

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:  
ФИО: Пономарева Светлана Викторовна  
Должность: Проректор по УР и НО  
Дата подписания: 18.09.2023 16:20:38  
Уникальный программный ключ:  
bb52f951011111111111111111111111



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
(ДГТУ)  
АВИАЦИОННЫЙ КОЛЛЕДЖ**

**Методические рекомендации по выполнению практических работ**

по дисциплине ОП.15 Электротехника и электроника

по специальности

15.02.15 Технология металлообрабатывающего производства

Ростов-на-Дону  
2022 г.

## **ПРАВИЛА ТЕХНИКИ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ПРАКТИЧЕСКИХ РАБОТ**

- ✓ Перед сборкой цепи необходимо убедиться, что все коммутационные аппараты на лабораторном стенде отключены
- ✓ Сборку цепи производить только исправными проводниками
- ✓ Включать источники питания и выполнять практическую работу можно только после проверки схемы преподавателем
- ✓ Для выполнения измерений необходимо определить цену деления (постоянную) приборов, входящих в измерительную цепь
- ✓ Если в процессе выполнения работы необходимо сделать некоторые изменения в схеме или переключения, то для этого следует её отключить от источника питания, затем произвести переключения и после проверки преподавателем снова включить
- ✓ Если при выполнении практической работы обнаружены неисправные приборы, следует об этом сообщить преподавателю
- ✓ Запрещается проверять наличие напряжения в цепи посторонними предметами (ручками, линейками и др.)
- ✓ В случае зашкаливания стрелки прибора цепь отключить от источника тока и сменить предел измерения
- ✓ Результаты измерений показать преподавателю до разборки цепи
- ✓ Разбирать цепь только при отключении её от источника
- ✓ После выполнения работы привести в порядок рабочее место

# ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 1

1.1 ТЕМА: Знакомство с правилами эксплуатации приборов

1.2 ЦЕЛЬ: научиться собирать электрическую цепь и пользоваться простейшими электроизмерительными приборами.

1.3 ОБОРУДОВАНИЕ:

1.3.1 омметр;

1.3.2 ЛАТР;

1.3.3 вольтметр;

1.3.4 амперметр;

1.3.5 ваттметр;

1.3.6 резисторы;

1.3.7 соединительные провода.

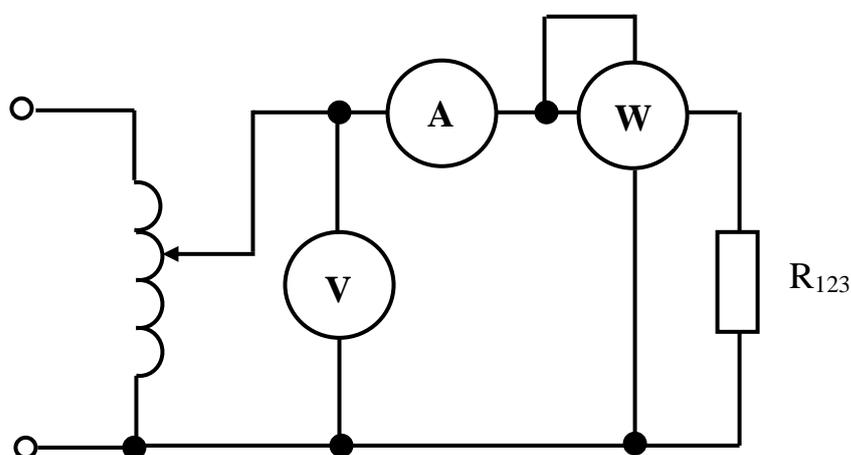


Рисунок 1.1 - Схема соединения приборов

Таблица 1.1 - Результаты измерений

Название прибора	Постоянная (цена деления)	Показания приборов		
Вольтметр				
Амперметр				
Ваттметр				
Омметр				

## 1.4 ХОД РАБОТЫ

1.4.1 Измерить с помощью омметра величины сопротивлений  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$ , значения записать в таблицу 1.1.

1.4.2 Для выполнения измерений определить постоянную (цену деления) каждого прибора и занести в таблицу 1.1.

1.4.3 Собрать электрическую цепь согласно рисунку 1.1. Перед включением стенда установить переключатель ЛАТРа в начальное положение. Снять показания вольтметра, ваттметра и амперметра при различной величине сопротивления

нагрузки, изменяя напряжение цепи в пределах 130-150 В. Показания приборов занести в таблицу 1.1.

1.5 ВЫВОД: перечислить навыки и умения, приобретённые во время выполнения лабораторной работы.

#### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ:

1. Назначение амперметра, вольтметра, ваттметра и омметра.
2. Что определяет цена деления (постоянная) прибора, как ее определить?

Обозначение и единица измерения цены деления.

3. Определение узла электрической цепи.
4. Что называется номинальным значением прибора и как оно обозначается?
5. Определение и обозначение на схеме резистора.
6. Обозначение величины тока, напряжения, мощности, сопротивления, их единицы измерения.
7. Величину сопротивления измеряют при обесточенной цепи или под напряжением?
8. Название элементов электрической цепи.
9. Буквенное обозначение каких параметров имеется в таблице?

## ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 2

2.1 ТЕМА: Проверка закона Ома для участка цепи

2.2 ЦЕЛЬ: опытным путём проверить справедливость закона Ома для участка цепи.

2.3 ОБОРУДОВАНИЕ:

2.3.1 омметр;

2.3.2 вольтметр;

2.3.3 амперметр;

2.3.4 ЛАТР;

2.3.5 резисторы;

2.3.6 соединительные провода.

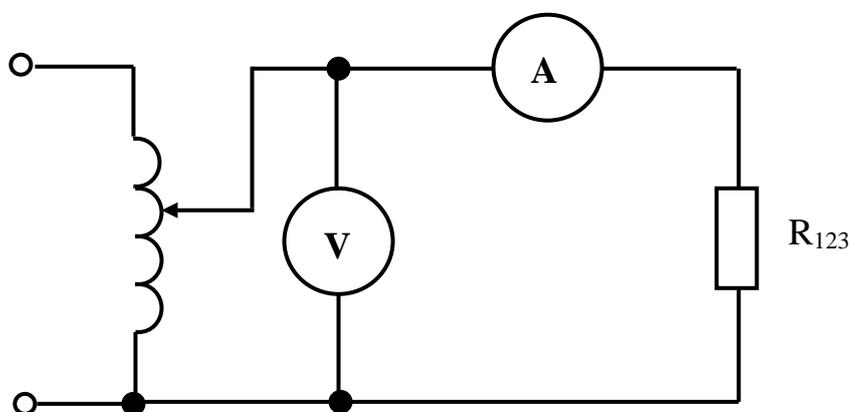


Рисунок 2.1 – Схема соединения приборов

Таблица 2.1 - Результаты измерений и расчётов

$R, \text{ Ом}$	Измерено		Расчёт	Режим проверки
	$U, \text{ В}$	$I, \text{ мА}$	$I, \text{ мА}$	
				$I \text{ от } R$
				$I \text{ от } U$

### 2.4 ХОД РАБОТЫ

2.4.1 Омметром измерить величины сопротивлений и занести в таблицу 2.1, в режим проверки  $I \text{ от } R$ . В режиме  $I \text{ от } U$  принять сопротивление постоянным.

2.4.2 Собрать цепь согласно рисунку 2.1.

2.4.3 Изменяя ЛАТРом напряжение цепи, проследить процесс изменения тока при постоянном сопротивлении нагрузки. Результаты измерений занести в таблицу 2.1.

2.4.4 Установить с помощью ЛАТРа постоянным напряжение цепи и, изменяя сопротивление нагрузки, измерить величину тока. Результаты расчётов занести в таблицу 2.1.

2.4.5 В расчётной части работы, используя формулу закона Ома, рассчитать силу тока цепи. Рассчитанное значение должно быть максимально приближено к измеренному.

2.4.6 В графической части работы по измеренным значениям построить графики зависимости тока от напряжения при постоянном сопротивлении  $I=f(U)$  и тока от сопротивления при постоянном напряжении  $I=f(R)$ .

2.5 ВЫВОД: сделать заключение о подтверждении закона Ома на основании результатов опытов.

#### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ:

1. Закон Ома для участка цепи.
2. Что называется участком цепи?
3. Что обозначают выражения «прямо пропорционально» и «обратно пропорционально»?
4. Какова причина возникновения электрического сопротивления?
5. Как перевести А в мА и мА в А?
6. Назначение потенциометра.
7. Если сопротивление цепи увеличивается до  $\infty$ , что произойдет с током? Как это сделать практически?
8. Если сопротивление цепи равно нулю, что произойдет с током? Когда этот режим наблюдается в электрической цепи?
9. Показать путь тока в цепи.
10. Если изменить напряжение источника, что произойдет с сопротивлением потребителя?

### ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 3

3.1 ТЕМА: Проверка свойств цепи с последовательным соединением резисторов

3.2 ЦЕЛЬ: опытным путём проверить справедливость законов последовательного соединения потребителей в цепи постоянного тока.

3.3 ОБОРУДОВАНИЕ:

3.3.1 омметр;

3.3.2 амперметры;

3.3.3 вольтметр;

3.3.4 резисторы;

3.3.5 соединительные провода.

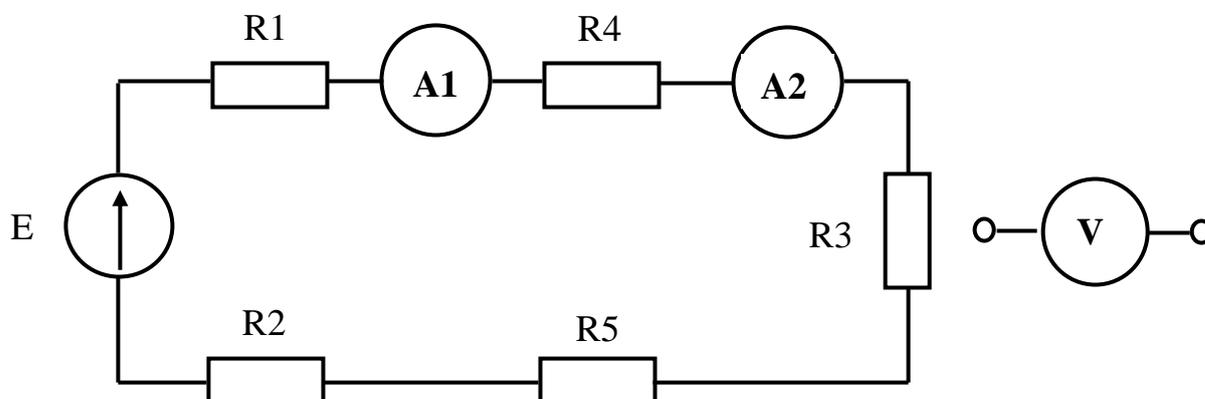


Рисунок 3.1 – Схема соединения приборов

Таблица 3.1 -Результаты измерений и расчётов

Величина сопротивления, Ом	Измерено		Вычислено		Режим работы цепи
	U, В	I, А	R, Ом	P, Вт	
$R_1 =$					Включены все резисторы
$R_2 =$					
$R_3 =$					
$R_4 =$					
$R_5 =$					
$R_{ЭКВ} =$					
$R_1 =$					Отключен резистор $R_5$
$R_2 =$					
$R_3 =$					
$R_4 =$					
$R_{ЭКВ} =$					

### 3.4 ХОД РАБОТЫ

3.4.1 Измерить с помощью омметра величину сопротивлений резисторов и занести в таблицу 3.1.

3.4.2 Собрать цепь согласно рисунку 3.1.

3.4.3 Для режима, когда включены все резисторы, измерить величину тока и напряжения на каждом резисторе и на зажимах цепи.

3.4.4 Отключить резистор  $R_5$  и повторить измерения. Убедиться в том, что с уменьшением числа последовательно соединённых потребителей, увеличивается сила тока цепи.

3.4.5 Результаты всех наблюдений занести в таблицу 3.1.

3.4.6 В расчетной части работы выполнить расчёт сопротивлений и мощности. Сделать сравнение измеренного и рассчитанного значений сопротивлений. Проверить баланс мощностей.

3.5 ВЫВОД: сделать заключение о справедливости законов последовательного соединения потребителей, о характере изменения параметров цепи при снижении числа потребителей.

#### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ:

1. Недостаток последовательного соединения.
2. Как определить эквивалентное сопротивление цепи?
3. Как распределяется напряжение на сопротивлениях в последовательной цепи?
4. Почему сила тока на всех сопротивлениях цепи одинакова?
5. Если замкнуть накоротко один резистор цепи, изменится ли общее сопротивление цепи, если изменится то как?
6. Для чего используется последовательное соединение?
7. Если отключить один из резисторов, чему будет равно общее сопротивление цепи?
8. Как проверить правильность измерения общего напряжения цепи используя законы электротехники?
9. Как проверить правильность расчета величины мощности цепи?
10. Показать путь тока в цепи при коротком замыкании одного из резисторов и при его отключении.

## ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 4

4.1 ТЕМА: *Исследование цепи переменного тока с последовательным соединением активного сопротивления и индуктивности*

4.2 ЦЕЛЬ: *определить параметры цепи, построить векторные диаграммы.*

4.3 ОБОРУДОВАНИЕ:

4.3.1 ЛАТР;

4.3.2 вольтметры;

4.3.3 амперметр;

4.3.4 ваттметр;

4.3.5 резистор;

4.3.6 катушка индуктивности;

4.3.7 соединительные провода.

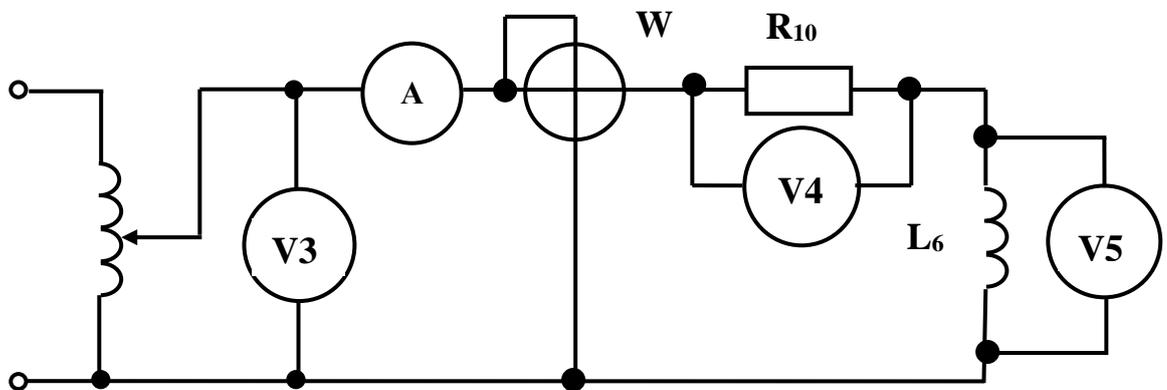


Рисунок 4.1 – Схема соединения приборов

Таблица 4.1 - Результаты измерений и расчётов

Измерено					Вычислено						
$U$	$U_a$	$U_L$	$I$	$P$	$Z$	$R$	$X_L$	$L$	$Q$	$S$	$\cos\varphi$
В			А	Вт	Ом			Гн	вар	ВА	

### 4.4 ХОД РАБОТЫ

4.4.1 Собрать цепь согласно рисунку 4.1.

4.4.2 Изменяя ЛАТРОм напряжение источника питания с помощью измерительных приборов определить ток, напряжение и активную мощность цепи, показания занести в таблицу 4.1.

4.4.3 В расчётной части работы, используя формулы, определить параметры цепи, указанные в таблице 8.1.

4.4.4. В графической части построить векторные диаграммы тока и напряжений для любого из опытов.

4.5.ВЫВОД: указать, как изменяется коэффициент мощности цепи при изменении напряжения источника.

#### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ:

1. Какое сопротивление называется активным?
2. Почему ток на индуктивности отстает на  $90^0$  от напряжения?
3. При построении векторной диаграммы, какой вектор принимают за общий и почему?
4. Чем определяется наличие индуктивного сопротивления в катушке индуктивности?
5. Как изменить индуктивность катушки, единицы ее измерения?
6. Объяснить принцип построения векторной диаграммы.
7. Какая катушка индуктивности называется реальной?
8. Почему при построении векторной диаграммы вектор напряжения индуктивности откладывается от конца вектора напряжения на активном сопротивлении?
9. Какой угол сдвига по фазе между током и напряжением на активном сопротивлении?
10. Формула индуктивного сопротивления.

## ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 5

5.1 ТЕМА: *Исследование цепи трёхфазного тока при соединении потребителей «звездой»*

5.2 ЦЕЛЬ: *определить параметры при различных режимах работы.*

5.3 ОБОРУДОВАНИЕ:

5.3.1 *вольтметры;*

5.3.2 *амперметры;*

5.3.3 *ваттметр;*

5.3.4 *резисторы;*

5.3.5 *соединительные провода.*

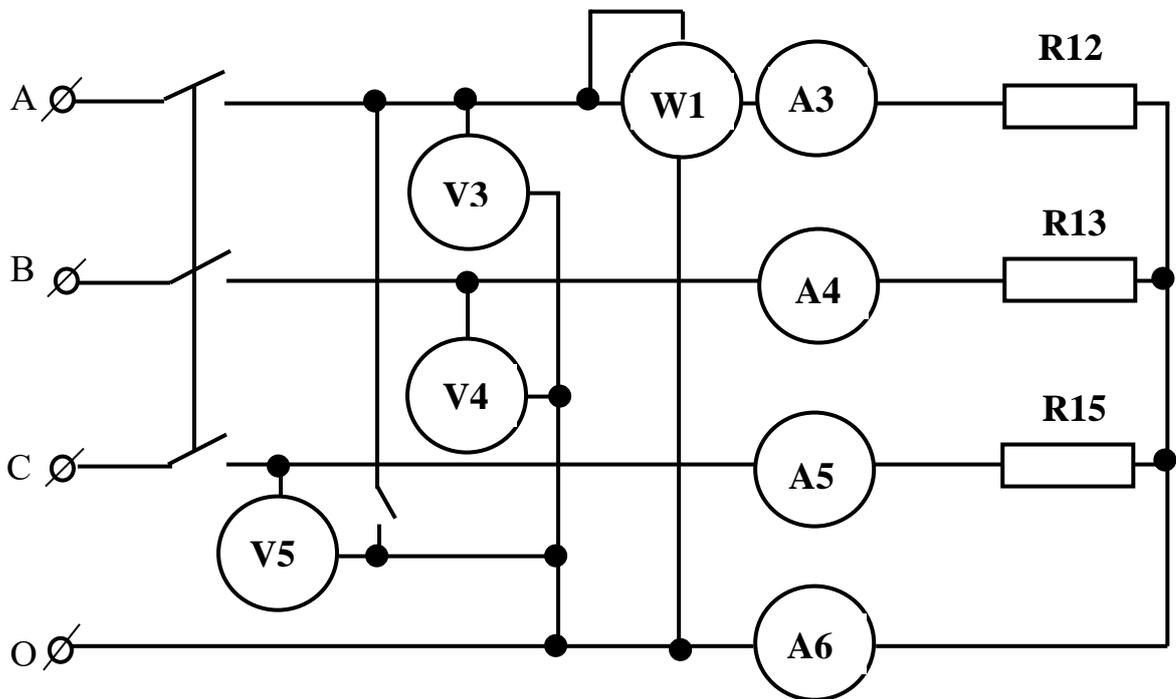


Рисунок 5.1 – Схема соединения приборов

Таблица 5.1 - Результаты измерений и расчётов

Характер нагрузки	Показания приборов								Вычислено
	$U_L$	$U_A$	$U_B$	$U_C$	$I_A$	$I_B$	$I_C$	$P_A$	$I_o$
	В				А			Вт	А
Равномерная с нулевым проводом									
Равномерная без нулевого провода									

<i>Неравномерная с нулевым проводом</i>									
<i>Неравномерная без нулевого провода</i>									

## 5.4 ХОД РАБОТЫ

5.4.1 Собрать цепь согласно рисунку 5.1

5.4.2 Установить в фазах потребителя равномерную нагрузку (при закороченном сопротивлении  $R_{14}$ ) и измерить фазные и линейные напряжения и токи, активную мощность фазы А. Измерения провести для случая с нулевым проводом и без него.

5.4.3 Повторить измерения при неравномерной нагрузке. Для этого последовательно с  $R_{15}$  включить  $R_{14}$ .

5.4.4 В графической части работы построить векторные диаграммы для опытов с нулевым проводом при равномерной и неравномерной нагрузках фаз, определить графическим способом ток в нулевом проводе.

5.5 ВЫВОД: сравнить величину тока в нулевом проводе измеренную и полученную путём построения.

### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ:

1. Роль нулевого провода.
2. Преимущество соединения «звездой».
3. Как определить ток в нулевом проводе?
4. Соотношение между линейными и фазными токами и напряжениями.
5. Что представляет собой симметричная и несимметричная нагрузка?
6. Когда в нулевом проводе отсутствует ток?
7. Привести схему соединения идеальных катушек индуктивности.

## ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 6

6.1 ТЕМА: *Ознакомление с устройством приборов различных систем*

6.2 ЦЕЛЬ: *практически изучить конструкцию приборов наиболее распространённых систем.*

6.3 ОБОРУДОВАНИЕ:

6.3.1 *прибор магнитоэлектрической системы;*

6.3.2 *прибор электромагнитной системы.*

Таблица 6.1 - Технические характеристики приборов

Название прибора	Система	Тип прибора	Род и характер измеряемой величины	Класс точности	Границы измерения	Цена деления	Категория защиты	Группа эксплуатации	Заводской номер	Год выпуска	Напряжение испытания изоляции

Таблица 6.2 - Конструктивные особенности приборов

Название прибора	Корпус		Тип шкалы	Тип стрелки	Система успокоения	Наличие корректора	Положение прибора при измерении	Примечание
	конструкция	материал						

### 6.4 ХОД РАБОТЫ

6.4.1 Путём внешнего осмотра определить технические характеристики приборов и занести их в таблицу 6.1.

6.4.2 Снять корпус и детально изучить устройство приборов. Конструктивные особенности приборов занести в таблицу 6.2.

6.5 Вывод: указать характерные особенности приборов магнитоэлектрической и электромагнитной систем.

#### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ:

1. В цепях какого тока могут работать приборы магнитоэлектрической и электромагнитной систем?
2. Почему у приборов электромагнитной системы неравномерная шкала?
3. Что используют у приборов магнитоэлектрической системы для защиты от внешних магнитных полей?
4. Дать определение равномерной шкале.
5. Назначение корректора у прибора.
6. Что обозначает тип прибора?
7. Какие устройства используют для расширения пределов измерения приборов магнитоэлектрической системы?
8. Что показывает класс точности прибора?
9. Измерение прибором какой системы точнее? Почему?

## ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 7

7.1 ТЕМА: Снятие входных и выходных характеристик транзистора

7.2 ЦЕЛЬ: опытным путем снять и построить входные и выходные характеристики транзистора.

7.3 ОБОРУДОВАНИЕ:

7.3.1 миллиамперметры;

7.3.2 вольтметры;

7.3.3 потенциометры;

7.3.4 транзистор;

7.3.5 соединительные провода.

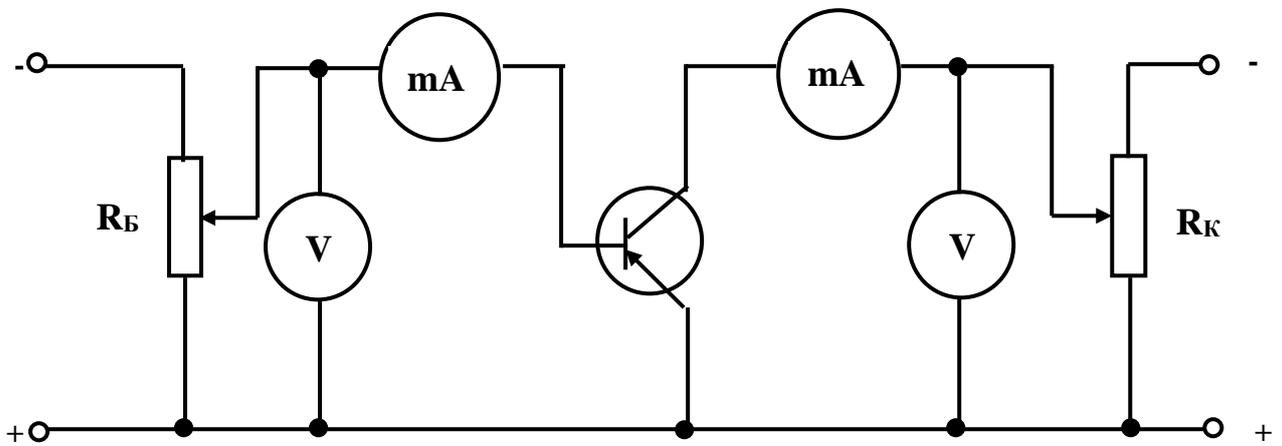


Рисунок 7.1 – Схема соединения приборов

Таблица 7.1 - Результаты измерений выходных характеристик

$I_{\beta 1} = \dots, \text{мкА}$		$I_{\beta 2} = \dots, \text{мкА}$		$I_{\beta 3} = \dots, \text{мкА}$	
$U_K, \text{В}$	$I_K, \text{мА}$	$U_K, \text{В}$	$I_K, \text{мА}$	$U_K, \text{В}$	$I_K, \text{мА}$

Таблица 7.2 - Результаты измерений входных характеристик

$U_{K1} = \dots, \text{В}$		$U_{K2} = \dots, \text{В}$		$U_{K3} = \dots, \text{В}$	
$U_{\beta}, \text{мВ}$	$I_{\beta}, \text{мкА}$	$U_{\beta}, \text{мВ}$	$I_{\beta}, \text{мкА}$	$U_{\beta}, \text{мВ}$	$I_{\beta}, \text{мкА}$

## 7.4 ПОРЯДОК ИССЛЕДОВАНИЯ

7.4.1 Собрать схему согласно рисунку 7.1.

7.4.2 Установить потенциометры в такое положение, при котором напряжения на базе и коллекторе транзистора равны нулю. Затем при нескольких значениях базового тока  $I_b$  снять семейство выходных характеристик  $I_k=f(U_k)$  при  $I_b=\text{const}$ , данные занести в таблицу 7.1.

7.4.3 Снять семейство входных характеристик, представляющих собой зависимость  $I_b=f(U_b)$  при  $U_k=\text{const}$ , данные замеров занести в таблицу 7.2.

7.4.4 Построить семейство входных и выходных характеристик по данным таблиц 7.1 и 7.2.

7.4.5 Объяснить построение характеристик транзистора, включенного по схеме с ОЭ.

7.5 ВЫВОД: сделать заключение по работе.

### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ:

1. Привести схемы включения транзистора.
2. Почему базу транзистора выполняют очень тонкой?
3. Назначение и определение транзистора.
4. Почему изменение тока базы приводит к изменению тока коллектора?

## ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 8

8.1 ТЕМА: *Исследование работы тиристора*

8.2 ЦЕЛЬ: *исследовать свойства тиристора при включении его в цепь постоянного и переменного тока.*

8.3 ОБОРУДОВАНИЕ:

8.3.1 *тиристор типа КУ 201;*

8.3.2 *миллиамперметр;*

8.3.3 *милливольтметр;*

8.3.4 *вольтметр;*

8.3.5 *амперметр;*

8.3.6 *потенциометры*

8.3.7 *источник питания переменного и постоянного тока;*

8.3.8 *соединительные провода.*

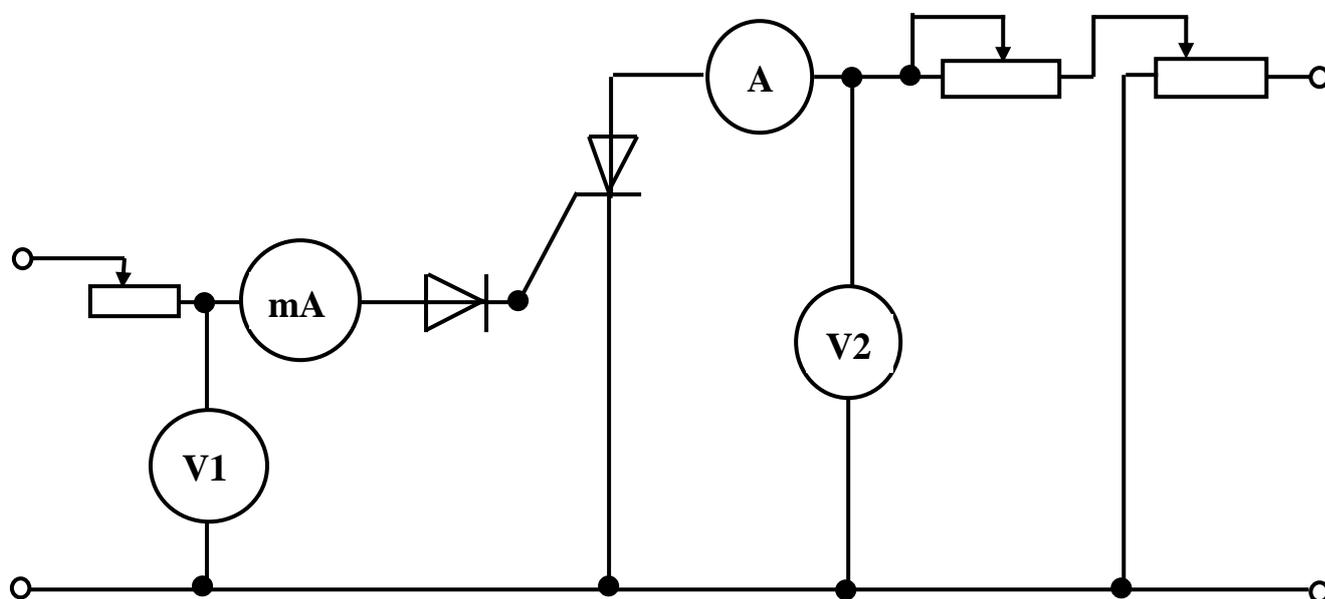


Рисунок 8.1 – Схема соединения приборов

Таблица 8.1 - Результаты измерений

$U_a(\text{вкл}), \text{В}$	$I(\text{вкл}), \text{мА}$	$U_y, \text{В}$	$I_y, \text{мА}$

Таблица 8.2 – Результаты измерений

$U_a, \text{В}$					
$I_a, \text{мА}$					

Таблица 8.3 - Результаты измерений

$I_{упр}$				
-----------	--	--	--	--

mA				
U <sub>вкл</sub> В				

## 8.4 ПОРЯДОК ИССЛЕДОВАНИЯ

8.4.1 Собрать схему согласно рисунку 8.1.

8.4.2 Установить резисторы R1 и R2 в такое положение, при котором напряжение на аноде тиристора будет минимальным. Уменьшая плавно величину сопротивления резисторов R1 и R2 по вольтметру наблюдать рост анодного напряжения U<sub>a</sub> до U<sub>пер</sub>. При этом зафиксировать момент включения тиристора по броску тока. По данным наблюдения построить зависимость I<sub>пр</sub>=f(U)<sub>пр</sub>.

8.4.3 Уменьшая величину анодного напряжения U<sub>a</sub>, добиться выключения тиристора, отметив при этом величину тока выключения и выключить цепь. Зависимость I<sub>пр</sub>=f(U)<sub>пр</sub> построить по данным таблиц 8.1, 8.2.

8.4.4 Установить с помощью резисторов R1 и R2 минимальное напряжение на аноде, а резистором R3 минимальное напряжение на управляющем электроде U<sub>y</sub>. Далее с помощью резистора R3 установить фиксированную величину тока управления I<sub>y</sub>. Увеличивать анодное напряжение до величины срабатывания тиристора. Зафиксировать момент включения тиристора.

8.4.5 Затем, увеличивая значение тока управления, вновь добиться включения тиристора фиксируя при этом величину U<sub>вкл</sub>. Результаты измерений занести в таблицу 8.3. Опыты повторить несколько раз.

8.4.6 По данным построить график зависимости U<sub>a</sub>=f(I<sub>y</sub>). Вновь включить тиристор с помощью I<sub>y</sub>, а затем снять управляющее напряжение и, уменьшая анодное напряжение до напряжения включения тиристора, зафиксировать величину тока выключения I<sub>вык</sub>.

8.4.7 Сделать письменный анализ исследования работы тиристора.

8.5 ВЫВОД: сделать заключение по работе.

### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ:

1. Назначение управляющего электрода тиристора.
2. Способы отключения тиристора.
3. Как изменение тока управления влияет на величину напряжения включения?
4. Название электродов и переходов тиристора.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 9

9.1 ТЕМА: *Исследование работы магнитного усилителя*

9.2 ЦЕЛЬ: *научиться исследовать работу магнитного усилителя в усилительном режиме, а также снимать рабочие характеристики.*

9.3 ОБОРУДОВАНИЕ:

9.3.1 *стенд по электронике;*

9.3.2 *вольтметр 0-150 В;*

9.3.3 *вольтметр постоянного напряжения 0-150 В;*

9.3.4 *амперметр 0-5 А, миллиамперметр 0-250 мА.*

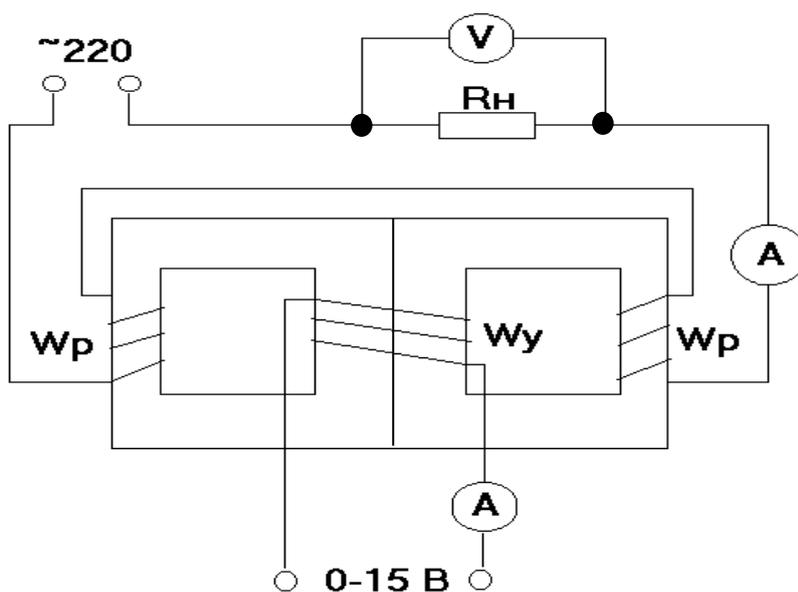


Рисунок 9.1 – Схема соединения приборов

Таблица 9.1 - Результаты измерений и расчетов

$I_y, A$	$U_y, B$	$I_p, mA$	$U_p, B$	$k$
0	0	40	15	
0,1	5	65	70	
0,2	10	80	130	
0,3	15	110	160	

### 9.4 ПОРЯДОК ИССЛЕДОВАНИЯ

9.4.1 Собрать цепь согласно рисунку 9.1.

9.4.2 Ознакомьтесь с устройством, принципом действия магнитного усилителя. Особое внимание уделить роли обмоток и их обозначению. Снять статическую характеристику магнитного усилителя  $I_p = f(I_y)$  для двух направлений тока управления  $I_y$ .

9.4.3 Подать напряжение на рабочую обмотку. Произвести замеры  $I_p$  и  $U_p$  при  $I_y=0$ , т.е. в режиме холостого хода. Увеличить значения  $I_y$ , при этом измерить значения  $I_p$  и  $U_p$ . Данные измерений занести в таблицу 9.1.

9.4.4 Вычислить коэффициент усиления  $k$  для значений тока  $I_y$ . Коэффициент усиления магнитного усилителя определяется по формуле:

$$k = \frac{U_H - U_{XX}}{U_y}$$

9.4.5 По данным таблицы 9.1 построить статическую характеристику  $I_p=f(I_y)$ .

9.4.6 Сделать письменный анализ исследования магнитного усилителя.

9.5 ВЫВОД: сделать заключение по работе.

#### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. С какой целью сердечник магнитного усилителя выполняют из двух частей?
2. Назначение обмотки управления магнитного усилителя
3. Почему изменение магнитной проницаемости сердечника приводит к изменению тока в рабочей обмотке?

## РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Гальперин М.В. Электротехника и электроника: Учебник - М: Форум, 2016.
2. Крутов, А.В. Теоретические основы электротехники: учебное пособие – Минск, 2016.
3. Сиднеев Ю.Г. Электротехника с основами электроники: - Феникс, 2009.
4. Савилов Г.В. Электротехника и электроника: курс лекций – Москва, 2009.