

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:  
ФИО: Баламирзоев Нагим Лидинович  
Должность: Врио ректора  
Дата подписания: 03.06.2022 14:07:06  
Уникальный программный ключ:  
777029a1882856141bfb9e855f0a3c8b6edae59e

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Дагестанский государственный технический университет  
(ДГТУ)  
Филиал в г. Дербенте

Кафедра «ЕГОиСД»

**УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ  
к выполнению лабораторных работ по Физике  
для студентов направления подготовки бакалавров  
09.03.03 Прикладная информатика**

Дербент 2020

Учебно-методические указания для лабораторных работ по физике  
Раздел «Электроника и электротехника»,  
для студентов направления подготовки бакалавров 09.03.03 Прикладная  
информатика, 2020г.- 69с.

Составители: К.ф.-м.н., старший преподаватель кафедры «ЕГО и СД»  
Ганиев А.С.  
Ст. преподаватель кафедры «ЕГО и СД» Агасиев А.Ш.

Рецензенты: к.т.н., ст. преподаватель КЭиП, Гасанов В.М.  
к.ф.-м.н. ст. преподаватель ДГТУ ФД кафедры ЕГО и СД Эмирбеков Э.Т.

## Содержание

Введение	4
1 Лабораторная работа №1 Ознакомление с электроизмерительными приборами и измерениями электрических величин	6
2 Лабораторная работа №2 Исследование сопротивлений резисторов при последовательном и параллельном соединениях	12
3 Лабораторная работа №3 Исследование сопротивлений проводников при смешанном соединении.	21
4 Лабораторная работа №4 Исследование законов Кирхгофа	29
5 Лабораторная работа №5 Электрическая цепь постоянного тока с двумя источниками электропитания	33
6 Лабораторная работа №6 Нелинейная электрическая цепь постоянного тока с последовательным соединением элементов	38
7 Лабораторная работа №7 Экспериментальное определение параметров элементов цепей переменного тока	41
8 Лабораторная работа №8 Электрическая цепь переменного тока с последовательным соединением элементов	45
9 Лабораторная работа №9 Элементы цепей переменного тока. Емкостное и индуктивное сопротивления, их зависимость от частоты переменного тока и параметров элементов.	48
10 Лабораторная работа №10 Исследование нелинейных цепей переменного тока.	51
11 Лабораторная работа №11 Исследование трехфазной цепи при соединении потребителей по схеме «звезда».	54
12 Лабораторная работа №12 Исследование трехфазной цепи при соединении потребителей по схеме «треугольник».	59
13 Лабораторная работа №13 Исследование работы полупроводниковых диодов.	62
14 Лабораторная работа №14 Исследование работы однополупериодного неуправляемого выпрямителя	66
Список литературы	69

## ВВЕДЕНИЕ

Цель выполнения лабораторных работ - привить студентам навыки самостоятельной работы с приборами, ознакомить с методами измерения изучаемых физических величин, научить правильно обработать полученные данные и оценить погрешность измерений.

“Методические указания к выполнению лабораторных работ по

« Электронике и электротехники” предназначены для студентов первого курса всех специальностей. Методические указания содержат описание четырнадцати лабораторных работ и охватывают основные разделы « Электронике и электротехники”:

- 1 Ознакомление с электроизмерительными приборами и измерениями электрических величин.
- 2 Исследование сопротивлений резисторов при последовательном и параллельном соединениях.
- 3 Исследование сопротивлений проводников при смешанном соединении.
- 4 Исследование законов Кирхгофа
- 5 Электрическая цепь постоянного тока с двумя источниками электропитания
- 6 Нелинейная электрическая цепь постоянного тока с последовательным соединением элементов
- 7 Экспериментальное определение параметров элементов цепей переменного тока
- 8 Электрическая цепь переменного тока с последовательным соединением элементов
- 9 Элементы цепей переменного тока. Емкостное и индуктивное сопротивления, их зависимость от частоты переменного тока и параметров элементов.
- 10 Исследование нелинейных цепей переменного тока.
- 11 Исследование трехфазной цепи при соединении потребителей по схеме «звезда».
- 12 Исследование трехфазной цепи при соединении потребителей по схеме «треугольник».
- 13 Исследование работы полупроводниковых диодов.
- 14 Исследование работы однополупериодного неуправляемого выпрямителя

Все лабораторные работы составлены по единой схеме. В начале каждой лабораторной работы дается теория изучаемого явления, затем приводится описание экспериментальной установки, их схемы, измерительные приборы, порядок выполнения работы и обработки полученных данных, порядок оформления отчета.

Обработка результатов измерений, построение графиков, оформление отчета студенты должны проводиться в часы, отведенные для самостоятельной работы.

Подготовку к лабораторным занятием студенты также должны проводить в часы, отведенные для самостоятельной работы. Для этого они должны составить конспект лабораторной работы, подготовить ответы на контрольные вопросы, приведенные в конце описания лабораторной работы. Перед выполнением лабораторной работы студент должен получить допуск к работе, для этого необходимо предъявить конспект лабораторной работы, ответить на все вопросы преподавателя, касающиеся данной работы.

При подготовке к лабораторным работам и к их защите, кроме данных методических указаний, рекомендуется использовать литературу, список которой приводится в конце методических указаний.

При работе в лаборатории необходимо соблюдать все требования инструкции по технике безопасности для работающих в учебных лабораториях. Включать лабораторную установку в сеть можно только с разрешения преподавателя или лаборанта.

Студенты, не выполнившие перечисленные требования, не допускаются к выполнению лабораторных работ или к их защите.

## Лабораторная работа №1

### Ознакомление с электроизмерительными приборами и измерениями электрических величин.

#### 1. Цель работы.

Изучение электроизмерительных приборов, используемых в лабораторных работах, выполняемых на стенде. Получение представлений о пределе измерения и цене деления, абсолютной и относительной погрешности, условиях эксплуатации и других характеристиках стрелочных электроизмерительных приборов, получение навыков работы с цифровыми измерительными приборами.

#### 2. Краткие теоретические сведения.

Контроль работы электрооборудования осуществляется с помощью разнообразных электроизмерительных приборов. Наиболее распространенными электроизмерительными приборами являются приборы непосредственного отсчета. По виду отсчетного устройства различают аналоговые (стрелочные) и цифровые измерительные приборы.

На лицевой стороне стрелочных приборов изображены условные обозначения, определяющие классификационную группу прибора. Они позволяют правильно выбрать приборы и дают некоторые указания по их эксплуатации.

В цепях постоянного тока для измерений токов и напряжений применяются в основном приборы магнитоэлектрической системы. Принцип действия таких приборов основан на взаимодействии магнитного поля постоянного магнита и измеряемого тока, протекающего по катушке. Угол поворота стрелки  $\alpha$  прямо пропорционален измеряемому току  $I$ :  $\alpha = K \times I$ . Шкалы магнитоэлектрических приборов равномерные.

В измерительных механизмах электромагнитной системы, применяемых для измерений в цепях переменного и постоянного тока, вращающий момент обусловлен действием магнитного поля измеряемого тока в неподвижной катушке прибора на подвижный ферромагнитный якорь. Угол поворота стрелки  $\alpha$  здесь пропорционален квадрату тока:  $\alpha = K \times 2I$ . Поэтому шкала электромагнитных приборов обычно неравномерная, что является недостатком этих приборов. Начальная часть шкалы не используется для измерений. Для измерений токов и напряжений в цепях переменного тока применяются также приборы выпрямительной системы. Такие приборы содержат выпрямительный преобразователь и магнитоэлектрический измерительный механизм. Они имеют более линейную шкалу, чем приборы электромагнитной системы и достаточно широкий частотный диапазон.

Для практического использования стрелочного измерительного прибора необходимо знать его предел измерений (номинальное значение) и цену деления (постоянную) прибора. **Предел измерений** – это наибольшее значение электрической величины, которое может быть

измерено данным прибором. Это значение обычно указано на лицевой стороне прибора. Один и тот же прибор может иметь несколько пределов измерений. Ценой деления прибора называется значение измеряемой величины, соответствующее одному делению шкалы прибора. Цена деления прибора - С легко определяется как отношение предела измерений  $A_{\text{НОМ}}$  к числу делений шкалы N:

$$C = A_{\text{НОМ}} / N.$$

На лицевой стороне стрелочных прибора указывается класс точности, который определяет приведенную относительную погрешность прибора  $\gamma_{\text{ПР}}$ .

**Приведенная относительная погрешность** прибора – это выраженное в процентах отношение максимальной для данного прибора абсолютной погрешности  $\Delta A$  к номинальному значению прибора (пределу измерений)  $A_{\text{НОМ}}$ :

$$\gamma_{\text{ПР}} = \frac{\Delta A}{A_{\text{НОМ}}} \cdot 100\%$$

Промышленность в соответствии с ГОСТ выпускает приборы с различными классами точности (0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1,5; 2,5; 4,0).

Зная класс точности прибора, можно определить абсолютную  $\Delta A$  и относительную погрешности измерения  $\gamma_{\text{ИЗМ}}$ , а также действительное значение измеряемой величины  $A_{\text{д}}$ :

$$\Delta A = \frac{\gamma_{\text{ПР}} \cdot A_{\text{НОМ}}}{100}; \quad \gamma_{\text{ИЗМ}} = \frac{100 \cdot \Delta A}{A}; \quad A_{\text{д}} = A \pm \Delta A.$$

Расчетную относительную погрешность измерения в любой точке шкалы прибора можно определить, полагая, что его допустимая абсолютная погрешность  $\Delta A$  известна и постоянна:

$$\gamma_{\text{ИЗМ}} = \frac{100 \cdot \Delta A}{A_{\text{ИЗМ}}},$$

где  $A_{\text{ИЗМ}}$  – условное измеренное значение величины, задаваемое в пределах шкалы прибора от минимального значения до номинального значения данного прибора. Обратить внимание на значение относительной погрешности измерения, соответствующее предельному значению измеряемой величины, и сравнить его с классом точности прибора.

Нетрудно сделать вывод, что относительная погрешность измерения тем больше, чем меньше измеряемая величина по сравнению с номинальным значением прибора. Поэтому желательно не пользоваться при измерении начальной частью шкалы стрелочного прибора.

Для обеспечения малой методической погрешности измерения необходимо, чтобы сопротивление амперметра было значительно меньше сопротивления нагрузки, а сопротивление вольтметра было значительно больше сопротивления исследуемого участка.

В табл. 1 приведены некоторые условные обозначения, приводимые на лицевых панелях стрелочных измерительных приборов, определяющие их свойства и условия эксплуатации.

При проведении измерений в электрических цепях широкое применение получили цифровые измерительные приборы, например мультиметры – комбинированные цифровые измерительные приборы, позволяющие измерять постоянное и переменное напряжение, постоянный и переменный ток, сопротивления, проверять диоды и транзисторы. Представление результата измерения происходит на цифровом отсчетном устройстве в виде обычных удобных для считывания десятичных чисел. Наибольшее распространение в цифровых отсчетных устройствах мультиметров получили жидкокристаллические и светодиодные индикаторы. В лабораторном стенде используются цифровые приборы для измерения постоянных и переменных токов, а также цифровой измеритель мощности. Для переключения режима работы цифровых амперметров стенда (РА1, РА2, РА3 и РА4) на его передней панели установлен тумблер, который для измерения постоянного тока следует установить в позицию «=», для измерения действующих значений переменных токов – в позицию «~». Для измерения постоянного тока входная клемма (+) цифрового амперметра выделена красным цветом.

Цифровой измеритель мощности предназначен для измерения параметров электрической цепи:

- действующего значения напряжения  $U$  (True RMS) в диапазоне 0...30 В;
- действующего значения тока  $I$  (True RMS) в диапазоне 0...300 мА;
- активной мощности  $P$  в диапазоне 0...600 Вт;
- частоты  $f$  в диапазоне 35...400 Гц;
- $\cos \phi$ ;
- угла сдвига фаз  $\phi$  ( $\phi_i$ ) между током и напряжением.

Таблица 1

Условное графическое обозначение	Содержание условного обозначения
A, V, W, Ω, Hz, cosφ, F, H	Наименование измеряемой величины (ампер, вольт, ватт, ом, герц, коэффициент мощности, фарада, генри)
	Магнитоэлектрический измерительный механизм
	Электромагнитный измерительный механизм
	Магнитоэлектрический измерительный механизм с выпрямителем
0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1,5; 2,5; 4,0	Класс точности прибора
	Рабочее положение шкалы прибора: горизонтальное; вертикальное; под углом, например 60°
	Прибор предназначен для работы в цепи постоянного тока; переменного тока; постоянного и переменного; в трехфазной цепи переменного тока
A B B1; B2; B3	A (или отсутствие буквы) – прибор для сухих отапливаемых помещений с температурой +10°C ...+35°C и влажности до 80% при 30°C; B – прибор для закрытых не отапливаемых помещений с температурой - 30°C ...+40°C и влажности до 90% при 30°C; B – приборы для полевых и морских условий: B1 – при температуре -40°C ... +50°C и B2 – при температуре -50°C ... +60°C и влажности до 95% при 35°C; B3 – при температуре -40°C ... +50°C и влажности до 98% при 40°C
	Измерительная цепь прибора изолирована от корпуса и испытана напряжением, например, 2 кВ
30 – 200 Hz	Рабочий частотный диапазон прибора

Прибор содержит:

– клеммы подачи входного измеряемого сигнала (генератора): клемму «Вх» и общую клемму, клеммы подключения потребителя (нагрузки): клемму «Вых» и общую клемму. Шунт для измерения тока нагрузки подключен между клеммами «Вх» и «Вых»;

– жидкокристаллический четырехстрочный индикатор для вывода информации;

– кнопку « $f/\cos\phi/\phi$ » изменения вывода информации в четвертой строке индикатора (соответственно, частоты, коэффициента мощности  $\cos\phi$  или угла сдвига фаз  $\phi$  между током и напряжением).

С задней стороны прибора установлены розетка для подключения питания сети и колодка предохранителя.

С помощью кнопки « $f/\cos\phi/\phi$ » можно изменять вывод информации в четвертой строке индикатора. Для вывода требуемого параметра в четвертой строке индикатора кнопку необходимо нажать на 1...2 секунды.

***Изменения схемы подключения прибора и лабораторной установки выполнять при выключенном питании прибора.*** В противном случае возможны изменения показаний прибора, а также возникновение нарушений в работе индикатора прибора.

### 3. Порядок выполнения работы.

3.1. Изучение паспортных характеристик стрелочных электроизмерительных приборов. Для этого внимательно рассмотреть лицевые панели стрелочных амперметров и заполнить табл. 2.

Таблица 2

<b>Характеристика электроизмерительного прибора</b>		
<b>Наименование прибора</b>	<b>Вольтметр №1</b>	<b>Вольтметр №2</b>
Система измерительного механизма		
Предел измерения		
Цена деления		
Минимальное значение измеряемой величины		
Класс точности		
Допустимая максимальная абсолютная погрешность		
Род тока		
Нормальное положение шкалы		
Прочие характеристики		

3.2. Построить график зависимости относительной погрешности измерения от измеряемой величины  $\gamma_{\text{изм}} = f(A_{\text{изм}})$  для прибора, указанного преподавателем. Сделать вывод о величине относительной погрешности измерения в начальной и конечной части шкалы, о характере изменения погрешности вдоль шкалы прибора.

3.3. Измерить величину сопротивления, заданного преподавателем, методом амперметра и вольтметра. Для этого собрать электрическую цепь по рис. 1. Установить тумблер режима работы измерителя тока в позицию «=».

После проверки схемы, включить электропитание и занести полученные данные в табл. 3. Выключить электропитание. Рассчитать, используя закон Ома, величину заданного сопротивления  $R$ . Результат занести в табл. 3.

Таблица 3

U, В	I, мА	R, Ом

#### 4. Содержание отчета

Отчет по работе должен содержать:

- а) наименование работы и цель работы;
- б) технические данные измерительных приборов;
- в) график зависимости относительной погрешности измерений  $\gamma_{\text{изм}} = f(A_{\text{изм}})$ ;
- г) результаты измерений;
- д) выводы по работе.

#### 5. Контрольные вопросы

1. Каков принцип действия приборов магнитоэлектрической и электромагнитной систем?
2. Что такое предел измерения?
3. Как определяется цена деления прибора?
4. Что такое абсолютная и относительная погрешности измерения?
5. Что характеризует класс точности прибора?
6. В какой части шкалы прибора измерение точнее и почему?
7. Каковы основные достоинства цифровых измерительных приборов?
8. Как можно измерить величину сопротивления резистора?

## Лабораторная работа №2

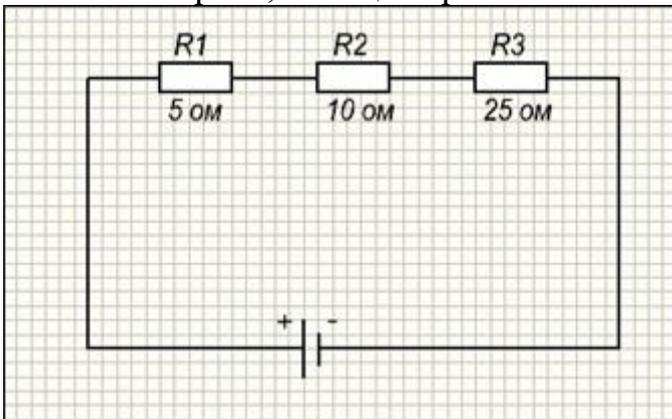
### Исследование сопротивлений резисторов при последовательном и параллельном соединениях.

Цель работы: Опытом проверить закономерности электрической цепи при последовательном и параллельном соединениях резисторов.

#### 1. Пояснение к работе

##### Краткие теоретические сведения

Последовательным соединением сопротивлений называется такое соединение, при котором конец первого сопротивления соединяется с началом второго, конец второго - с началом третьего и т. д.



Общее сопротивление последовательно соединенных резисторов равно сумме их сопротивлений.

$$R_{\text{общ.}} = R_1 + R_2 + R_3$$

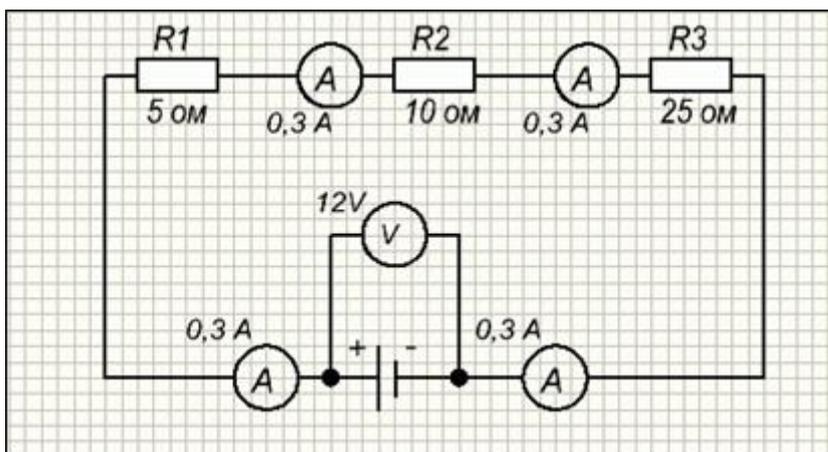
$$R_{\text{общ.}} = 5\text{ом} + 10\text{ом} + 25\text{ом} = 40\text{ом}$$

##### Величина тока в последовательной цепи

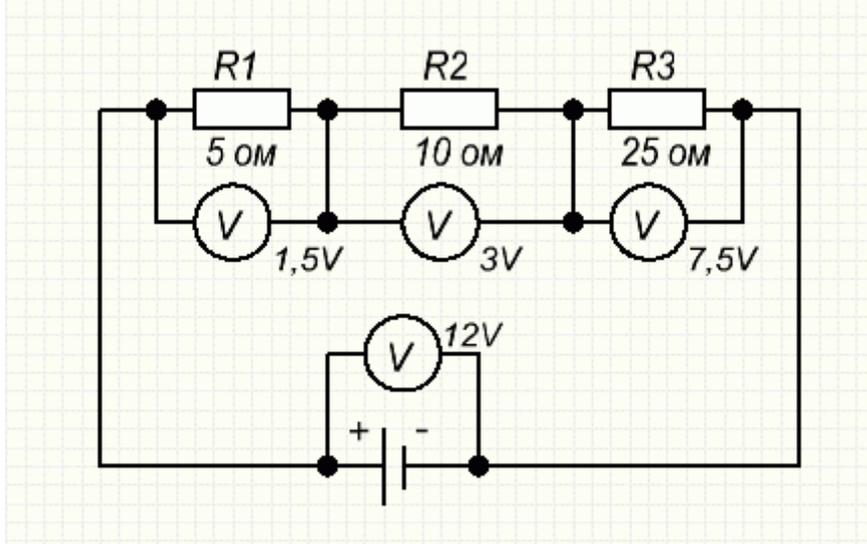
Так как в данной цепи отсутствует ответвление тока, то очевидно, что количество электричества, протекающее через поперечное сечение проводника за единицу времени, в любой точке цепи будет одинаковым.

Следовательно во всех точках последовательной цепи величина тока одинакова.

Эти четыре амперметра покажут одинаковые величины тока. Поэтому при последовательном соединении для измерения тока достаточно включить один амперметр на любом участке цепи.



### Распределение напряжения в последовательной цепи



Напряжение источника тока приложенное к внешнему участку цепи распределяется по участкам цепи прямо пропорционально сопротивлениям этих участков. Напряжение приложенное к каждому из этих резисторов определяется по формуле:

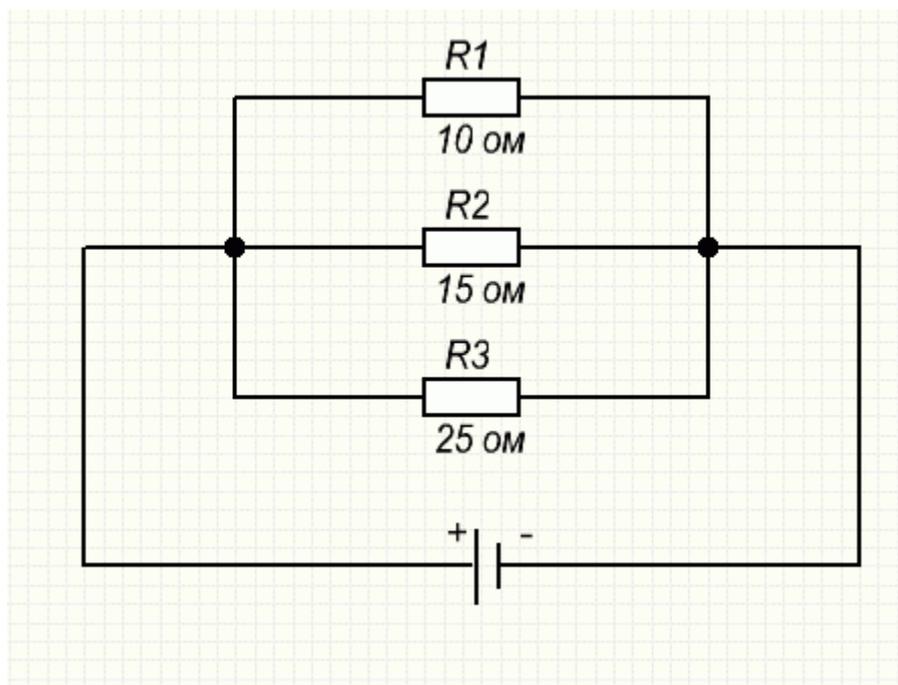
$$U=I \cdot R$$

Так как ток в последовательной цепи везде одинаков значит действительно напряжение на ее участках зависит от сопротивления чем больше сопротивление тем большее напряжение приложено к данному участку.

Сумма напряжений на участках последовательной цепи равна напряжению источника тока

$$U=U_1 + U_2 + U_3; \quad 12=1,5 + 3 + 7,5$$

Параллельным соединением сопротивлений называется такое соединение, при котором к одному зажиму источника подключаются начала сопротивлений, а к другому зажиму - концы.



Общее сопротивление параллельно включенных сопротивлений определяется по формуле:

$$\frac{1}{R_{\text{общ}}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_n}$$

Общее сопротивление параллельно включенных сопротивлений всегда меньше наименьшего сопротивления, входящего в данное соединение.

На вышеуказанном рисунке мы можем сразу сказать что общее сопротивление будет меньше 10 ом.

Первый частный случай

Если параллельно включено только два резистора то их общее сопротивление можно определить по формуле:

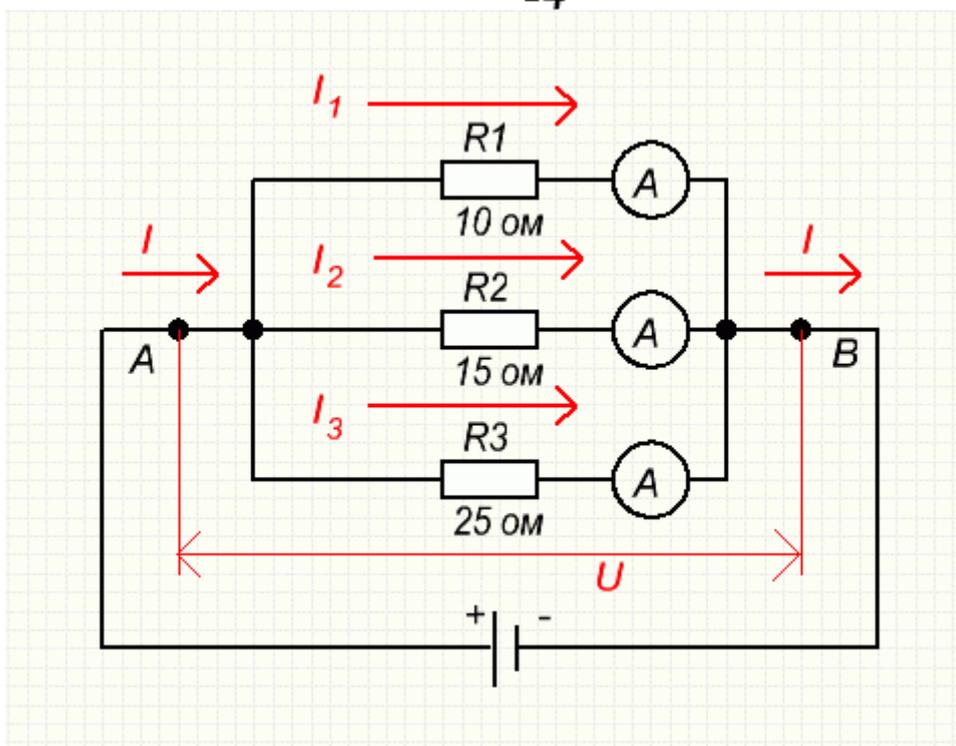
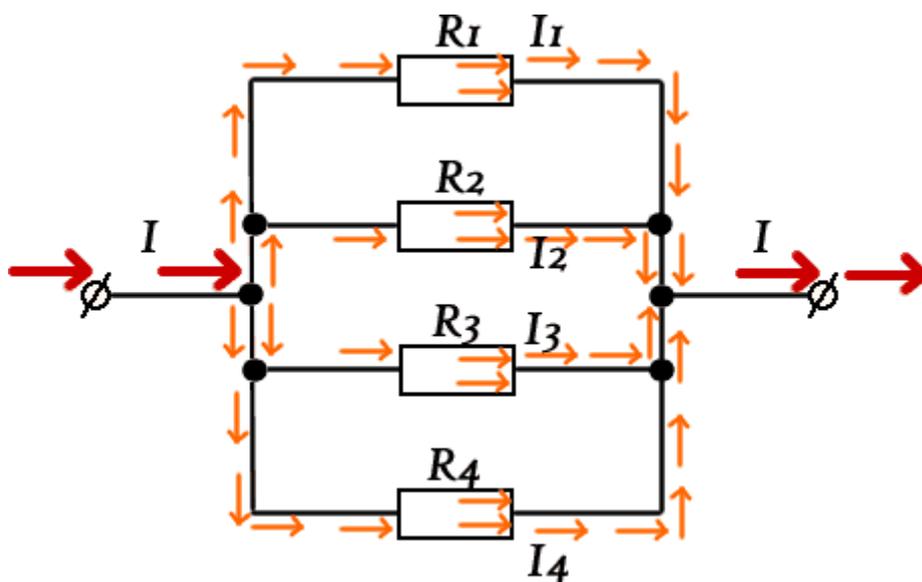
$$R_{\text{общ}} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$$

Второй частный случай

Если параллельно включено любое количество резисторов одинаковых сопротивлений то их общее сопротивление можно определить если сопротивление одного резистора разделить на количество резисторов.

$$R_{\text{общ}} = \frac{R_1}{n}$$

Распределение токов и напряжения в параллельных ветвях



Так как начала всех сопротивлений сведены в одну общую точку, а концы - в другую, то очевидно, что разность потенциалов на концах любого из параллельно включенных сопротивлений равна разности потенциалов между

общими точками.

Итак, при параллельном соединении сопротивлений напряжения на них равны между собой.

$$U_1 = U_2 = U_3$$

Если разветвление подключено непосредственно к зажимам источника тока, то напряжение на каждом из сопротивлений равно напряжению на зажимах источника.

$$U_1 = U_2 = U_3 = U$$

Второе свойство цепи с параллельным соединением заключается в том, что электрический ток распределяется по параллельным ветвям обратно пропорционально их сопротивлениям.

Это значит что, чем больше сопротивление, тем меньше по нему пойдет ток.

$$I = \frac{U}{R}$$

Рассматривая точку разветвления А, замечаем, что к ней притекает ток I, а токи I<sub>1</sub>, I<sub>2</sub>, I<sub>3</sub> утекают из нее. Так как движущиеся электрические заряды не скапливаются в точке, то очевидно, что суммарный заряд, притекающий к точке разветвления, равен суммарному заряду утекающему от нее:

$$I = I_1 + I_2 + I_3$$

Следовательно, третье свойство параллельного соединения может сформулирована так:

Величина тока в не разветвленной части цепи равна сумме токов в параллельных ветвях.

## 2. Техническое задание

2.1. Собрать электрическую цепь последовательного соединения резисторов (рисунок 1)

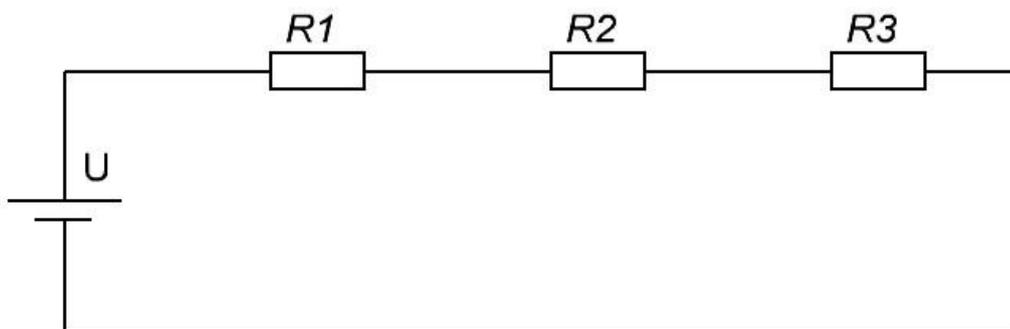


Рисунок 1. Схема электрическая принципиальная.

2.2.Собрать электрическую цепь параллельного соединения резисторов (рисунок 2)

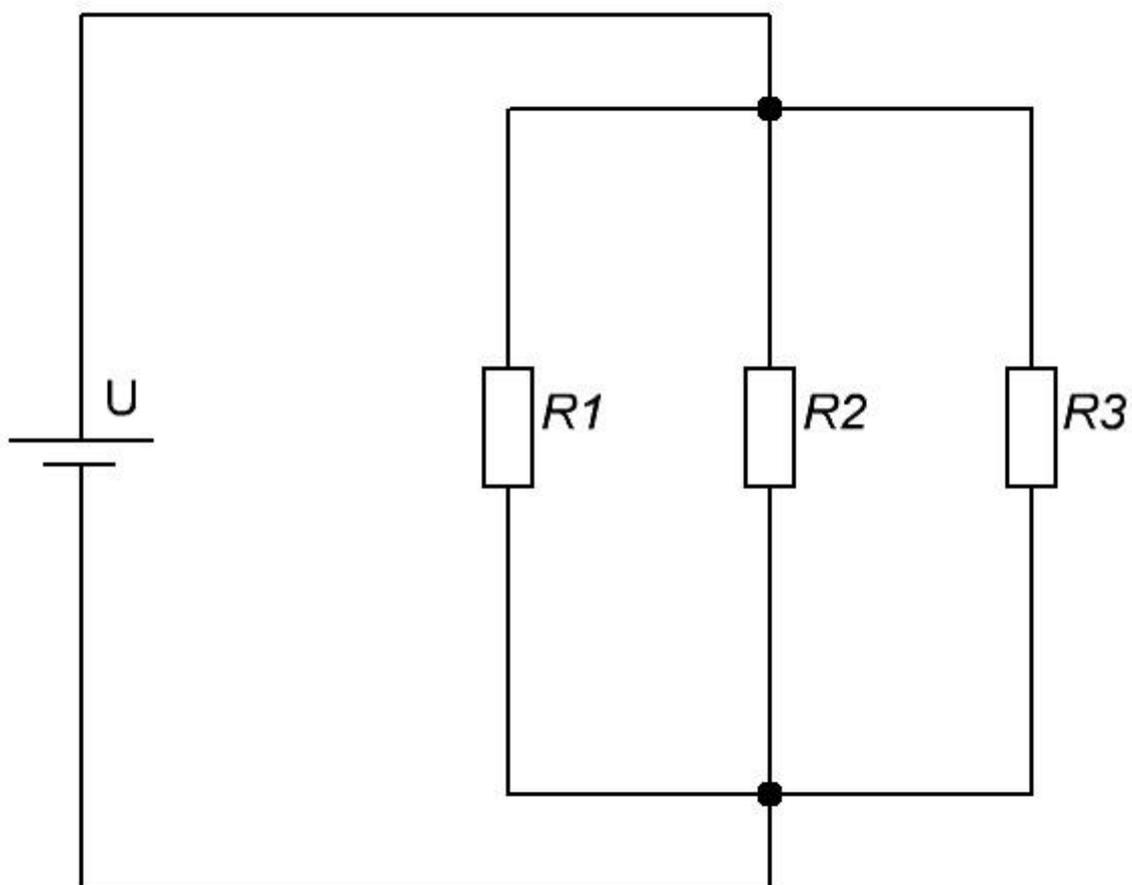


Рисунок 2. Схема электрическая принципиальная.

2.3.Снять показания приборов и записать их в таблицу

2.4.Произвести расчеты

2.5. Построить графики

2.6. Ответить на контрольные вопросы

2.7. Сделать вывод

3. Работа в лаборатории

3.1. Исследование последовательного соединения резисторов

3.1.1 Собрать схему (Рисунок 3).

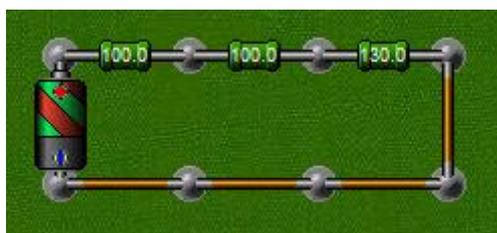


Рисунок 3. Схема исследования.

3.1.2 Установить на схеме величины  $R_1=100 \text{ Ом} + N$ ,  $R_2=100 \text{ Ом} + 2N$  и  $R_3=130 \text{ Ом} + 4N$ ,

где  $N$  - номер студента по журналу (мощность резисторов 1 Вт).

3.1.3. Включить источник и установить напряжение  $U=15 \text{ В}$ ,  $24 \text{ В}$ .

3.1.4. Измерить величину тока, протекающего в цепи и занести значение в таблицу 1.

3.1.5. Измерить напряжение на каждом резисторе и записать в таблицу 1.

3.1.6. Измерить сопротивление каждого резистора и записать в таблицу 1.

3.1.7. Отключить схему.

3.1.8. Рассчитать сопротивление резисторов по формулам:

$$R_1 = \frac{U_1}{I}; R_2 = \frac{U_2}{I}; R_3 = \frac{U_3}{I}$$

Таблица 1 - Измеренные параметры

№измерения	Измерением									Расчетом			
	U	I	U <sub>1</sub>	U <sub>2</sub>	U <sub>3</sub>	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	R <sub>Э</sub>	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	R <sub>Э</sub>
	В	А	В	В	В	Ом							
1	15												
2	24												

3.2. Исследование параллельного соединения реисторов

3.2.1. Собрать схему (Рисунок 4).

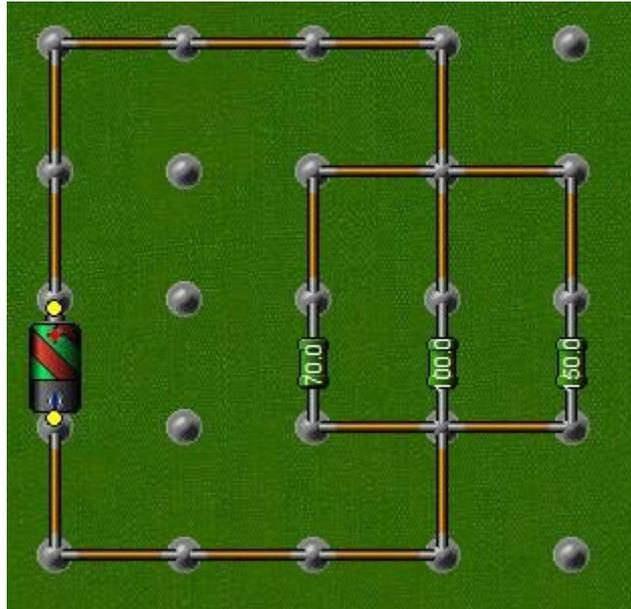


Рисунок 4. Схема исследования.

- 3.2.2. Установить на схеме величины  $R_1=70 \text{ Ом} + N$ ,  $R_2=100 \text{ Ом} + N$  и  $R_3=150 \text{ Ом} + N$ , где  $N$  - номер студента по журналу (мощность резисторов более 1 Вт).
- 3.2.3. Включить источник и установить напряжение  $U=15 \text{ В}$ ,  $24 \text{ В}$ .
- 3.2.4. Измерить величину тока, протекающего во всей цепи и занести значение в таблицу 2.
- 3.2.5. Измерить величину тока, протекающего в каждом резисторе и записать в таблицу 2.
- 3.2.6. Рассчитать проводимость каждого резистора и записать в таблицу 2 (установкой):

$$g_1 = \frac{1}{R_1}; g_2 = \frac{1}{R_2}; g_3 = \frac{1}{R_3}; g_g = g_1 + g_2 + g_3; R_g = \frac{1}{g_g}$$

- 3.2.7. Рассчитать проводимость каждого резистора через ток и напряжение и записать в таблицу 2 (расчетом):

$$g_1 = \frac{I_1}{U}; g_2 = \frac{I_2}{U}; g_3 = \frac{I_3}{U}; g_g = \frac{I}{U}; R_g = \frac{1}{g_g}$$

### 3.2.8. Отключить схему.

Таблица 2 - Измеренные параметры

№ измер.	Измерением					Установкой					Расчетом				
	U	I	I <sub>1</sub>	I <sub>2</sub>	I <sub>3</sub>	g <sub>1</sub>	g <sub>2</sub>	g <sub>3</sub>	g <sub>3</sub>	R <sub>3</sub>	g <sub>1</sub>	g <sub>2</sub>	g <sub>3</sub>	g <sub>3</sub>	R <sub>3</sub>
	A	A	A	A	A	См	См	См	См	Ом	См	См	См	См	Ом
1	15														
2	24														

#### 4. Содержание отчета

- 4.1. Название и цель работы
- 4.2. Схемы
- 4.3. Таблицы
- 4.4. Расчеты по формулам
- 4.5. Ответы на контрольные вопросы
- 4.6. Вывод

#### 5. Контрольные вопросы

- 5.1. Какое соединение резисторов называют последовательным?
- 5.2. Как определить общее сопротивление резисторов при последовательном соединении?
- 5.3. Что называется проводимостью и в каких единицах она измеряется?
- 5.4. Чему равен общий ток цепи и напряжение на участках при последовательном соединении?
- 5.5. Как определяется мощность на участках цепи и всей цепи при последовательном соединении?
- 5.6. Какое соединение резисторов называют параллельным?
- 5.7. Как определить общее сопротивление резисторов при параллельном соединении?
- 5.8. Чему равен общий ток цепи и напряжение на участках при параллельном соединении?
- 5.9. Как определяется мощность на участках цепи и всей цепи при параллельном соединении?

## Лабораторная работа №3

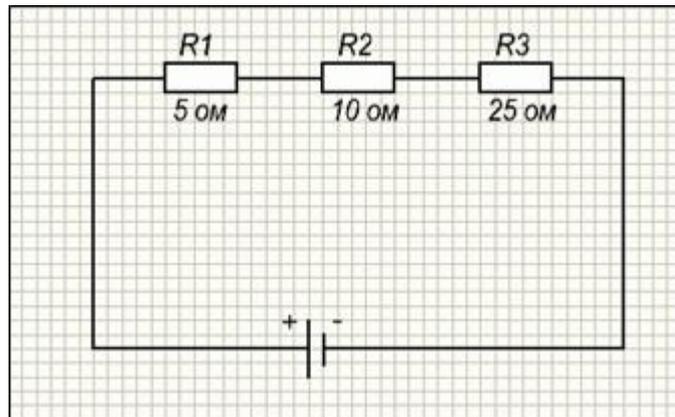
Исследование сопротивлений проводников при смешанном соединении.

### 1. Цель работы.

Получение навыков сборки электрических цепей, измерений токов и напряжений на отдельных участках электрической цепи; убедиться в соблюдении законов Кирхгофа в разветвленной линейной электрической цепи; научиться применять законы Кирхгофа в графическом виде. Исследовать особенности смешанного соединения элементов в электрических цепях постоянного тока.

### 2. Краткие теоретические сведения.

Последовательным соединением сопротивлений называется такое соединение, при котором конец первого сопротивления соединяется с началом второго, конец второго - с началом третьего и т. д.



Общее сопротивление последовательно соединенных резисторов равно сумме их сопротивлений.

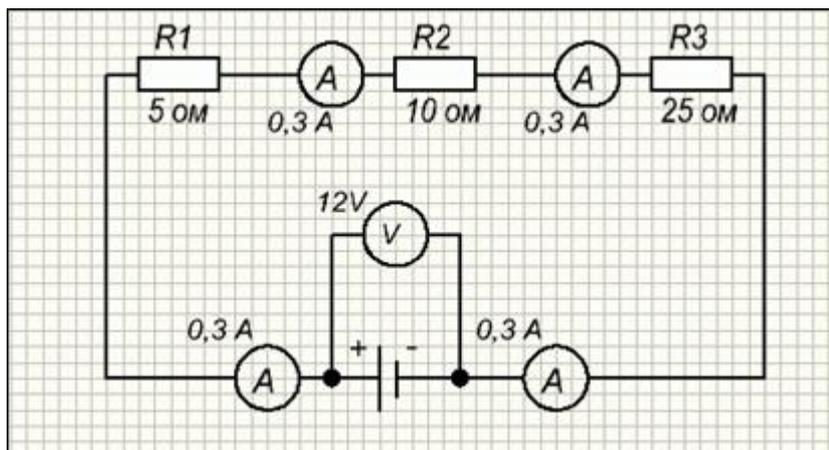
$$R_{\text{общ.}} = R_1 + R_2 + R_3$$

$$R_{\text{общ.}} = 5\text{ом} + 10\text{ом} + 25\text{ом} = 40\text{ом}$$

*Величина тока в последовательной цепи.*

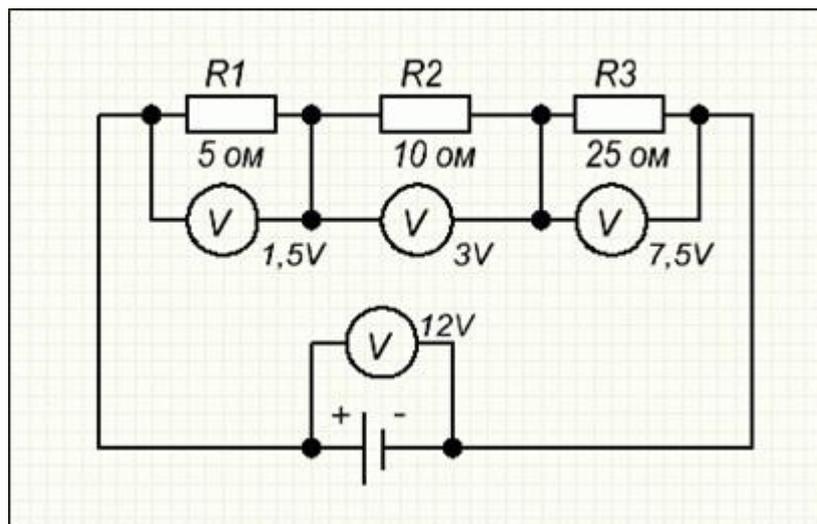
Так как в данной цепи отсутствует ответвление тока, то очевидно, что количество электричества, протекающее через поперечное сечение проводника за единицу времени, в любой точке цепи будет одинаковым.

Следовательно, во всех точках последовательной цепи величина тока одинакова.



Эти четыре амперметра покажут одинаковые величины тока. Поэтому при последовательном соединении для измерения тока достаточно включить один амперметр на любом участке цепи.

*Распределение напряжения в последовательной цепи.*



Напряжение источника тока, приложенное к внешнему участку цепи распределяется по участкам цепи прямо пропорционально сопротивлениям этих участков.

Напряжение приложенное к каждому из этих резисторов определяется по формуле:

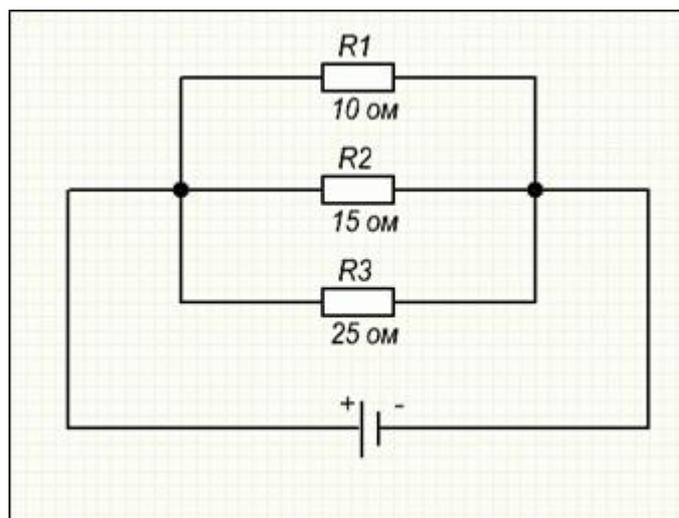
$$U=I \cdot R$$

Так как ток в последовательной цепи везде одинаков значит действительно напряжение на ее участках зависит от сопротивления чем больше сопротивление тем большее напряжение приложено к данному участку.

Сумма напряжений на участках последовательной цепи равна напряжению источника тока:

$$U = U_1 + U_2 + U_3; \quad 12 = 1,5 + 3 + 7,5$$

Параллельным соединением сопротивлений называется такое соединение, при котором к одному зажиму источника подключаются начала сопротивлений, а к другому зажиму - концы.



Общее сопротивление параллельно включенных сопротивлений определяется по формуле:

$$\frac{1}{R_{\text{общ}}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_n}$$

Общее сопротивление параллельно включенных сопротивлений всегда меньше наименьшего сопротивления, входящего в данное соединение.

На вышеуказанном рисунке мы можем сразу сказать что общее сопротивление будет меньше 10 ом.

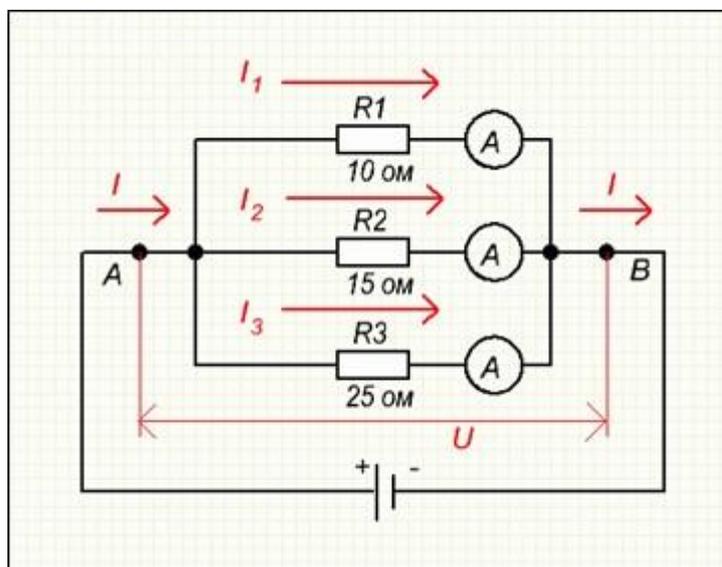
Первый частный случай: Если параллельно включено только два резистора то их общее сопротивление можно определить по формуле:

$$R_{\text{общ}} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$$

Второй частный случай: Если параллельно включено любое количество резисторов одинаковых сопротивлений то их общее сопротивление можно определить если сопротивление одного резистора разделить на количество резисторов.

$$R_{\text{общ}} = \frac{R_1}{n}$$

*Распределение токов и напряжения в параллельных ветвях.*



Так как начала всех сопротивлений сведены в одну общую точку, а концы - в другую, то очевидно, что разность потенциалов на концах любого из параллельно включенных сопротивлений равна разности потенциалов между общими точками.

Итак, при параллельном соединении сопротивлений напряжения на них равны между собой.

$$U_1 = U_2 = U_3$$

Если разветвление подключено непосредственно к зажимам источника тока, то напряжение на каждом из сопротивлений равно напряжению на зажимах источника.

$$U_1 = U_2 = U_3 = U$$

Второе свойство цепи с параллельным соединением заключается в том, что электрический ток распределяется по параллельным ветвям обратно пропорционально их сопротивлениям.

Это значит что, чем больше сопротивление, тем меньше по нему пойдет ток.

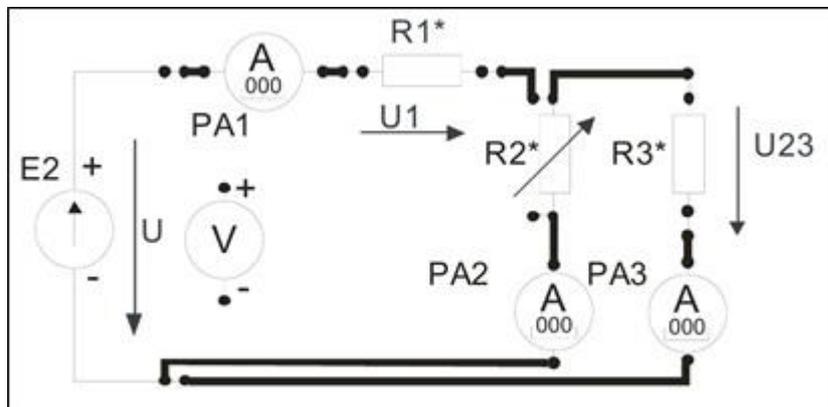
$$I = \frac{U}{R}$$

Рассматривая точку разветвления А, замечаем, что к ней притекает ток I, а токи I<sub>1</sub>, I<sub>2</sub>, I<sub>3</sub> утекают из нее. Так как движущиеся электрические заряды не скапливаются в точке, то очевидно, что суммарный заряд, притекающий к точке разветвления, равен суммарному заряду, утекающему от нее:

$$I = I_1 + I_2 + I_3$$

Следовательно, третье свойство параллельного соединения может сформулирована так: Величина тока в не разветвленной части цепи равна сумме токов в параллельных ветвях.

### 3. Порядок выполнения работы.



3.1. Собрать цепь со смешанным соединением резисторов (рис. 1). Собрать

цепь со смешанным соединением резисторов, выбрав элементы цепи и величину напряжения питания в соответствии с заданным вариантом (табл. 1).

Таблица 1

Варианты	1	2	3	4	5	6
<b>E2, В</b>	12	10	8	12	10	8
<b>R1</b>	R2	R3	R2	R3	R2	R3
<b>R2</b>	R4-1	R4-1	R4-1	R4-2	R4-2	R4-3
<b>R3</b>	R7	R7	R7	R9	R9	R9

3.2. После проверки схемы преподавателем -включить источник питания E2, установить заданное значение величины напряжения питания и измерить напряжения на входе цепи U и на всех участках цепи (U1 и U2), а также все токи (I1, I2 и I3). Результаты занести в табл. 2.

3.3. С помощью соответствующего тумблера установить новое значение резистора R2 и снова измерить напряжения и токи в цепи. Выключить источник питания E2. По результатам измерений вычислить мощность

каждого участка цепи  $P_1$ ,  $P_2$ ,  $P_3$  и всей цепи  $P$ , определить эквивалентное сопротивление цепи  $R_{\Sigma}$ , Результаты вычислений занести в табл. 2. Выключить электропитание.

3.4. Проанализировать влияние изменения величины сопротивления резистора  $R_2$  на режим работы всей цепи и отдельных потребителей. Объяснить, почему это имеет место.

Таблица 2.

№ опыта	Измерено						Вычислено				
	U	U <sub>1</sub>	U <sub>2.3</sub>	I <sub>1</sub>	I <sub>2</sub>	I <sub>3</sub>	P <sub>1</sub>	P <sub>2</sub>	P <sub>3</sub>	P	R <sub>эк</sub>
	В	В	В	А	А	А	Вт	Вт	Вт	Вт	Ом
1											
2											
3											

3.5. Проверить выполнение баланса мощностей.

3.6. Включить электропитание. Плавно изменяя величину входного напряжения с помощью потенциометра, измерить значения напряжения и токов на всех участках цепи при трех различных значениях входного напряжения. Результаты измерений занести в табл. 3. Выключить электропитание.

Таблица 3.

№ опыта	U	U <sub>1</sub>	U <sub>2.3</sub>	I <sub>1</sub>	I <sub>2</sub>	I <sub>3</sub>
	В	В	В	А	А	А
1						
2						
3						

3.7. По результатам измерений построить в одной координатной системе вольтамперные характеристики резисторов  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$ . Пользуясь ими, построить вольтамперную характеристику всей цепи  $U_{вх} = f(I_1)$  и по ней определить эквивалентное сопротивление цепи  $R_{экв}$ . Здесь же построить экспериментальную вольтамперную характеристику цепи  $U_{вх} = f(I_1)$ , сравнить её с расчетной вольтамперной характеристикой всей цепи

#### 4. Содержание отчета

Отчет по работе должен содержать:

- а) наименование работы и цель работы;
- б) схемы экспериментов и таблицы полученных экспериментальных данных;
- в) результаты расчетов;
- г) выводы по работе.

#### 5. Контрольные вопросы

1. Как по показаниям амперметра и вольтметра можно определить величину сопротивления участка электрической цепи постоянного тока и потребляемую им мощность?
2. Нарисуйте схемы для измерения методом амперметра и вольтметра больших и малых электрических сопротивлений.
3. Как определить величину эквивалентного сопротивления для исследуемой цепи?
5. Как по вольтамперной характеристике определить величину сопротивления цепи?

## Лабораторная работа №4

### Исследование законов Кирхгофа

**Цель работы:** опытным путем проверить справедливость законов Кирхгофа.

#### 1. Пояснение к работе

Краткие теоретические сведения

Законы Кирхгофа (или правила Кирхгофа) — соотношения, которые выполняются между токами и напряжениями на участках любой электрической цепи. Правила Кирхгофа позволяют рассчитывать любые электрические цепи постоянного и квазистационарного тока. Имеют особое значение в электротехнике из-за своей универсальности, так как пригодны для решения многих задач теории электрических цепей. Применение правил Кирхгофа к линейной цепи позволяет получить систему линейных уравнений относительно токов, и соответственно, найти значение токов на всех ветвях цепи. Сформулированы Густавом Кирхгофом в 1845 году.

Для формулировки законов Кирхгофа, в электрической цепи выделяются узлы — точки соединения трёх и более проводников и контуры — замкнутые пути из проводников. При этом каждый проводник может входить в несколько контуров.

В этом случае законы формулируются следующим образом.

#### Первый закон

Первый закон Кирхгофа (Закон токов Кирхгофа, ЗТК) гласит, что алгебраическая сумма токов в любом узле любой цепи равна нулю (значения вытекающих токов берутся с обратным знаком).

Иными словами, сколько тока втекает в узел, столько из него и вытекает. Данный закон следует из закона сохранения заряда. Если цепь содержит  $p$  узлов, то она описывается  $p - 1$  уравнениями токов. Этот закон может применяться и для других физических явлений (к примеру, водяные трубы), где есть закон сохранения величины и поток этой величины.

#### Второй закон

Второй закон Кирхгофа (Закон напряжений Кирхгофа, ЗНК) гласит, что алгебраическая сумма падений напряжений по любому замкнутому контуру

цепи равна алгебраической сумме ЭДС, действующих вдоль этого же контура. Если в контуре нет ЭДС, то суммарное падение напряжений равно нулю.

Иными словами, при обходе цепи по контуру, потенциал, изменяясь, возвращается к исходному значению.

## 2. Техническое задание

2.1. Собрать схему исследования (Рисунок 1).

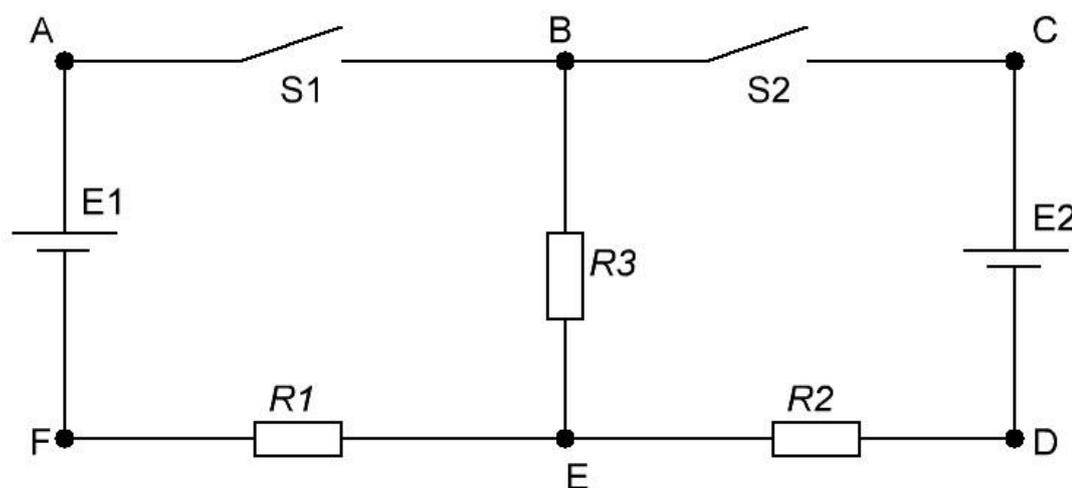


Рисунок 1 - Схема электрическая принципиальная.

2.2. Снять показания и занести их в отчёт.

2.3. Произвести расчёты.

2.4. Сделать вывод о проделанной работе.

## 3. Работа в лаборатории

3.1. Собрать схему (Рисунок 2).

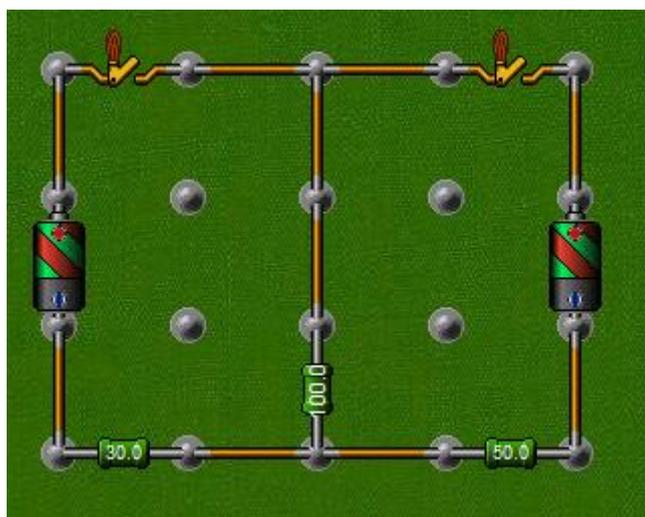


Рисунок 2 - Схема исследования.

3.2. Установить ЭДС батареек по 5В.

**3.3. Установить сопротивления резисторов  $R_1 = 30 \text{ Ом} + N$ ,  $R_2 = 50 \text{ Ом} + N$ ,  $R_3 = 100 \text{ Ом} + N$ , где  $N$  - номер студента по журналу.**

3.4. При выключенном ключе  $S_2$  замкнуть ключ  $S_1$  и измерить токи  $I_1$  и  $I_3$ . Записать их в таблицу.

3.5. При выключенном ключе  $S_1$  и замкнутом  $S_2$  измерить токи  $I_2$  и  $I_3$ . Записать их в таблицу.

3.6. Замкнуть оба ключа  $S_1$  и  $S_2$ . Записать показания всех амперметров  $I_1$ ,  $I_2$ ,  $I_3$  в таблицу.

3.7. Для контура  $ABEFA$  составить уравнение по второму закону Кирхгофа и определить  $R_{01}$ .

3.8. Для контура  $BCDEB$  составить уравнение по второму закону Кирхгофа и определить  $R_{02}$ .

3.9. Составить уравнение для контура  $ABCDEF A$  и проверить справедливость первого закона.

3.10. Сделать вывод по результатам работы.

Таблица 1 - Измеренные параметры

№ п/п	E1	E2	I1	I2	I3	Ro1	Ro2	R1	R2	R3
	B	B	A	A	A	Ом	Ом	Ом	Ом	Ом
1	5	6		-						
2	6	7	-							
3	7	8								

#### **4. Содержание отчета.**

- 4.1. Название и цель работы
- 4.2. Схемы
- 4.3. Таблицы
- 4.4. Ответы на контрольные вопросы
- 4.5. Вывод

#### **5.Контрольные вопросы.**

- 5.1. Что называется ветвью узлом и контуром?
- 5.2. Как читается первый закон Кирхгофа?
- 5.3. К какому участку электрической цепи он применим?
- 5.4. Как читается второй закон Кирхгофа?
- 5.5. К какому участку электрической цепи он применим?

## Лабораторная работа №5

### Электрическая цепь постоянного тока с двумя источниками электропитания

#### 1. Цель работы.

Экспериментальная проверка результатов аналитического расчета линейной электрической цепи с двумя источниками электропитания.

#### 2. Краткие теоретические сведения.

Ток в цепи, состоящей из двух источников с ЭДС  $E_1$  и  $E_2$  (Рис. 1) и внутренними сопротивлениями  $r_{o1}$  и  $r_{o2}$  и резистора с сопротивлением  $R$ , можно определить по принципу наложения токов. Согласно этому принципу ток в цепи равен алгебраической сумме токов, создаваемых в ней двумя источниками питания (или несколькими) действующими независимо друг от друга, если сопротивления всех участков цепи постоянны, т. е. не зависят от тока (линейная цепь).

При действии только первого источника ЭДС  $E_1$  ток в цепи:

$$I_1 = \frac{E_1}{R + r_{o1} + r_{o2}}$$

Направление этого тока в первом источнике совпадает с направлением ЭДС  $E_1$ .

При действии только второго источника ЭДС  $E_2$  ток в цепи:

$$I_2 = \frac{E_2}{R + r_{o1} + r_{o2}}$$

Направление этого тока во втором источнике совпадает с направлением ЭДС  $E_2$ .

Так как ЭДС  $E_1$  и  $E_2$  в контуре, образованном элементами цепи, направлены встречно, то ток  $I$  при действии обеих ЭДС равен разности токов  $I_1$  и  $I_2$ :

$$I = I_1 - I_2 = \frac{E_1 - E_2}{R + r_{o1} + r_{o2}}$$

При равенстве ЭДС  $E_1$  и  $E_2$  ток в цепи равен нулю. Следовательно, ток в цепи возникает только при  $E_1 \neq E_2$ . Направление тока  $I$  совпадает с направлением большей ЭДС. При  $E_1 > E_2$  направление тока совпадает с направлением  $E_1$  и противоположно направлению  $E_2$ , как принято на рис. 1 и в формуле. Электродвижущая сила  $E_2$ , направленная встречно току, называется встречной или противо-ЭДС.

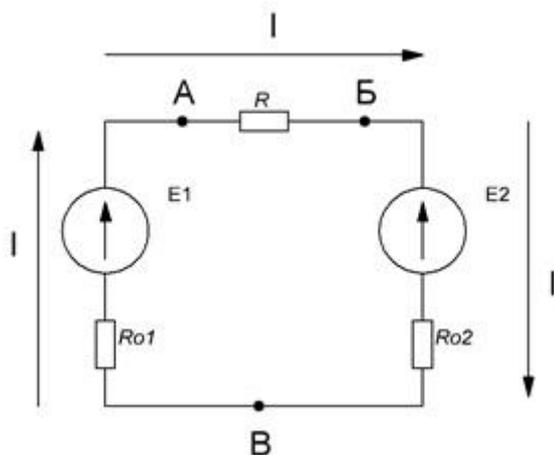


Рисунок 1 - Электрическая цепь с двумя источниками питания

На участке цепи АБ с сопротивлением  $R$  электрическая энергия преобразуется в тепловую, мощность которой:

$$P_{AB} = I^2 R$$

а напряжение, или, как часто говорят, падение напряжения на этом участке

$$U_{AB} = \frac{P_{AB}}{I} = I \cdot R$$

На участке БВ с сопротивлением  $r_{o2}$  действует встречная ЭДС  $E_2$ . В этом участке кроме мощности потерь (нагрев)  $r_{o2} \cdot I^2$  развивается еще электрическая мощность  $E_2 \cdot I$ , так как электрическими силами совершается работа по преодолению действия встречной ЭДС, в зависимости от происхождения которой электрическая энергия преобразуется в химическую (аккумулятор) или механическую (электрическая машина в режиме

двигателя); таким образом, источник с против-ЭДС  $E_2$  работает в режиме потребителя (приемника).

Мощность участка БВ

$$P_{\text{БВ}} = E_2 \cdot I + I \cdot r_{o2}$$

а напряжение на нем

$$U_{\text{БВ}} = \frac{P_{\text{БВ}}}{I} = E_2 + I \cdot r_{o2}$$

Итак, напряжение на выводах источника, работающего в режиме потребителя, равно сумме ЭДС и внутреннего падения напряжения.

На участке АВ с сопротивлением  $r_{o1}$  действует ЭДС  $E_1$  одного направления с током  $I$ . Электрическая машина или аккумулятор с ЭДС  $E_1$  работает в режиме источника энергии (в режиме генератора). Поэтому ЭДС равна сумме напряжения на выводах и внутреннего падения напряжения аналогично:

$$E_1 = U_{\text{АВ}} + U_{r_{o1}} = U_{\text{АВ}} + r_{o1} \cdot I$$

а напряжение на выводах этого источника

$$U_{\text{АВ}} = E_1 - r_{o1} \cdot I$$

Отсюда следует, что напряжение на выводах источника, отдающего энергию, равно разности ЭДС и внутреннего падения напряжения.

Развиваемая источником мощность:

$$E_1 \cdot I = U_{\text{АВ}} + U_{r_{o1}} \cdot I = U_{\text{АВ}} + r_{o1} \cdot I^2$$

### **3. Порядок выполнения работы.**

3.1. Ознакомиться с лабораторной установкой.

3.2. Включить электропитание стенда и источники  $E_1$  и  $E_2$ . Измерить значения эдс источника  $E_1$  и установить заданное значение эдс источника  $E_2$  (табл. 1). Результаты измерений занести в табл. 4. Выключить электропитание.

3.2. Собрать цепь с двумя источниками электропитания (рис. 2), выбрав элементы цепи в соответствии с заданным вариантом (табл. 1).

Таблица 1

Варианты	1	2	3	4	5	6
E2, В	12	10	8	6	10	12
R1	R1-2	R1-1	R1-3	R1-1	R1-2	R1-3
R2	R3	R3	R3	R3	R3	R3
R3	R9	R8	R9	R9	R8	R8

Включить электропитание стенда и источник электропитания E2.

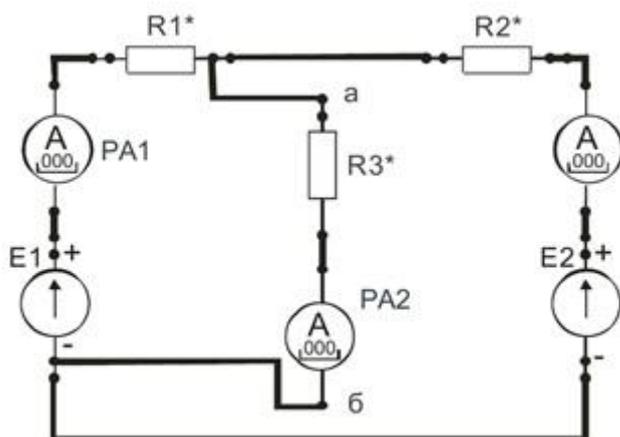


Рисунок 2 - Схема исследования.

3.3. Включить источник питания E1 и измерить напряжения  $U_1$ ,  $U_2$  на источниках E1, E2, напряжения на резисторах  $R1^*$ ,  $R2^*$  и  $R3^*$ , и токи  $I_1$ ,  $I_2$  и  $I_3$  в ветвях. Результаты измерений занести в табл. 2.

3.4. По результатам измерений вычислить значения сопротивлений  $R1^*$ ,  $R2^*$  и  $R3^*$ . Результаты вычислений занести в табл. 3.

Таблица 2.

№ опыта	Измерено									
	E <sub>1</sub>	E <sub>2</sub>	U <sub>1</sub>	U <sub>2</sub>	U <sub>R1</sub>	U <sub>R2</sub>	U <sub>R3</sub>	I <sub>1</sub>	I <sub>2</sub>	I <sub>3</sub>
	В	В	В	В	В	В	В	А	А	А
1										
2										

Таблица 3.

№ опыта	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	U <sub>АБ</sub>
	Ом	Ом	Ом	В
1				

#### **4. Содержание отчета**

Отчет по работе должен содержать:

- а) наименование работы и цель работы;
- б) схемы экспериментов и таблицы полученных экспериментальных данных;
- в) результаты расчетов;
- г) выводы по работе.

#### **5. Контрольные вопросы**

1. Сколько уравнений по законам Кирхгофа необходимо записать для исследуемой цепи для её расчета? Сколько из них надо записать по второму закону Кирхгофа?
2. Запишите для исследуемой цепи необходимые для анализа исследуемой цепи уравнения по законам Кирхгофа.

## Лабораторная работа №6

### Нелинейная электрическая цепь постоянного тока с последовательным соединением элементов

**Цель:** Экспериментальное получение вольтамперных характеристик линейных и нелинейных резистивных элементов, графический расчет неразветвленной нелинейной электрической цепи постоянного тока и экспериментальная проверка результатов расчета.

#### Порядок выполнения работы:

1. Ознакомиться с лабораторной установкой.
2. Собрать трехфазную электрическую цепь (рис. 1), выбрав элементы цепи в соответствии с заданием. Представить схему для проверки преподавателю. Собрать электрическую цепь для снятия вольтамперных характеристик элементов цепи (рис. 1) и предъявить её для проверки преподавателю. В качестве регулируемого источника постоянного напряжения использовать источник E2, выходное напряжение которого регулируется потенциометром. В качестве резистора R1 использовать резистор R5 стенда. Предъявить схему для проверки преподавателю.

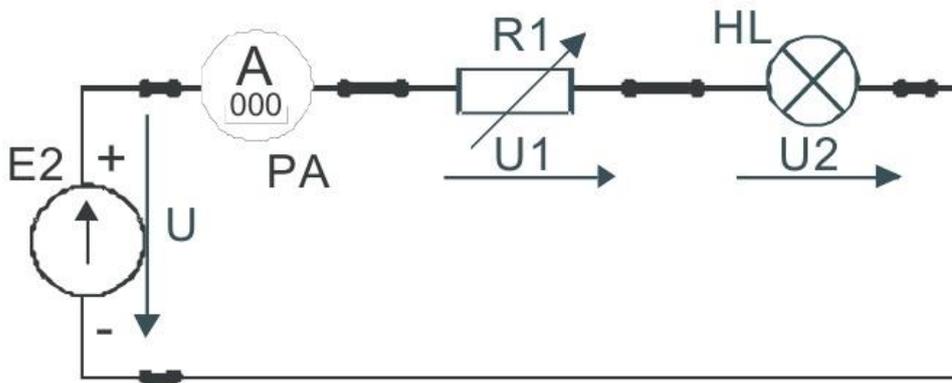


Рис. 1

3. Снять вольтамперные характеристики лампы накаливания HL, резистора R1 и всей цепи. Для этого установить выходное напряжение источника питания E2 равное нулю (ручку потенциометра в крайнее левое положение). Включить стенд и источник E2. Увеличивая плавно выходное напряжение потенциометра RP1 провести необходимые измерения при изменении тока от 0 до 80...100 мА. Результаты измерений занести в табл. 1. Выключить источник питания. В одной координатной системе построить

вольтамперные характеристики цепи, лампы накаливания HL и резистора R1.

Таблица 1.

I, A	0								
U, B	0								
U <sub>л</sub> , B	0								
U <sub>r</sub> , B	0								

4. Записать уравнение второго закона Кирхгофа для исследуемой цепи. Используя экспериментальные вольтамперные характеристики резистора и лампы накаливания, построить в той же системе координат расчетную вольтамперную характеристику всей цепи  $U_{расч}=f(I)$  и сравнить её с полученной экспериментально вольтамперной характеристикой цепи  $U_{эксп}=f(I)$ .

5. Для указанного преподавателем значения входного напряжения выполнить графический расчет тока и напряжений на отдельных участках цепи по рис. 1. Результаты расчета занести в табл. 2.

Таблица 2

	U, B	U <sub>hl</sub> , B	U <sub>r</sub> , B	I, A
Расчет				
Эксперимент				

6. Для проверки расчета нелинейной цепи включить источник и установить заданное (расчетное) значение входного напряжения U. Измерить ток I и напряжения U<sub>R</sub> и U<sub>HL</sub> на отдельных участках цепи. Результаты занести в табл. 2.

7. Сделать вывод об особенностях применения законов Кирхгофа в нелинейной цепи постоянного тока.

8. По указанию преподавателя рассчитать статическое и дифференциальное сопротивления лампы накаливания.

### Содержание отчета

Отчет по работе должен содержать:

- а) наименование и цель работы;
- б) схемы экспериментов и таблицы с результатами измерений;
- в) расчетные и экспериментальные вольтамперные характеристики;
- г) сравнение результатов расчета с экспериментальными данными;
- д) выводы.

### Контрольные вопросы

1. Что такое «нелинейный элемент» в электрической цепи?
2. Привести примеры нелинейных элементов электрических цепей и их вольтамперных характеристик.
3. Почему для нелинейной цепи удобен графический способ анализа?
4. Справедливы ли для нелинейных цепей законы Кирхгофа?
5. Как построить вольтамперную характеристику последовательного соединения нелинейных элементов?
6. Как построить вольтамперную характеристику параллельного соединения нелинейных элементов?

Лабораторная работа №7  
**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ  
 ЭЛЕМЕНТОВ ЦЕПЕЙ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА**

**1. Цель работы**

Приобретение навыков определения параметров элементов в цепях переменного тока по результатам измерений, включения в цепь вольтметра и амперметра, измерения тока и напряжения, применения закона Ома в цепи переменного тока.

**2. Порядок выполнения работы**

2.1. Ознакомиться с лабораторной установкой.

2.2. Экспериментальное определение величины сопротивления резистора. Собрать схему по рис. 1. В качестве резистора  $R^*$  использовать резистор R11 или R10 (табл. 1). В соответствии с заданным вариантом установить соответствующий тумблер в заданную позицию (1, 2 или 3). Представить схему для проверки преподавателю.

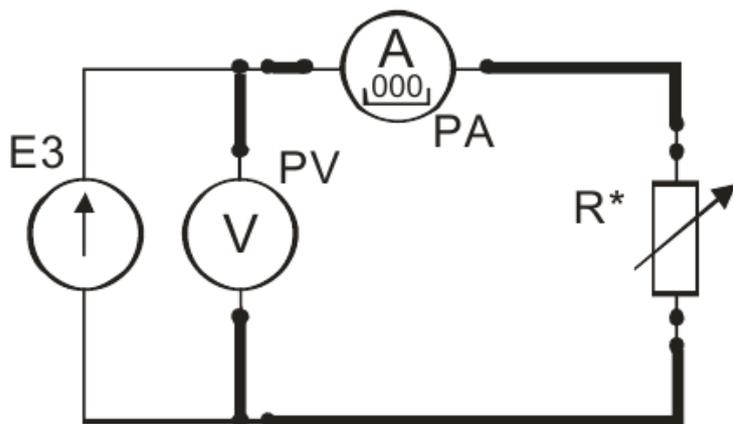


Рис. 1

Включить электропитание стенда и источник питания  $E3$ , установить заданное значение напряжения источника питания и измерить величину напряжения и тока в цепи. Результаты занести в табл. 4.

Таблица 1

№ варианта	1	2	3	4	5	6
U, В	5	7	6	5	7	6
$R^*$	R10-1	R10-2	R10-3	R11-1	R11-2	R11-3

2.3. Для определения величины емкости конденсатора собрать схему по рис. 2. В качестве исследуемого конденсатора  $C^*$

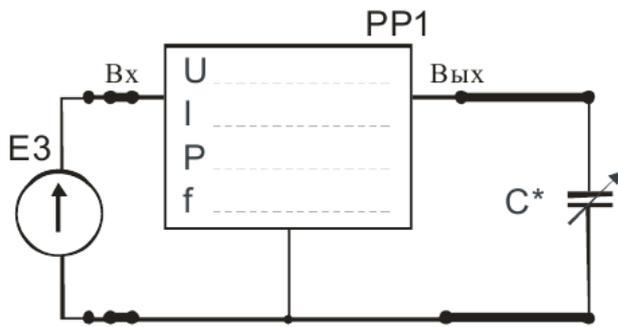


Рис. 2

использовать перестраиваемый конденсатор  $C1$  в соответствующей позиции переключателя (например, запись  $C1-2$  означает, что переключатель батареи конденсаторов  $C1$  должен быть в позиции «2»). После проверки схемы преподавателем включить электропитание стенда и источник питания  $E3$ , установить у измерителя мощности режим измерения частоты  $f$ . В соответствии с заданием (табл. 2) установить заданные значения величины напряжения питания и его частоты. Частоту устанавливать с точностью  $\pm(5...10)$  Гц. Измерить величину тока, напряжения и частоты в цепи. Результаты занести в табл. 4.

Таблица 2

№ варианта	1	2	3	4	5	6
U, В	5	5	5	7	7	7
$C^*$	C1-1	C1-2	C1-3	C1-4	C1-5	C1-3
f, Гц	$300\pm 10$	$250\pm 10$	$200\pm 10$	$160\pm 10$	$130\pm 10$	$100\pm 10$

2.4. Для определения параметров реальной катушки индуктивности собрать схему по рис. 3. В качестве исследуемой катушки  $L^*$  использовать катушки  $L1$ ,  $L2$  стенда или их последовательное соединение ( $L1+L2$ ) в соответствии с заданным вариантом (табл. 3).

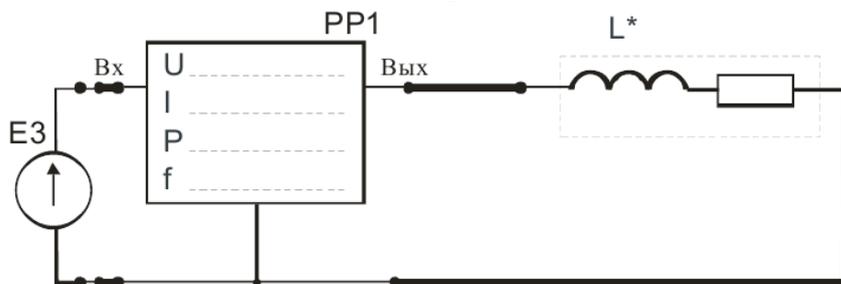


Рис. 3

2.5. После проверки схемы преподавателем включить электропитание стенда и источник питания E3, установить значения величину напряжения питания 7 В и заданное значение частоты  $f$ . Частоту устанавливать с точностью  $\pm(5...10)$  Гц. Измерить величину тока и активной мощности в цепи. Результаты занести в табл. 4.

2.6. Определить величину активного сопротивления катушки методом амперметра и вольтметра. Для этого подключить её к источнику постоянного напряжения E2 (рис. 4). Установить у цифрового амперметра режим измерения постоянного тока.

Таблица 3

№ варианта	1	2	3	4	5	6
L*	L1	L1	L2	L2	L1+ L2	L1+ L2
f, Гц	200	300	250	350	200	300

2.7. После проверки схемы преподавателем включить источник питания E2, установить у него выходное напряжение 10 В и измерить величину постоянного тока в цепи. Результат занести в табл. 4. Выключить электропитание.

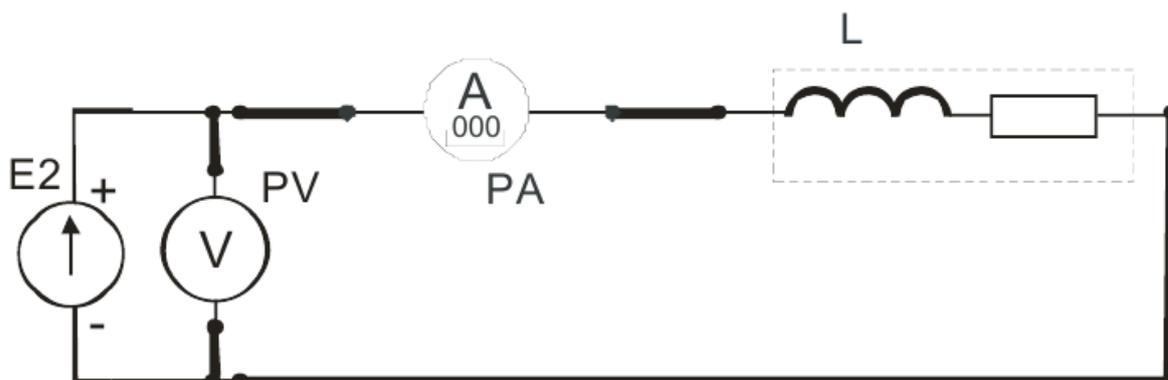


Рис. 4

2.8. По результатам измерений рассчитать полное сопротивление  $Z$  каждого элемента, активное сопротивление  $R$ , величину индуктивности  $L$  и емкости  $C$  и построить векторные диаграммы.

Таблица 4

Включено	Измерено				Вычислено			
	U, В	I, мА	f, Гц	P, Вт	Z, Ом	R, Ом	L, мГн	C, мкФ
R*			-----				-----	-----
C*				-----		-----	-----	
L*								-----
L*			-----	-----	-----		-----	-----

### 3. Содержание отчета

Отчет по работе должен содержать:

- а) наименование работы и цель работы;
- б) электрические схемы опытов;
- в) таблицы с результатами опытов и вычислений;
- г) расчетные соотношения;
- д) векторные диаграммы для резистора, реальной катушки и конденсатора;
- е) выводы по работе.

### 4. Контрольные вопросы

1. В каких единицах измеряется ток, напряжение, сопротивление?
2. Что такое Ом, Ампер, Вольт?
3. Что такое «полное сопротивление»?
4. Что такое «активное сопротивление»?
5. Что такое «реактивное индуктивное сопротивление» и как оно определяется?
6. Что такое «реактивное емкостное сопротивление» и как оно определяется?
7. Какая связь между полным, активным и реактивным сопротивлениями цепи переменного тока?
8. Как формулируется закон Ома для цепи переменного тока?
9. Может ли через конденсатор протекать постоянный ток?

## Лабораторная работа №8

### ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ЦЕПЬ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА С ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫМ СОЕДИНЕНИЕМ ЭЛЕМЕНТОВ

#### 1. Цель работы

Приобретение навыков сборки простых электрических цепей и измерения напряжений на отдельных участках цепи, изучение свойств цепей при последовательном соединении активных и реактивных элементов, знакомство с явлением резонанса напряжений, построение векторных диаграмм.

#### 2. Порядок выполнения работы

2.1. Ознакомиться с лабораторной установкой.

2.2. Собрать электрическую цепь с последовательным соединением резистора  $R^*$  и конденсатора  $C^*$  (рис. 1), используя элементы цепи в соответствии с заданным вариантом (табл. 1). В качестве резистора  $R^*$  использовать перестраиваемый резистор R10 в соответствующей позиции переключателя (табл. 1). У цифровых амперметров установить режим измерения переменного тока. Предъявить схему для проверки преподавателю.

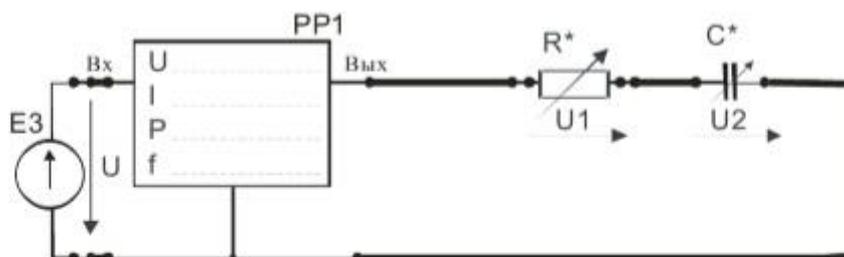


Рис. 1

Таблица 1

№ варианта	1	2	3	4	5	6
$R^*$	R10-1	R10-2	R10-3	R10-1	R10-2	R10-3
$C^*$	C2-5	C2-5	C2-5	C2-4	C2-4	C2-4

2.3. Включить питание стенда, источник переменного напряжения E3. Установить на выходе источника питания E3 напряжение 7 В с частотой  $400 \pm 10$  Гц. Провести измерения указанных в табл. 2 величин. Результаты измерений занести в табл. 2. Выключить источник электропитания E3.

Схема	U, В	I, мА	$U_r$ , В	$U_k$ , В	$U_c$ , В	P, Вт
RC				-----		
ZkC			-----			

2.4. Собрать электрическую цепь с последовательным соединением реальной катушки индуктивности  $L^*$  конденсатора  $C^*$  (рис. 2), используя элементы

цепи в соответствии с заданным вариантом (табл. 3). Предъявить схему для проверки преподавателю.

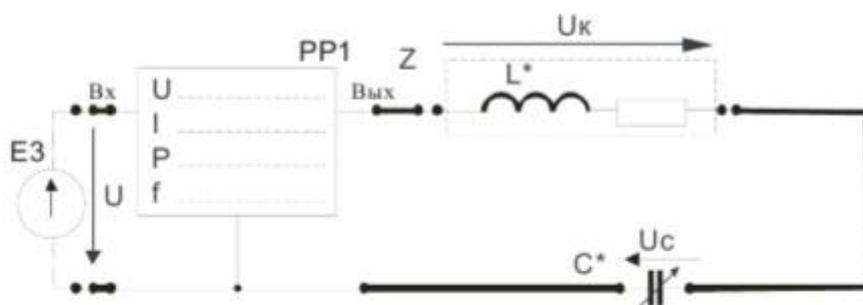


Рис. 2

Таблица 3

№ варианта	1	2	3	4	5	6
L*	L1	L1	L1	L2	L2	L2
C*	C2-1	C2-2	C2-3	C2-3	C2-4	C2-2

2.5. Включить электропитание, установить на выходе источника питания E3 напряжение 7 В с частотой  $\approx 400 \pm 10$  Гц. Провести измерения указанных в таблице величин для цепи с последовательным соединением реальной катушки индуктивности L и конденсатора C. Результаты измерений занести в табл. 2. Выключить электропитание.

3.6. Для исследованных цепей по результатам измерений рассчитать:

- полную мощность цепи S,
- реактивную мощность цепи Q,
- коэффициент мощности цепи  $\cos\phi$  и угол сдвига фаз  $\phi$  между напряжением на входе цепи и током,
- коэффициент мощности катушки  $\cos\phi_K$  и угол сдвига фаз  $\phi_K$  между напряжением на катушке и током,
- полные, активные и реактивные сопротивления всей цепи и отдельных участков (ZK, RK, XK, XC, ZЭ, RЭ, XЭ,).

Результаты занести в табл. 4.

S=UI ВА	Q=sqrt(S^2- p^2) ВАр	cosφк	φк. град	cosφ	φ град	Zк Ом	Rк Ом	Xк Ом	Xс Ом	Zэ Ом	Rэ Ом	Xэ Ом

2.7. По результатам измерений для исследованных цепей построить в масштабе векторные диаграммы, треугольники сопротивлений и мощностей, сделать вывод о характере каждой исследованной цепи.

2.8. Сделать вывод о применении 2-го закона Кирхгофа в цепях переменного тока.

### 3. Содержание отчета

Отчет по работе должен содержать:

- а) наименование работы и цель работы;
- б) схему исследуемой цепи;
- в) таблицы с результатами опытов и вычислений;
- г) расчетные соотношения;
- д) векторные диаграммы;
- е) выводы по работе.

### 4. Контрольные вопросы

1. Что такое активная, реактивная и полная мощности в цепи переменного тока?
2. Какая взаимосвязь между полной, активной и реактивной мощностями?
3. Что такое «коэффициент мощности»?
4. Как вычислить полное сопротивление катушки, если известны её активное сопротивление, индуктивность и частота сети?
5. Как вычислить полное сопротивление цепи с последовательным соединением резистора, реальной катушки и конденсатора?
6. От чего зависит угол сдвига фаз между напряжением и током на участке электрической цепи переменного тока?
7. Что такое «треугольник сопротивлений»?
8. Чему равны реактивное сопротивление цепи и реактивная мощность цепи при резонансе?
9. В каком случае исследуемая цепь, содержащая катушку индуктивности и конденсатор, будет носить активно-индуктивный характер и в каком случае – активно-емкостной характер?

## Лабораторная работа №9

### Элементы цепей переменного тока. Емкостное и индуктивное сопротивление, их зависимость от частоты переменного тока и параметров элементов.

**Цель:** изучить зависимость емкостного и индуктивного сопротивлений от частоты переменного тока и параметров элементов

#### Краткое теоретическое описание

В цепи переменного тока кроме резисторов могут использоваться катушки индуктивности и конденсаторы. Для постоянного тока катушка индуктивности имеет только активное сопротивление, которое обычно невелико (если катушка не содержит большое количество витков). Конденсатор же в цепи постоянного тока представляет "разрыв" (очень большое активное сопротивление). Для переменного тока эти элементы обладают специфическим реактивным сопротивлением, которое зависит как от номиналов деталей, так и от частоты переменного тока, протекающего через катушку и конденсатор.

#### 1.1. Катушка в цепи переменного тока.

Рассмотрим, что происходит в цепи, содержащей резистор и катушку индуктивности. Колебания силы тока, протекающего через катушку:

$$i = I_m \cdot \cos(\omega t)$$

вызывают падение напряжения на концах катушки в соответствии с законом самоиндукции и правилом Ленца:

$$u_L = L \frac{di}{dt} = -L\omega I_m \sin(\omega t) = \omega L I_m \cos(\omega t + \pi/2)$$

т.е. колебания напряжения опережают по фазе колебания силы тока на  $\pi/2$ .

Произведение  $\omega L I_m$  является амплитудой колебания напряжения:

$$U_L = \omega L I_m$$

Произведение циклической частоты на индуктивность называют *индуктивным сопротивлением* катушки:

$$X_L = \omega L \quad (1)$$

поэтому связь между амплитудами напряжения и тока на катушке совпадает по форме с законом Ома для участка цепи постоянного тока:

$$U_L = X_L I_m \quad (2)$$

Как видно из выражения (1), индуктивное сопротивление не является постоянной величиной для данной катушки, а пропорционально частоте переменного тока через катушку. Поэтому амплитуда колебаний силы тока  $I_m$  в проводнике с индуктивностью  $L$  при постоянной амплитуде  $U_L$  напряжения убывает обратно пропорционально частоте переменного тока:

$$I_m = \frac{U_m}{\omega L}$$

#### 1.2. Конденсатор в цепи переменного тока.

При изменении напряжения на обкладках конденсатора по гармоническому закону:  $u_C = U_m \cos(\omega t)$

заряд  $q$  на его обкладках изменяется также по гармоническому закону:

$$q = Cu_C = CU_m \cos(\omega t)$$

Электрический ток в цепи возникает в результате изменения заряда конденсатора, поэтому колебания силы тока в цепи будут происходить по закону:

$$i = \frac{dq}{dt} = -\omega CU_m \sin(\omega t) = \omega CU_m \cos(\omega t + \pi/2)$$

Видно, что колебания напряжения на конденсаторе отстают по фазе от колебаний силы тока на  $\pi/2$ . Произведение  $\omega CU_m$  является амплитудой колебаний силы тока:

$$I_m = \omega CU_m$$

Аналогично тому, как было сделано с индуктивностью, введем понятие *емкостного сопротивления* конденсатора:

$$X_C = \frac{1}{\omega C} \quad (3)$$

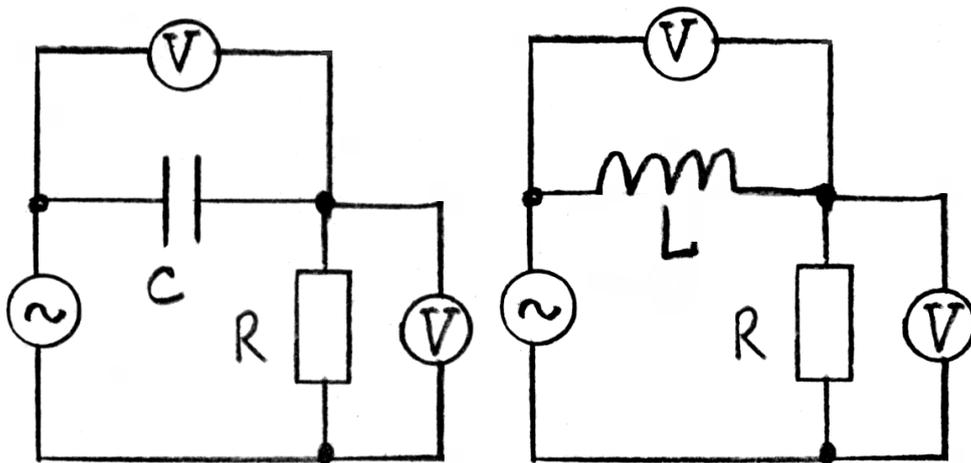
Для конденсатора получаем соотношение, аналогичное закону Ома:

$$U_C = X_C I_m \quad (4)$$

Формулы (2) и (4) справедливы и для эффективных значений тока и напряжения.

## 2. Порядок выполнения работы

- Соберите цепь показанную на рисунке 1.
- Установите следующие значения параметров:  
Генератор – напряжение (эффективное) 100 В, частота 100 Гц;  
Конденсатор – рабочее напряжение 400 В, емкость 10 мкФ;  
Резистор – рабочая мощность 500 Вт, сопротивление 100 Ом.
- Изменяя емкость конденсатора от 5 до 50 мкФ (через 5 мкФ), запишите показания вольтметров (напряжение на конденсаторе и на резисторе).
- Рассчитайте эффективное значение токов, текущих в цепи, в зависимости от значения емкости конденсатора (для этого надо напряжение на резисторе разделить на его сопротивление).
- Определите значения емкостных сопротивлений конденсатора для соответствующих значений его емкости и сравните их с рассчитанными по формуле (3).
- Установите емкость конденсатора 10 мкФ. Изменяя частоту генератора от 20 до 100 Гц через 10 Гц, повторите измерения и расчеты емкостного сопротивления в зависимости от частоты переменного тока.



Соберите цепь показанную на рисунке 2.

Рис.1. Рис.2.

- Установите следующие значения параметров:  
 Генератор – напряжение (эффективное) 100 В, частота 100 Гц;  
 Катушка - индуктивность 50 мГн;  
 Резистор – рабочая мощность 500 Вт, сопротивление 100 Ом.
- Изменяя индуктивность катушки от 50 до 500 мГн (через 50 мГн), запишите показания вольтметров (напряжение на катушке и на резисторе).
- Рассчитайте эффективное значение токов, текущих в цепи, в зависимости от значения индуктивности катушки (для этого надо напряжение на резисторе разделить на его сопротивление).
- Определите индуктивные сопротивления катушки для соответствующих значений ее индуктивности и сравните их с рассчитанными по формуле (1).
- Установите индуктивность катушки 100 мГн. Изменяя частоту генератора от 20 до 100 Гц через 10 Гц, повторите измерения и расчеты индуктивного сопротивления в зависимости от частоты переменного тока..
- Постройте графики зависимостей индуктивного и емкостного сопротивлений от частоты переменного тока.

### 3. Контрольные вопросы.

- 3.1. Почему емкостное сопротивление уменьшается с увеличением частоты переменного ток а, индуктивное сопротивление – увеличивается?
- 3.2. Каковы разницы фаз между током и напряжением для катушки и конденсатора?
- 3.3. В каких единицах измеряются емкостное и индуктивное сопротивления?
- 3.4. Как записывается аналог закона Ома для максимальных (эффективных) значений тока и напряжения для реактивных элементов – конденсатора и катушки индуктивности?

## Лабораторная работа №10 Исследование нелинейных цепей переменного тока.

### 1. Цель работы

Экспериментальное исследование вольтамперных характеристик катушки индуктивности с ферромагнитным сердечником и конденсатора. Изучение формы кривой тока в катушке с сердечником. Сравнение экспериментальных результатов с расчетными данными. Знакомство с работой двустороннего ограничителя уровня напряжения.

### 2. Предварительное домашнее задание

2.1. Изучить тему «Нелинейные цепи переменного тока», содержание данной лабораторной работы и быть готовым ответить на все контрольные вопросы к ней.

2.2. Начертить принципиальные схемы исследуемых цепей исследуемых цепей с включенными измерительными приборами.

### 3. Порядок выполнения работы

3.1. Ознакомиться с лабораторной установкой.

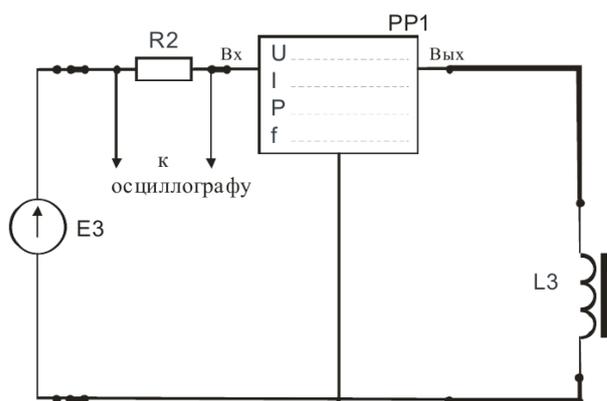


Рис. 1

### 3.2. Для снятия вольтамперной

характеристики катушки с сердечником собрать электрическую цепь по рис. 1. Подключить параллельно добавочному резистору R2 выходы осциллографа. Изменяя от нуля величину выходного напряжения источника питания E3 при частоте 50 Гц, снять вольтамперную характеристику катушки с ферромагнитным сердечником. Результаты измерений занести в табл. 1. При проведении измерений наблюдать с помощью осциллографа форму кривой тока в цепи. Зарисовать вид кривой тока. Выключить электропитание стенда.

Таблица 1

U, В							
I, А							

3.3. Для снятия вольтамперной характеристики конденсатора С3 подключить его вместо катушки индуктивности. Снять вольтамперную

характеристику конденсатора С3, изменяя выходное напряжение источника от нуля. Результаты измерений занести в табл. 2

Таблица 2

U <sub>с</sub> , В							
I, А							

3.4. Используя полученные экспериментальные результаты, построить в одной системе координат вольтамперные характеристики катушки с ферромагнитным сердечником и конденсатора. Для случая последовательного соединения катушки с ферромагнитным сердечником и исследованного конденсатора построить вольтамперную характеристику такой цепи и по ней определить величину напряжения, при котором будет наблюдаться триггерный эффект.

3.5. Собрать электрическую цепь с последовательным соединением катушки с ферромагнитным сердечником L3 и конденсатора С3 (рис. 2).

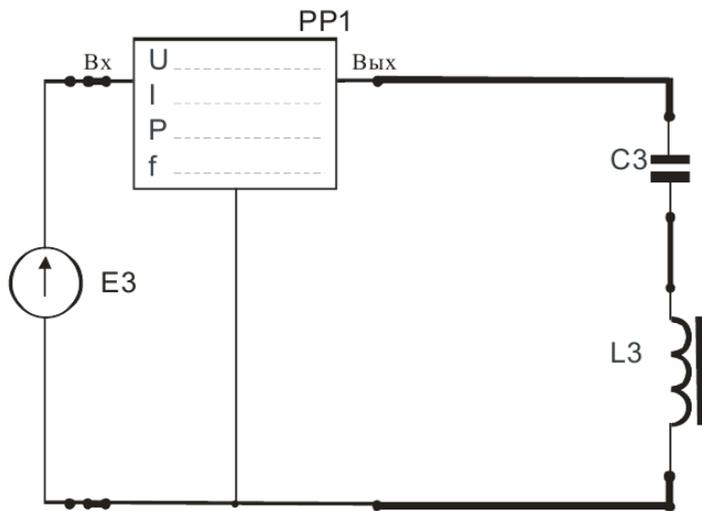


Рис. 2

Плавно изменяя величину входного напряжения, снять вольтамперную характеристику всей цепи при увеличении и уменьшении входного напряжения. Обратит внимание на скачок тока при увеличении и уменьшении напряжения. Результаты измерений занести в табл. 3

Таблица 3

<b>U<sub>ув</sub>, В</b>	0	2	4	6	8	10	12
<b>I<sub>ув</sub>, А</b>							
<b>U<sub>ум</sub>, В</b>	12	10	8	6	4	2	0
<b>I<sub>ум</sub>, А</b>							

3.6. По экспериментальным результатам построить ВАХ цепи с последовательным соединением катушки с ферромагнитным сердечником и конденсатора. Сравнить полученную характеристику с расчетной характеристикой.

3.7. Ознакомьтесь с работой ограничителя уровня напряжения. Для этого собрать схему по рис. 3. Подключить параллельно двуханодному стабилитрону VD2 осциллограф.

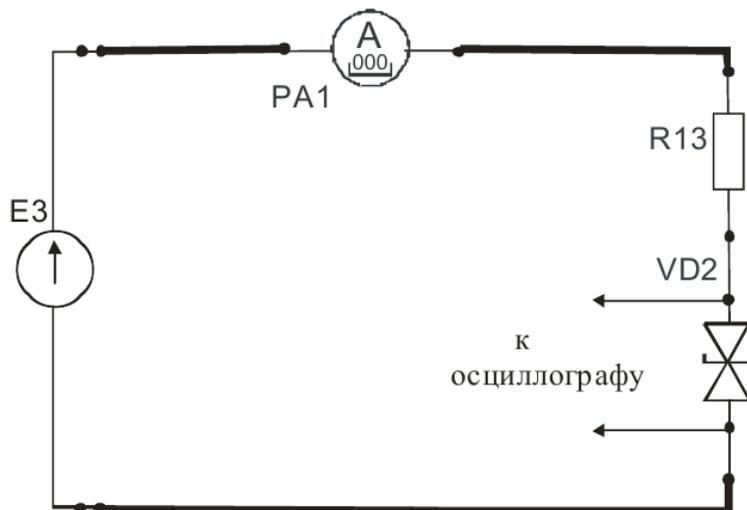


Рис. 3

Плавно увеличивая входное напряжение наблюдать по осциллографу форму выходного напряжения. Обратит внимание на величину тока, при котором начинается ограничение выходного напряжения. Измерить осциллографом амплитуду выходного напряжения и сравнить ее с паспортными данными стабилитрона КС162А. Зарисовать осциллограммы наибольшего входного и соответствующего выходного напряжений.

#### 4.Содержание

#### отчета

Отчет по работе должен содержать:

- наименование и цель работы;
- схемы экспериментов и таблицы с результатами измерений;
- расчетные и экспериментальные вольтамперные характеристики;
- осциллограммы напряжений и токов;
- сравнение результатов расчета с экспериментальными данными;
- выводы о свойствах исследованных цепей.

#### 5.Контрольные

#### вопросы

- Объяснить назначение ферромагнитного сердечника катушки индуктивности.
- Пояснить влияние сердечника на величину индуктивности катушки.
- Как изменится вольтамперная характеристика катушки индуктивности при наличии воздушного зазора в сердечнике?
- Почему сердечник часто выполняется из изолированных друг от друга пластин электротехнической стали?
- Объяснить причину искажения синусоидальной формы тока при питании катушки индуктивности синусоидальным напряжением.

6. Как определить параметры схемы замещения катушки с ферромагнитным сердечником?

### Лабораторная работа №11

#### Исследование трехфазной цепи при соединении потребителей по схеме «звезда».

##### 1. Цель работы

Ознакомиться с трехфазными системами, измерением фазных и линейных Токов и напряжений. Проверить основные соотношения между токами и напряжениями симметричного и несимметричного трехфазного потребителя

Выяснить роль нейтрального провода в четырех проводной трехфазной системе.

Научиться строить векторные диаграммы напряжений и токов.

##### Предварительное домашнее задание

2.1. Изучить тему «Трехфазные электрические цепи при соединении по

схеме звезда», содержание данной лабораторной работы и быть готовым ответить на

все контрольные вопросы к ней.

2.2. Начертить принципиальные схемы исследуемых цепей исследуемых Цепей с включенными измерительными приборами.

##### 3. Порядок выполнения работы

3.1. Ознакомиться с лабораторной установкой.

3.2. Включить электропитание стенда. Включить трехфазный источник питания E4 и измерить стрелочным вольтметром линейные и фазные напряжения источника питания на холостом ходу. Результаты измерений занести

в табл. 1. Выключить источник электропитания. Проверить соотношение между

линейными и фазными напряжениями источника питания.

Таблица 1

Измерено на клеммах источника питания						Вычислено		
Линейные напряжения			Фазные напряжения			U <sub>л</sub> , В	U <sub>ф</sub> , В	U <sub>л</sub> /U <sub>ф</sub>
U <sub>AB</sub> , В	U <sub>BC</sub> , В	U <sub>CA</sub> , В	U <sub>A</sub> , В	U <sub>B</sub> , В	U <sub>C</sub> , В			

3.3. Собрать симметричную четырех проводную трехфазную электрическую цепь (рис. 1). В качестве амперметров использовать цифровые приборы в режиме

измерения переменного тока (тумблер режима работы приборов в позиции «~»).

В качестве потребителей RA, RB, RC использовать резисторы R17, R18, R19,

установив соответствующие тумблеры в позицию «1». Представить схему для

проверки преподавателю.

3.4. Исследовать режимы работы симметричной трехфазной цепи при наличии и отсутствии нейтрального провода, а также влияние нейтрального провода и обрыва линейного провода заданной фазы (табл.2) на режим работы

цепи. Для этого включить электропитание стенда, источник трехфазного напряжения E4 и измерять линейные токи  $I_A, I_B, I_C$  и ток в нейтральном проводе

$I_N$ , фазные напряжения источника  $U_A, U_B, U_C$ , фазные напряжения на потребителях  $U_{AP}, U_{BP}, U_{CP}$  и напряжение смещения нейтрали  $U_{nN}$ .

Напряжения

измерять, подключая выводы вольтметра к соответствующим клеммам.

Результаты измерений занести в табл. 3. Выключить источник питания E4.

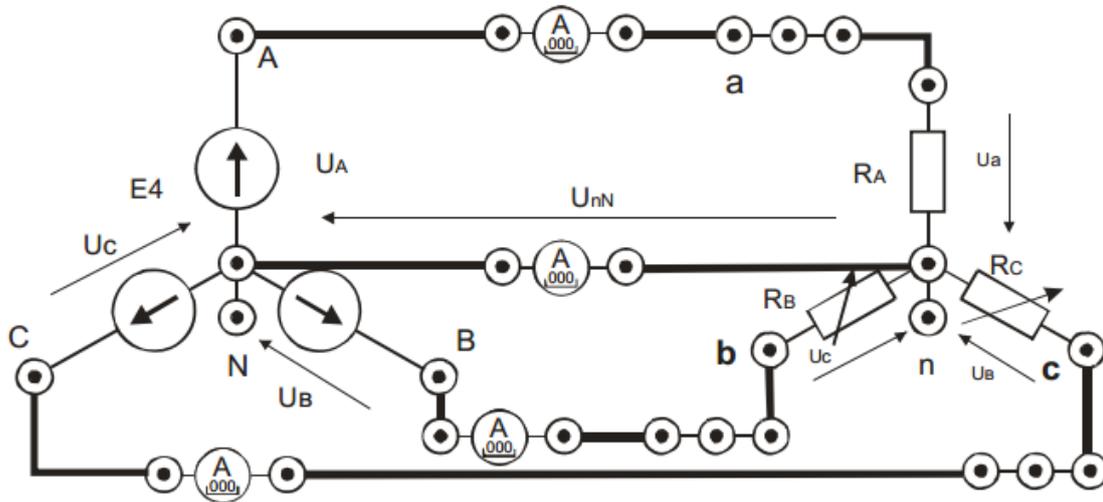


Рис. 1

3.5. Исследовать режимы работы несимметричной трехфазной цепи с активной нагрузкой при наличии и отсутствии нейтрального провода, а также влияние нейтрального провода и обрыва линейного провода заданной фазы на режим работы цепи. Для этого установить параметры цепи в соответствии с заданным вариантом (табл. 2), включить электропитание стенда, источник трехфазного напряжения E2 и измерить токи, фазные напряжения источника, фазные напряжения на потребителях и напряжение смещения нейтрали  $U_{nN}$ . Результаты измерений занести в табл. 3. Выключить источник питания E4.

Таблица 2

№ варианта	1	2	3	4	5	6
$R_A$	R18	R18	R18	R18	R18	R18
$R_B$	R17-2	R17-2	R17-3	R17-1	R17-2	R17-3
$R_C$	R19-1	R19-2	R19-2	R19-2	R19-3	R19-3
Обрыв провода	A	B	C	A	B	C

- 3.6. Исследовать режимы работы несимметричной четырех проводной и трех проводной цепи при неоднородной нагрузке, Для этого подключить в фазе «А» вместо резистора конденсатор С3, установить переключатели резисторов R17 и R19 в позицию «1», включить источник питания E2. Результаты измерений занести в табл. 3. Выключить источник питания E4.
- 3.7. Исследовать влияние сопротивления линии передачи на режим работы трехфазной цепи. Для этого включить последовательно в каждую фазу дополнительные резисторы R14, R15, R16, установить симметричную нагрузку, включить электропитание и измерить напряжения и токи. Результаты измерений занести в табл. 4.

Таблица 3

Режим нагрузки	Токи, мА				Напряжения, В							
	$I_A$ , мА	$I_B$ , мА	$I_C$ , мА	$I_N$ , мА	Фазные напряжения источника, В			Фазные напряжения потребителей, В			$U_{nN}$	
					$U_A$	$U_B$	$U_C$	$U_a$	$U_b$	$U_c$		
Четырехпроводная цепь, нагрузка симметричная												
Обрыв линейного провода в четырехпроводной симметричной цепи												
Трехпроводная цепь, нагрузка симметричная												
Обрыв линейного провода в трехпроводной симметричной цепи												
Четырехпроводная цепь, нагрузка несимметричная однородная												
Трехпроводная цепь, нагрузка несимметричная однородная												
Обрыв линейного провода в трехпроводной несимметричной цепи												
Четырехпроводная цепь, нагрузка несимметричная неоднородная												
Трехпроводная цепь, нагрузка несимметричная неоднородная												

Таблица 4

$U_A$ , В	$U_B$ , В	$U_C$ , В	$U_a$ , В	$U_b$ , В	$U_c$ , В	$I_A$ , мА	$I_B$ , мА	$I_C$ , мА	$I_N$ , мА

- 3.8. По результатам измерений вычислить
- среднее значение линейных напряжений УЛ источника питания;
  - среднее значение фазных напряжений УФ источника питания;
  - отношение УЛ /УФ ;
  - среднее значение тока при симметричной нагрузке.

#### **4. Содержание отчета**

Отчет по работе должен содержать:

- а) наименование работы и цель работы;
- б) технические данные электроизмерительных приборов;
- в) схему эксперимента с включенными измерительными приборами;
- г) таблицы с результатами эксперимента;
- д) векторные диаграммы для всех проведенных опытов;
- е) вывод о роли нейтрального провода в трехфазной цепи при соединении потребителя по схеме звезда;
- ж) вывод о влиянии сопротивления линии передачи на работу трехфазной цепи.

#### **5. Контрольные вопросы**

1. Какое соединение называется звездой?
2. Каково соотношение между фазным и линейным напряжениями трехфазного источника питания при соединении его обмоток по схеме звезда?
3. Какое соотношение между фазными и линейными токами при соединении в звезду?
4. Как определить величину тока в нейтральном проводе, если известны токи потребителя?
5. Для чего применяют нейтральный провод?
6. К каким зажимам следует подключить вольтметр, чтобы измерить фазное и линейное напряжение?
7. Какая трехфазная нагрузка называется симметричной?
8. Почему при несимметричной нагрузке обрыв нейтрального провода является аварийным режимом?

## Лабораторная работа №12

### Исследование трехфазной цепи при соединении потребителей по схеме «треугольник».

#### 1. Цель работы

Исследовать особенности работы трехфазной цепи при соединении симметричного и несимметричного потребителей треугольником, усвоить построение векторных диаграмм по результатам эксперимента.

#### 2. Предварительное домашнее задание

2.1. Изучить тему «Трехфазные электрические цепи при соединении по схеме треугольник», содержание данной лабораторной работы и быть готовым ответить на все контрольные вопросы к ней.

2.2. Начертить принципиальные схемы исследуемых цепей исследуемых цепей с включенными измерительными приборами.

#### 3. Порядок выполнения работы

3.1. Ознакомиться с лабораторной установкой.

3.2. Включить модуль питания стенда и источник трехфазного напряжения E4. Измерить линейные напряжения источника питания на холостом ходу.

Результаты измерений занести в табл. 1. Выключить электропитание.

Вычислить среднее значение линейного напряжения  $U_L$

Таблица 1

$U_{AB}, В$	$U_{BC}, В$	$U_{CA}, В$	$U_L, В$

3.3. В соответствии с рис. 1. Собрать схему трехфазной цепи при соединении потребителей в треугольник. Установить симметричную нагрузку. Для этого установить соответствующие тумблеры в позицию «1». Предъявить схему для проверки.

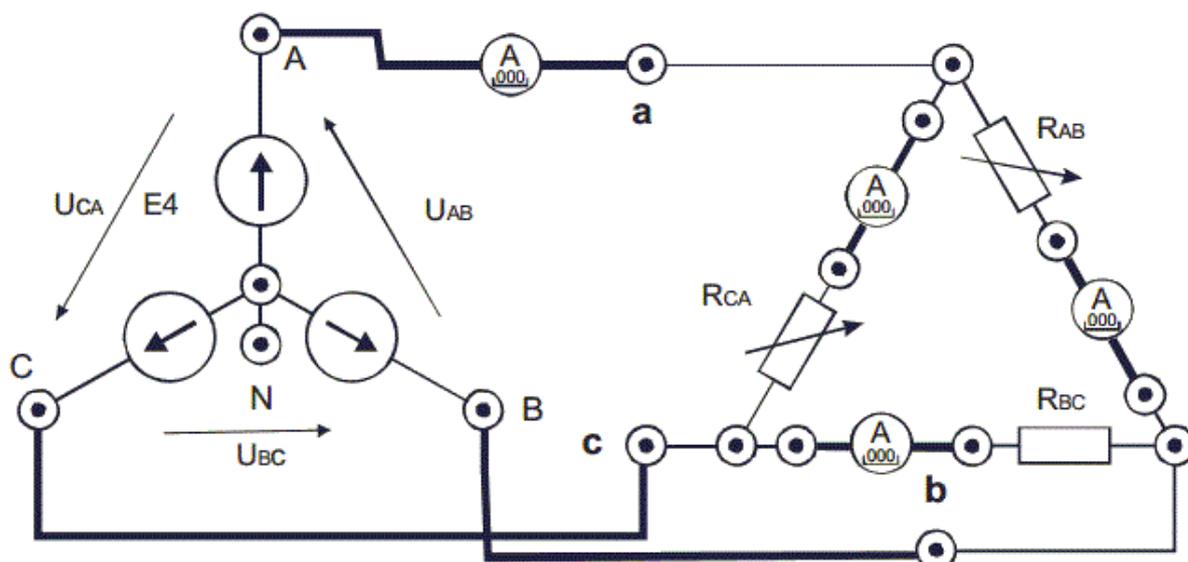


Рис. 1

3.4. Включить электропитание и источник трехфазного напряжения. Измерить фазные токи  $I_{AB}$ ,  $I_{BC}$ ,  $I_{CA}$  и линейный ток  $I_A$ , а так же напряжения на потребителях. Результаты занести в табл. 2. Выключить электропитание.

3.5. Разомкнуть линейный провод фазы «В» (убрать проводник) и измерить фазные токи  $I_{AB}$ ,  $I_{BC}$ ,  $I_{CA}$  и линейный ток  $I_A$ , а так же напряжения на потребителях. Результаты занести в табл. 2.

3.6. Выключить нагрузку в фазе потребителя «СА», убрав проводник, и провести измерения. Результаты занести в табл. 2.

3.7. Разомкнуть линейный провод фазы «В» и нагрузку в фазе потребителя «СА». Измерить фазные токи  $I_{AB}$ ,  $I_{BC}$ ,  $I_{CA}$  и линейный ток  $I_A$ , а так же напряжения на потребителях. Результаты занести в табл. 2.

Таблица 2

Режим нагрузки	Ток нагрузки, мА						Напряжение на потребителях, В		
	$I_A$	$I_B$	$I_C$	$I_{AB}$	$I_{BC}$	$I_{CA}$	$U_{ab}$	$U_{bc}$	$U_{ca}$
Симметричная нагрузка									
Обрыв линейного провода «В»									
Обрыв фазы потребителя «СА»									
Обрыв фазы потребителя «СА» и обрыв линейного провода «В»									
Несимметричная нагрузка									

3.8. Установить в соответствии с заданным вариантом несимметричную нагрузку (табл. 3) и включив электропитание, провести измерения токов и напряжений.

Таблица 3

№ варианта	1	2	3	4	5	6
RAB	R21-2	R21-2	R21-3	R21-3	R21-1	R21-3
RBC	R22	R22	R22	R22	R22	R22
RCA	R20-2	R20-3	R20-2	R20-3	R20-2	R20-1

3.9. Исследовать влияние сопротивления линии передачи на режим работы трехфазного потребителя. Для этого включить последовательно в каждую фазу источника питания дополнительные резисторы R14, R15, R16, установить симметричную нагрузку. Включить электропитание и измерить напряжения и токи. Результаты измерений занести в табл. 2. Выключить источник питания E4.

3.10. Для всех опытов построить в масштабе векторные диаграммы.

3.11. По векторным диаграммам определить для исследованных режимов линейные токи  $I_B$  и  $I_C$

3.12. Сравнить результаты измерений линейных и фазных токов при соединении потребителя в треугольник для исследованных режимов.

3.13. Проанализировать влияние обрывов линейного и фазного проводов на режимы работы потребителей.

#### **4. Содержание отчета**

Отчет по работе должен содержать:

- а) наименование работы и цель работы;
- б) технические данные электроизмерительных приборов;
- в) схему эксперимента с включенными измерительными приборами;
- г) таблицы с результатами эксперимента;
- д) векторные диаграммы для всех проведенных опытов;
- е) выводы по работе.

#### **5. Контрольные вопросы**

1. Каким образом три однофазных потребителя соединяют в треугольник?
2. Куда следует подключать вольтметр, чтобы измерить фазное и линейное напряжения трехфазного потребителя?
3. В каком соотношении находятся фазные и линейные напряжения симметричного потребителя, соединенного в треугольник?
4. Какое соотношение между фазными и линейными токами симметричного потребителя, соединенного в треугольник?
5. Всегда ли справедливы при соединении в треугольник соотношения  $-I_A = -I_{AB} - I_{CA}$ ,  $-I_B = -I_{BC} - I_{AB}$ ,  $-I_C = -I_{CA} - I_{BC}$ .
6. Всегда ли при соединении в треугольник справедливо соотношение  $-I_A + I_B + I_C = 0$ ?
7. Как отразится отключение одной фазы потребителя на режим работы других фаз и на режим работы всей трехфазной цепи, соединенной в треугольник?
8. Как повлияет обрыв линейного провода на режим работы потребителей при их соединении по схеме треугольник?

## Лабораторная работа №13

### Исследование работы полупроводниковых диодов.

1. **Цель работы:** Изучение характеристик и параметров диодов – выпрямительного, Шоттки, стабилитрона и светодиода.

2. **Задание и методические указания**

Предварительное домашнее задание:

а) изучить темы курса «р-п переход», «Диоды» и содержание данной работы, быть готовым ответить на все контрольные вопросы;

б) пользуясь принципиальными схемами, приведенными в руководстве, начертить схемы соединений для проведения экспериментов, перечисленных в лабораторной работе;

3. **Экспериментальное исследование выпрямительного диода**

А) собрать схему для исследования выпрямительного диода на постоянном токе в соответствии с принципиальной схемой рис.1. Для измерения анодного тока включить миллиамперметр постоянного тока с пределом 100 мА. Для измерения анодного напряжения использовать мультиметр.

Последовательно с диодом включить токоограничивающий резистор  $R_n$ .

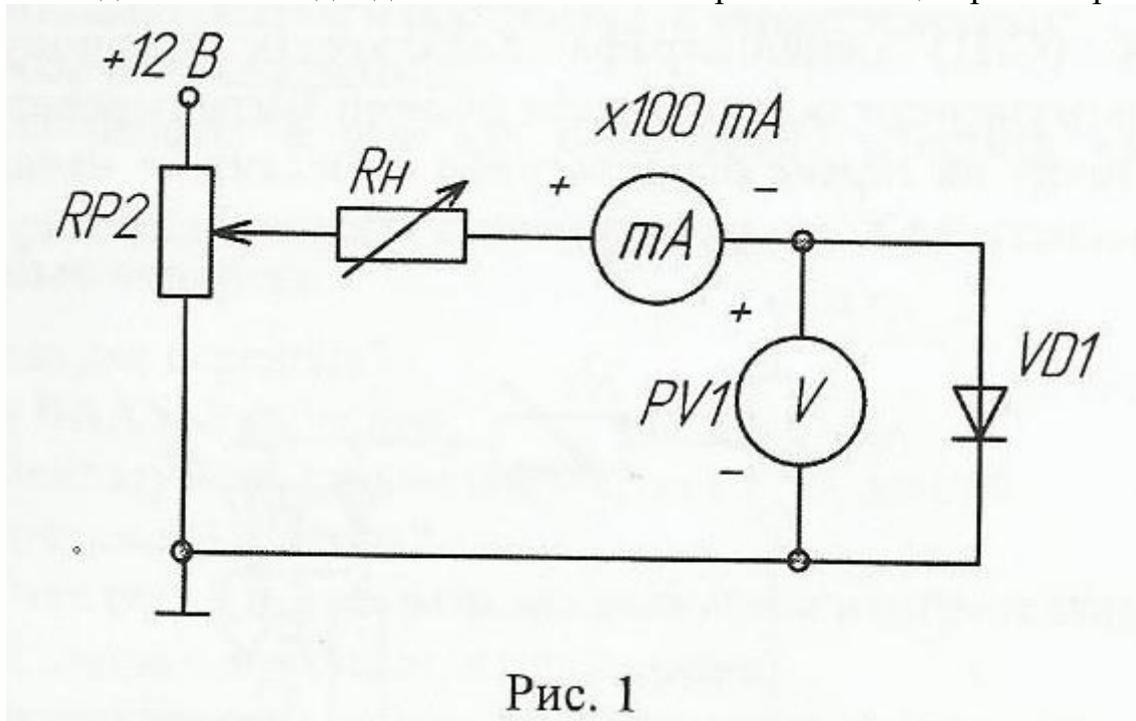


Рис. 1

Снять вольтамперную характеристику выпрямительного диода на постоянном токе для прямой ветви (рис.1); для снятия характеристик регулировать напряжение на выходе потенциометра; результаты измерений занести в таблицу, по которой построить прямую ветвь ВАХ;

Б) собрать схему для снятия обратной ветви ВАХ VD1, подключив к RP2 источник -12 В и заменив миллиамперметр, поменяв так же его полярность подключения (рис.2); снять обратную ветвь ВАХ диода;

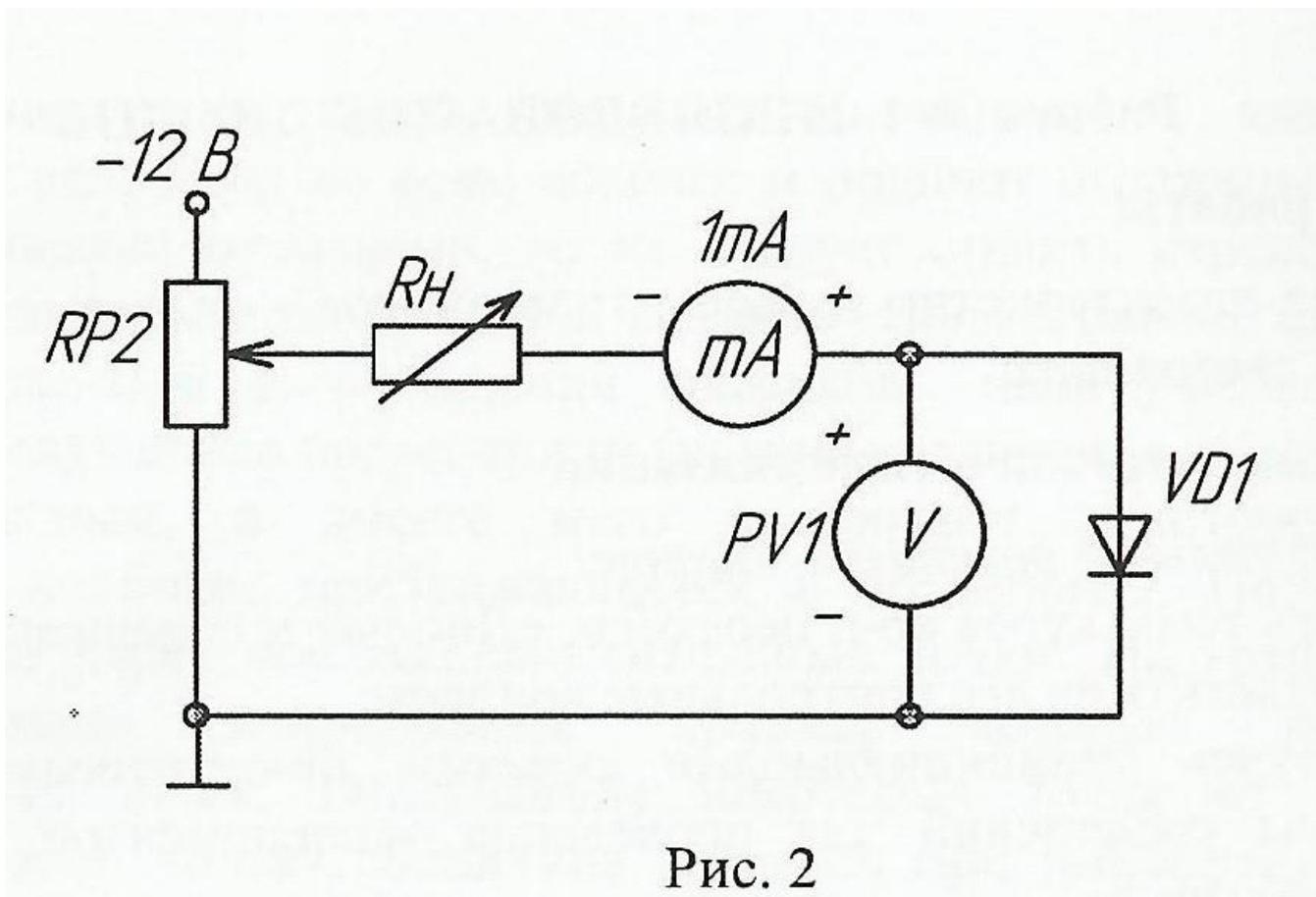


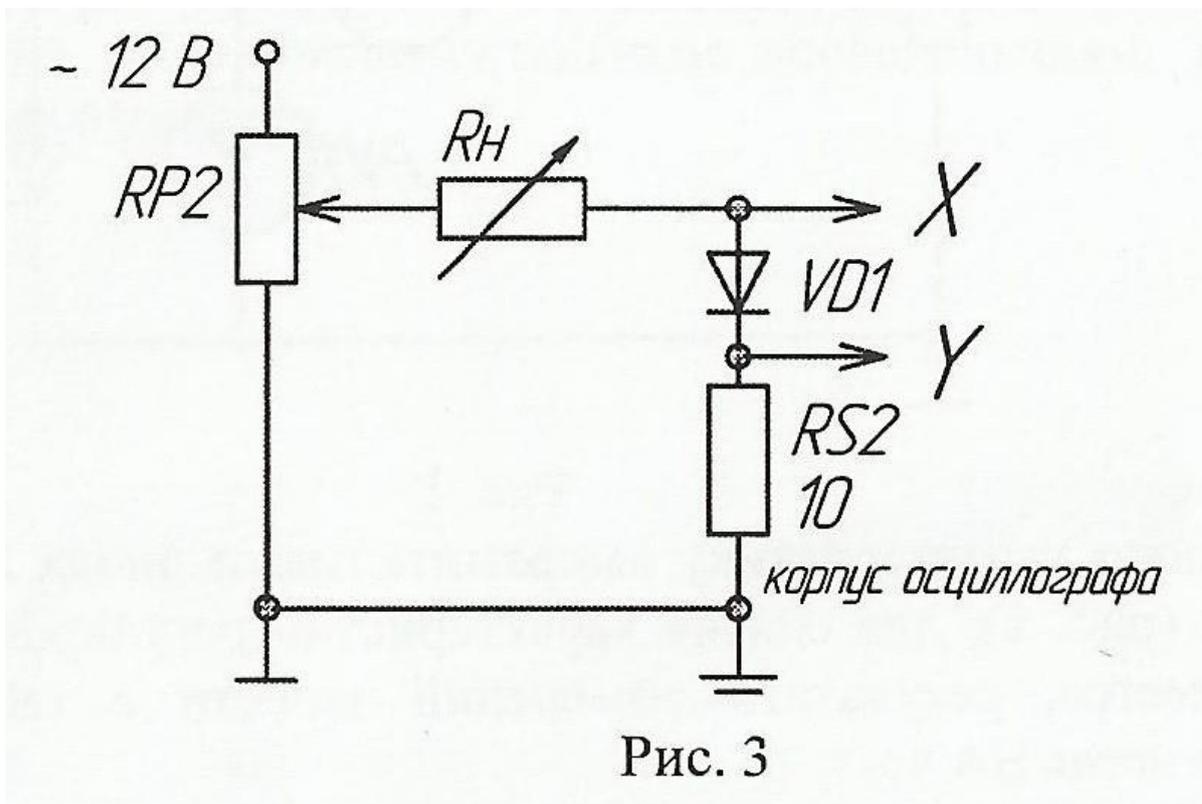
Рис. 2

**В)** определить параметры диода: максимальное напряжение между анодом и катодом в открытом состоянии  $U_{am}$  при максимальном анодном токе  $I_{amax}$ , пороговое напряжение  $U_o$  и дифференциальное сопротивление  $r_d$ ;

**Г)** собрать схему для получения ВАХ диода на экране осциллографа.

Исследование выпрямительного диода выполняется на переменном токе в соответствии с принципиальной схемой рис.3. Вход Y(CH2) осциллографа

подключить к шунту RS2, а корпус осциллографа соединить с общим проводом ( $\perp$ ). Вход X (CH1) осциллографа подключить к аноду диода. При этом переключатель развертки осциллографа должен быть переведен в положение X/Y. Светящуюся точку на экране осциллографа поместить в начало координат. Подать питание. Зарисовать ВАХ диода, определить масштабы по току и напряжению;



Д) определить по осциллограмме параметры диода: максимальное напряжение между анодом и катодом в открытом состоянии  $U_{ам}$  при максимальном анодном токе  $I_{амax}$ , пороговое напряжение  $U_0$  и дифференциальное сопротивление  $r_d$ , сравнить с результатами, полученными на постоянном токе;

#### 4. Экспериментальное исследование диода Шоттки

Выполнить пункты 2а, в для диода Шоттки, используя схему рис.1. ВАХ построить на том же рисунке, что и в п.3. Сравнить ВАХ и параметры диода Шоттки с параметрами и ВАХ обычного выпрямительного диода.

#### 5. Экспериментальное исследование стабилитрона

Выполнить пункты 2а, б, г для стабилитрона, включив в схему резистор  $R_6$ . ВАХ построить на том же рисунке, что и в п.3. Сравнить ВАХ стабилитрона и ВАХ обычного выпрямительного диода. По ВАХ, снятым на постоянном и переменном токе, определить напряжение стабилизации  $U_{ст}$  и дифференциальное сопротивление  $r_{dст}$  (на участке стабилизации), сравнить результаты.

#### 6. Экспериментальное исследование светодиода

Собрать схему для исследования прямой ветви ВАХ светодиода на постоянном токе подробно рис.1, заменив  $VD1$  на  $VD3$ , и подключив в качестве токоограничивающего резистора  $R_6 = 1\text{кОм}$ ; снять ВАХ и посмотреть ее на том же рисунке, что и в п.3. Определить ток, при котором становятся заметным свечение.

## 7. Содержание отчета

Отчет по работе должен содержать:

- Наименование и цель работы
- Схемы соединений для выполненных экспериментов
- Результаты экспериментальных исследований и проведенных по ним расчетов, помещенные в соответствующие таблицы
- Экспериментально снятые и постоянные характеристики
- Обработанные осциллограммы
- Выводы по работе; в выводах обязательно ответить на контрольные вопросы.

## 8. Контрольные вопросы

1. Каковы свойства р-пперехода?
2. Объясните вид ВАХ р-пперехода?
3. Как влияет температура на различные участки ВАХ диода?
4. Как снять по точкам ВАХ диода?
5. Почему на схеме рис. 1 и 2 по-разному включены измерительные приборы?
6. Как снять ВАХ диода с помощью осциллографа?
7. Какие погрешности можно ожидать при осциллографировании по схеме рис.3?
8. Поясните вид ВАХ стабилитрона?
9. Где рабочий участок на ВАХ стабилитрона?
10. Как зависит напряжение стабилизации от температуры?
11. В чем отличие ВАХ выпрямительного диода, диода Шоттки и светодиода?
12. От чего зависит яркость свечения светодиода?
13. Какой элемент обязателен в схеме индикатора на светодиоде?
14. Каким образом на экране осциллографа получают изображение функциональной зависимости двух напряжений?  
Каким образом на экране осциллографа получается изображение периодической функции времени?

## Лабораторная работа №14

### Исследование работы однополупериодного неуправляемого выпрямителя

**Цель работы:** Ознакомление с применением выпрямительных диодов в неуправляемых выпрямителях.

#### 2. Задание и методические указания

1. Предварительное домашнее задание:

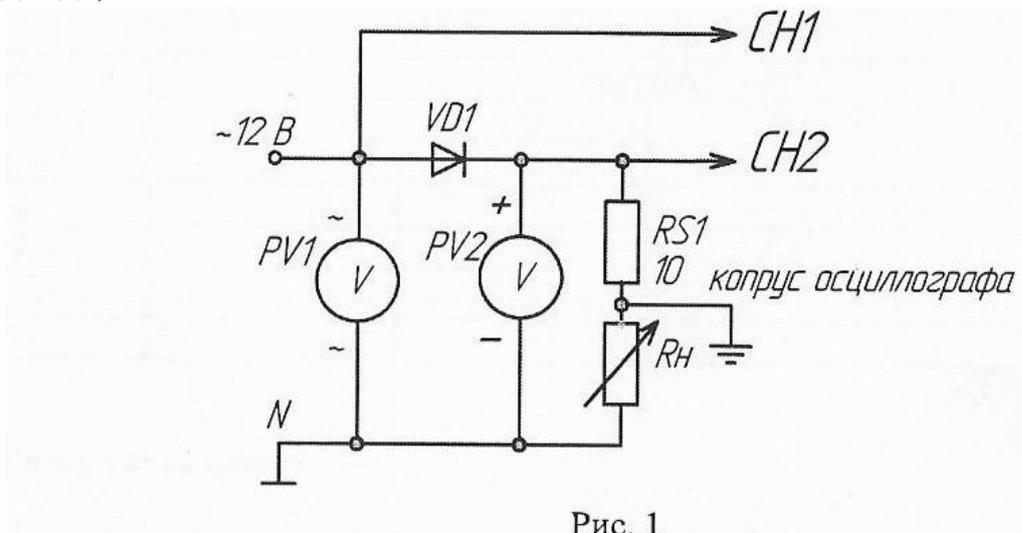
А) изучить темы курса «Диоды», «Неуправляемые выпрямители» и содержание данной работы, быть готовым ответить на все контрольные вопросы.

Б) пользуясь принципиальными схемами, приведенными в руководстве начертить схемы соединений для проведения экспериментов, перечисленных лабораторной работе.

В) построить в масштабе временные диаграммы переменного синусоидального напряжения  $u$ , выпрямленного напряжения  $u_d$ , анодного тока  $i_a$  и напряжения на вентиле  $u_a$ .

#### 3. Экспериментальное исследование однополупериодного выпрямителя на диоде

А) собрать схему выпрямителя по рис.1. В качестве вольтметров использовать мультиметры: PV1 в режиме измерения переменного напряжения, PV2 в режиме измерения постоянного напряжения. Подключить входы осциллографа. Установить синхронизацию от сети. На экране осциллографа Вы увидите осциллограммы анодного тока и напряжения на диоде;



Б) снять осциллограммы напряжения на диоде  $u_a$  и анодного тока  $i_a$ . Снять осциллограмму напряжения на нагрузке  $u_d$ , переключив корпус осциллографа на общий провод ( $\perp$ ), не забудьте определить масштабы по току и напряжению;

В) измерить с помощью вольтметров и определить связь между переменным напряжением питания и постоянным напряжением на нагрузке.

Г) включить конденсатор  $C2$  параллельно сопротивлению нагрузке (рис. 2.); снять осциллограммы напряжения на диоде  $u_a$  и анодного тока  $i_a$ . Снять осциллограмму напряжения на нагрузке  $u_d$ , переключив корпус осциллографа на общий провод ( $\perp$ )

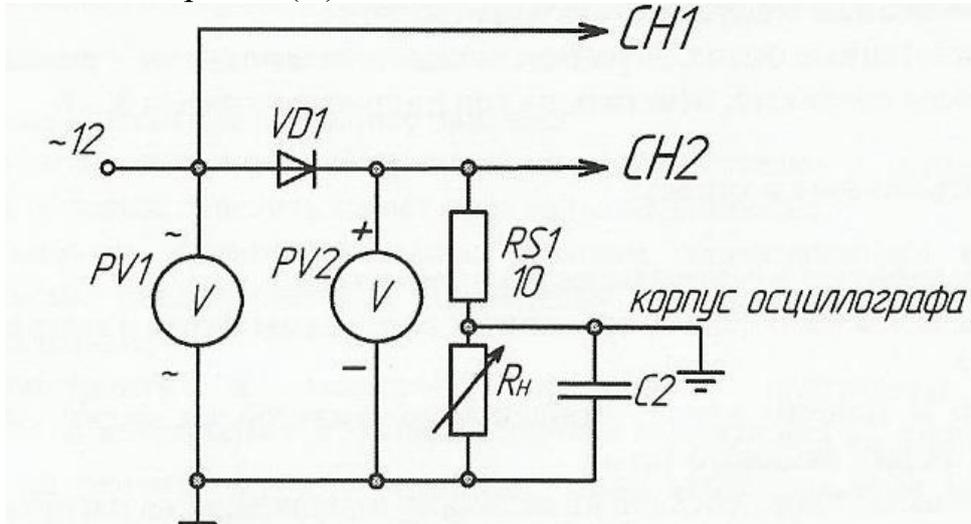


Рис. 2

Д) определить связь между переменным напряжением и постоянным напряжением на нагрузке

Е) включить дроссель последовательно с нагрузкой (рис.3). снять осциллограммы напряжения на диоде  $u_a$  и анодного тока  $i_a$ , снять осциллограмму напряжения на нагрузке  $u_d$ , переключив корпус осциллографа на общий провод ( $\perp$ ).

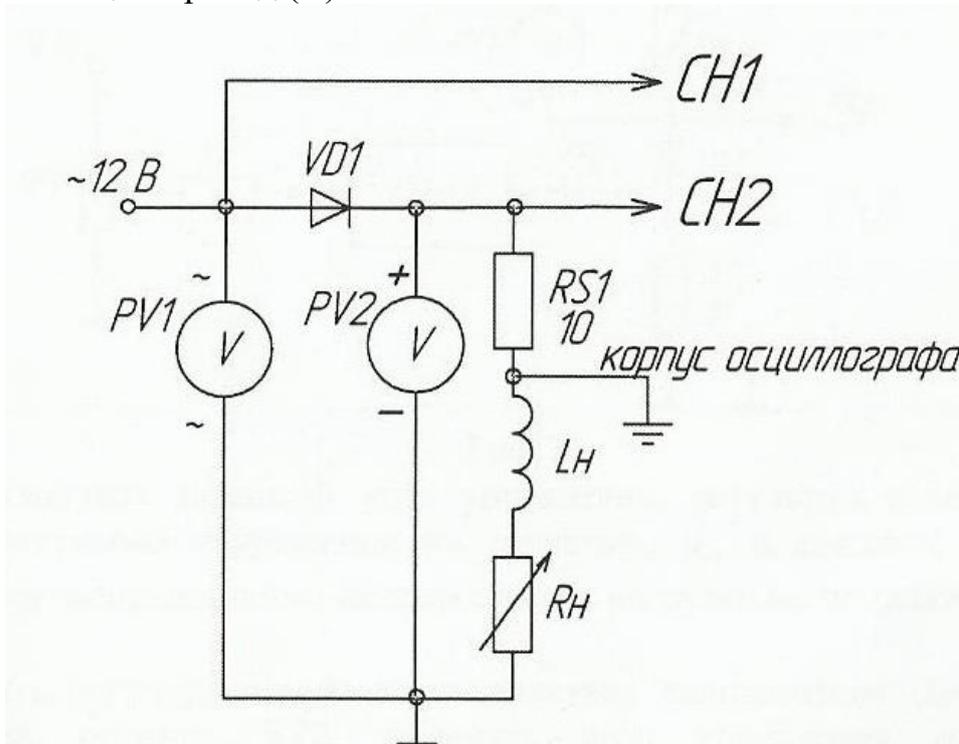


Рис. 3

Ж) определить связь между переменным напряжением и постоянным напряжением

З) сравнить результаты опытов

#### **4. Содержание отчета**

А) Наименование и цель работы

Б) схемы соединений для выполненных экспериментов

В) Результаты экспериментальных исследований и проведенных по ним расчетов, помещенные в соответствующие таблицы

Г) обработанные осциллограммы.

Д) выводы по работе, ответить на контрольные вопросы.

#### **5. Контрольные вопросы**

1. Как работает неуправляемый выпрямитель?

2. Как и для чего стоят временные диаграммы токов и напряжений в схеме выпрямителя?

3. Как и почему влияет конденсатор фильтра на форму напряжения на нагрузке и на форму анодного тока?

4. Как влияет конденсатор на величину напряжения на нагрузке?

5. Как и почему влияет дроссель на напряжение на нагрузке и форму анодного тока?

6. Как и почему влияет дроссель на величину напряжения на нагрузке?

## **Рекомендуемая литература**

### **1 Основная литература**

- 1.1 Касаткина, И. Л. Практикум по общей физике Ростов н/Д.: Феникс, 2009
- 1.2 Бондарев, Б. В., Калашников, Н. П. Курс общей физики: учебник для бакалавров М.: Юрайт, 2013
- 1.3 Кислицын, Н.А. Пластинина Л.И. Электротехника и электроника, Методическое пособие по проведению лабораторных работ. Москва ГОУ «УМЦ ЖДТ» 2011г.

### **2 Дополнительная литература**

- 2.1 Трофимова, Т. И. Руководство к решению задач по физике: учеб. пособие для бакалавров М.: Юрайт, 2013
- 2.2 Присяжнюк, Ю. В., Кирсанов, С. В. Физика. Теория и практика: учеб. пособие для вузов: в 4 ч. Шахты: ЮРГУЭС, 2004

### **3 Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет"**

- Э1 Смондырев, М. А., Калашников, Н. П. Основы физики: учебник для вузов в 2 т. Т.1 / М. А. Смондырев, Н. П. Калашников. - М.: Дрофа, 2007. - 406 с. – Режим доступа: <http://www.biblioclub.ru/book/53426/> (основная литература)
- Э2 Смондырев, М. А., Калашников, Н. П. Основы физики: учебник для вузов в 2 т. Т.2 / М. А. Смондырев, Н. П. Калашников. - М., Дрофа, 2004. - 432 с. – Режим доступа: <http://www.biblioclub.ru/book/53427/> (основная литература)