электрического сопротивления участка цепи необходимо красный щуп подключить ко входу «V Ω », черный – ко входу «COM». Установив переключатель в соответствующее положение произвести измерение, мультиметр при этом подключается параллельно участку цепи. Необходимо помнить, что в измеряемом участке цепи не должен протекать электрический ток, иначе мультиметр выйдет из строя.

Замечание:

- Если измеряемое сопротивление превышает максимальное значение выбранного предела измерения или вход не подсоединен к сопротивлению, дисплей покажет «1».
- При измерении величины сопротивления, находящегося в схеме, убедитесь, что схема выключена и конденсаторы полностью разряжены.
- При измерениях свыше 1 МОм прибор может устанавливать показания в течение нескольких секунд. Это является нормальным при измерении больших сопротивлений.
- На диапазоне 200 МОм при замыкании щупов накоротко дисплей покажет 10 единиц. Это значение должно быть вычтено из полученного результата при измерении сопротивления на этом пределе. Например, при измерении сопротивления в 100 МОм дисплей покажет 101,0, и правильное значение будет $101,0 - 1,0 = 100,0$ МОм.

Измерение емкости конденсаторов

Установите поворотный переключатель на желаемый предел измерения емкости «F».

Перед установкой конденсатора в разъем для конденсаторов убедитесь, что конденсатор полностью разряжен.

При измерении емкости конденсатора с короткими выводами установите в разъем для конденсаторов переходной адаптер.

Проверка диодов

Соедините черный щуп с гнездом «COM», а красный с гнездом «V Ω Hz» прибора (полярность красного будет «+»).

Установите переключатель функций в положение «» и соедините красный щуп с анодом, а черный щуп с катодом измеряемого диода. Дисплей покажет приблизительное прямое падение напряжения на диоде. При обратном подключении щупов к диоду дисплей покажет «1».

Проверка транзисторов

Установите поворотный переключатель в положение «h_{FE}».

Определите, какого типа проводимости - PNPT или NPN - проверяемый транзистор и определите местоположение его эмиттера, коллектора и базы.

Установите выводы транзистора в соответствующие гнезда разъема на приборе.

Дисплей покажет приблизительный коэффициент h_{FE} транзистора при токе базы 10 мкА и напряжении коллектор-эмиттер 3,2 В.

«Прозвонка» с помощью мультиметра. Установить мультиметр в режим прозвонки, красный щуп подключить ко входу «V Ω », черный – ко входу «СOM». Для проверки работоспособности данного режима замкнуть два щупа между собой. При этом мультиметр издаст звуковой сигнал и покажет сопротивление близкое к нулю. Звуковой сигнал мультиметр издает при сопротивлении проверяемого участка цепи до 80 Ом. Для прозвонки необходимо подключить щупы к разным концам цепи, если обрыва нет, то мультиметр издаст звуковой сигнал или покажет сопротивление.

До подключения мультиметра к измеряемой цепи необходимо выполнить следующие операции:

- установить род тока (постоянный/переменный);
- выбрать диапазон измерений измеряемой величины;
- правильно подсоединить зажимы мультиметра к измеряемой цепи.

Измерение частоты

Соедините черный щуп с гнездом «СOM», а красный с гнездом «V Ω Hz» прибора.

Установите поворотный переключатель в положение «kHz» и подсоедините щупы к источнику сигнала или исследуемой нагрузке.

Замечание:

- При входном сигнале свыше 10 В считывание возможно, но точность не гарантируется.
- При малых входных сигналах в условиях сильных внешних шумов предпочтительнее использовать экранированный кабель.

Замена батареи

Если на дисплее появился значок «», это указывает, что необходимо заменить батарею. Отверните винты и откройте заднюю крышку, замените разряженную батарею новой.

Предохранитель редко нуждается в замене и выгорает почти всегда в результате ошибки оператора. Откройте крышку, как описано выше, и замените сгоревший предохранитель новым таким же по размеру и по электрическим параметрам.

Меры безопасности

Никогда не превышайте максимально допустимых значений входных сигналов, указанных в спецификации для каждого диапазона измерений.

Не касайтесь открытых гнезд мультиметра, когда он подключен к измеряемой схеме.

Если порядок измеряемой величины заранее не известен, установите переключатель диапазонов на максимальное значение.

Всегда отключайте щупы от измеряемой схемы при смене функции работы прибора.

При проведении измерений в телевизорах или импульсных блоках питания всегда помните, что там могут присутствовать высоковольтные импульсы напряжения, которые могут вывести прибор из строя.

Никогда не проводите измерение величины сопротивлений во включенных схемах.

Никогда не измеряйте емкость конденсаторов, не убедившись, что они полностью разряжены.

Будьте всегда осторожны при работе с напряжениями более 60 В или ~30 В. При проведении измерений держите пальцы за защитной кромкой щупов.

Мирянова Вера Николаевна

**ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ.
ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ
ПО ДИСЦИПЛИНЕ**

Часть 1

Методические указания

В авторской редакции

Изд. № 143/2021. Объем 3,5 п.л. Усл. печ. л. 3,25. Уч.-изд. л. 3,43.
РИИЦМ ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»