

Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.»

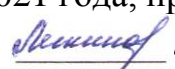
Филиал федерального государственного бюджетного образовательного  
учреждения высшего образования  
«Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.»  
в г. Петровске

УТВЕРЖДАЮ  
Директор филиала СГТУ  
имени Гагарина Ю.А. в г.Петровске  
Е.А.Бесшапошникова  
«30» июня 2021 г.



## МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

по междисциплинарному курсу  
МДК. 01.01 «Электроснабжение электротехнического оборудования»  
специальности  
13.02.07 «Электроснабжение (по отраслям)»

Методические указания рассмотрены  
на заседании предметной (цикловой)  
комиссии общепрофессиональных дисциплин,  
профессиональных модулей специальностей  
технического профиля  
«14» июня 2021 года, протокол № 13  
Председатель ПЦК  /Т.А.Лескина/

Петровск 2021

## **Пояснительная записка**

Методические указания по выполнению лабораторных работ разработаны в соответствии с рабочей программой профессионального модуля ПМ.01 «Организация электроснабжения электрооборудования по отраслям», требованиями Федерального государственного образовательного стандарта (далее – ФГОС) по специальности среднего профессионального образования (далее – СПО) 13.02.07 Электроснабжение (по отраслям), утвержденного приказом Министерства образования и науки РФ от 14.12.2017 № 1216 и соответствующих общих (ОК) и профессиональных (ПК) компетенций:

- ОК 01    Выбирать способы решения задач профессиональной деятельности, применительно к различным контекстам.
- ОК 02    Осуществлять поиск, анализ и интерпретацию информации, необходимой для выполнения задач профессиональной деятельности.
- ОК 03    Планировать и реализовывать собственное профессиональное и личностное развитие.
- ОК 04    Работать в коллективе и команде, эффективно взаимодействовать с коллегами, руководством, клиентами.
- ОК 05    Осуществлять устную и письменную коммуникацию на государственном языке Российской Федерации с учетом особенностей социального и культурного контекста
- ОК 06    Проявлять гражданско-патриотическую позицию, демонстрировать осознанное поведение на основе традиционных общечеловеческих ценностей.
- ОК 07    Содействовать сохранению окружающей среды, ресурсосбережению, эффективно действовать в чрезвычайных ситуациях.
- ОК 08    Использовать средства физической культуры для сохранения и укрепления здоровья в процессе профессиональной деятельности и поддержания необходимого уровня физической подготовленности
- ОК 09    Использовать информационные технологии в профессиональной деятельности.
- ОК 10    Пользоваться профессиональной документацией на государственном и иностранном языках.
- ОК 11    Использовать знания по финансовой грамотности, планировать предпринимательскую деятельность в профессиональной сфере.
- ПК 1.1    Выполнять основные виды работ по проектированию электроснабжения электротехнического и электротехнологического оборудования.

Изучение профессионального модуля направлено на освоение основного вида деятельности «Организация электроснабжения электрооборудования по отраслям».

При выполнении лабораторных работ студент должен **уметь:**

- разрабатывать электрические схемы электроснабжения электротехнического и электротехнологического оборудования по отраслям;
- заполнять дефектные ведомости, ведомости объема работ с перечнем необходимых запасных частей и материалов, маршрутную карту, другую техническую документацию; схема распределительных сетей 35 кВ, находящихся в зоне эксплуатационной ответственности;
- читать простые эскизы и схемы на несложные детали и узлы;
- пользоваться навыками чтения схем первичных соединений электрооборудования электрических станций и подстанций;
- читать схемы первичных соединений электрооборудования электрических станций и подстанций;
- осваивать новые устройства (по мере их внедрения);
- организация разработки и пересмотра должностных инструкций подчиненных работников более высокой квалификации;
- читать схемы питания и секционирования контактной сети и воздушных линий электропередачи в объеме, необходимом для выполнения простых работ по техническому обслуживанию и текущему ремонту контактной сети, воздушных линий электропередачи под напряжением и вблизи частей, находящихся под напряжением;
- читать схемы питания и секционирования контактной сети в объеме, необходимом для выполнения работы в опасных местах на участках с высокоскоростным движением;
- читать принципиальные схемы устройств и оборудования электроснабжения в объеме, необходимом для контроля выполнения работ по техническому обслуживанию и ремонту оборудования тяговых и трансформаторных подстанций, линейных устройств системы тягового электроснабжения.

При выполнении лабораторных работ студент должен **знать:**

- устройство электротехнического и электротехнологического оборудования по отраслям;
- устройство и принцип действия трансформатора. Правила устройства электроустановок;
- устройство и назначение неактивных (вспомогательных) частей трансформатора;
- принцип работы основного и вспомогательного оборудования распределительных устройств средней сложности напряжением до 35 кВ;
- конструктивное выполнение распределительных устройств;
- конструкция и принцип работы сухих, масляных, двухобмоточных силовых трансформаторов мощностью до 10 000 кВА напряжением до 35 кВ;

- устройство, назначение различных типов оборудования (подвесной, натяжной изоляции, шинопроводов, молниезащиты, контуров заземляющих устройств), области их применения;
- элементы конструкции закрытых и открытых распределительных устройств напряжением до 110 кВ, минимальные допускаемые расстояния между оборудованием;
- устройство проводок для прогрева кабеля;
- устройство освещения рабочего места;
- назначение и устройство отдельных элементов контактной сети и трансформаторных подстанций;
- назначение устройств контактной сети, воздушных линий электропередачи;
- назначение и расположение основного и вспомогательного оборудования на тяговых подстанциях и линейных устройствах тягового электроснабжения;
- контроль соответствия проверяемого устройства проектной документации и взаимодействия элементов проверяемого устройства между собой и с другими устройствами защит;
- устройство и способы регулировки вакуумных выключателей и элегазового оборудования;
- изучение устройства и характеристик, отличительных особенностей оборудования нового типа, принципа работы сложных устройств автоматики оборудования нового типа интеллектуальной основе;
- однолинейные схемы тяговых подстанций.

Содержание лабораторных занятий определено рабочей программой и тематическим планированием, соответствует теоретическому материалу изучаемых разделов междисциплинарного курса.

Объём лабораторных занятий определяется учебным планом по данной специальности.

Продолжительность лабораторного занятия - 2 академических часа. Перед проведением лабораторного занятия преподавателем организуется инструктаж, а по ее окончании – обсуждение итогов.

Комплект методических указаний по выполнению лабораторных работ междисциплинарного курса содержит 16 лабораторных занятий.

## **ПЕРЕЧЕНЬ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ.**

МДК.01.01 Электроснабжение электротехнического оборудования

### **ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №1**

Тема: Испытание генератора постоянного тока независимого возбуждения.

### **ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №2**

Тема: Испытание генераторов постоянного тока параллельного возбуждения.

### **ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №3**

Тема: Испытание генераторов постоянного тока смешанного возбуждения.

### **ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №4**

Тема: Испытание двигателя постоянного тока последовательного возбуждения.

### **ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №5**

Тема: Определение группы соединения трёхфазного трансформатора

### **ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №6**

Тема: Испытание трёхфазного трансформатора методом холостого хода и короткого замыкания.

### **ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №7**

Тема: Исследование параллельной работы трансформаторов.

### **ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №8**

Тема: Испытания асинхронного двигателя с фазным ротором методом холостого хода и короткого замыкания.

### **ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №9**

Тема: Испытание индукционного регулятора.

### **ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №10**

Тема: Испытание трёхфазного синхронного генератора.

### **ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №11**

Тема: Изучение конструкции, параметров автоматических выключателей

### **ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №12**

Тема: Изучение конструкции, параметров автоматических выключателей

### **ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №13**

Тема: Изучение конструкции и параметров разъединителей для внутренней и наружной установки.

### **ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №14**

Тема: Изучение конструкции и параметров разъединителей для внутренней и наружной установки.

### **ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №15**

Тема: Изучение конструкции и параметров вакуумных выключателей

### **ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №16**

Тема: Изучение конструкции и параметров вакуумных выключателей

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1

**Тема:** Испытание генератора постоянного тока независимого возбуждения.

**Цель работы:** Испытание генератора постоянного тока независимого возбуждения.

### Справочный материал

Сопротивления в электрических цепях могут быть соединены последовательно и параллельно. Последовательным называют такое соединение элементов цепи, при котором во всех включенных в цепь элементах возникает один и тот же ток  $I$ . Недостаток последовательного включения элементов заключается в том, что при выходе из строя хотя бы одного элемента, прекращается работа всех остальных элементов цепи.

### Оборудование

Источник электрической энергии постоянного тока - 30 В

Вольтметр- 2 шт. (0÷30)В

Амперметр - 1 шт. (0÷2)А

Магазин сопротивлений - 3 шт. (0÷60)Вт

Реостат -1 шт.

### Ход работы

1. Определить размещение приборов на столе.
2. Собрать электрическую схему цепи (рисунок 1), определить цену деления приборов.
3. Установить заданные преподавателем параметры сопротивлений на магазинах.
4. Предъявить собранную схему для проверки преподавателю.
5. Включить автомат (постоянного тока), установить при помощи реостата заданное напряжение по вольтметру результаты записать их в таблицу 1.
6. Переносным вольтметром измерить напряжение на клеммах резисторов  $R_1, R_2, R_3$ , а так же ток цепи, результаты записать их в таблицу 1.
7. Убедиться, что:  $U_{\text{ц}} = U_1 + U_2 + U_3$ ;  $R = R_1 + R_2 + R_3$ ;  $P = P_1 + P_2 + P_3$ ;  $P_1 = U_1 I = R_1 I^2$ ;  $P_2 = U_2 I = R_2 I^2$ ;  $P_3 = U_3 I = R_3 I^2$ ;  $R_1 = U_1 / I$ ;  $R_2 = U_2 / I$ ;  $R_3 = U_3 / I$ ;  $R_{\text{ц}} = U_{\text{ц}} / I$ ;

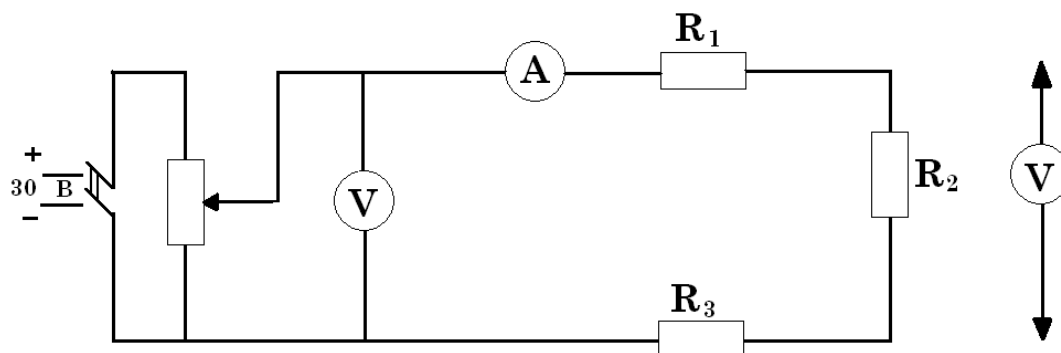


Рисунок 1 – Электрическая схема

Таблица – Результаты измерений

Участок цепи	U	I	P	R
	R	A	Вт	Ом
Резистор №1				
Резистор №2				
Резистор №3				
Вся цепь				

### Контрольные вопросы

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

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2

**Тема:** Испытание генераторов постоянного тока параллельного возбуждения.

**Цель работы:** Испытание генераторов постоянного тока параллельного возбуждения

### Справочный материал

Сопротивления в электрических цепях могут быть соединены последовательно и параллельно.

Параллельным называют такое соединение, при котором все включенные в цепь потребители электрической энергии, находятся под одним и тем же напряжением эквивалентная проводимость цепи равна арифметической сумме проводимостей отдельных ветвей. По мере роста числа параллельно включенных потребителей проводимость цепи  $g_{\text{экв}}$  возрастает, и наоборот, общее сопротивление  $R_{\text{экв}}$  уменьшается. По параллельно включенной схеме работают в номинальном режиме потребители любой мощности, рассчитанные на одно и то же напряжение. Причем включение или отключение одного или нескольких потребителей не отражается на работе остальных. Поэтому эта схема является основной схемой подключения потребителей к источнику электрической энергии.

### Оборудование

Источник электрической энергии постоянного тока - 30 В

Вольтметр- 2 шт. (0÷30)В

Амперметр - 1 шт. (0÷2)А

Магазин сопротивлений - 3 шт. (0÷60)Вт

Реостат -1 шт.

### Ход работы

1. Определить размещение приборов на столе.
  2. Собрать электрическую схему цепи (рисунок 2), определить цену деления приборов.
  3. Установить заданные преподавателем параметры сопротивлений на магазинах.
  4. Предъявить собранную схему для проверки преподавателю.
  5. Включить автомат (постоянного тока), установить при помощи реостата заданное напряжение по вольтметру результаты записать их в таблицу 2.
  6. Записать показания амперметров в таблицу 2.
- Убедиться, что:  $I_{\Sigma} = I_1 + I_2 + I_3$ ;  $q = q_1 + q_2 + q_3$ ;  $q_1 = 1/R_1$ ;  $q_2 = 1/R_2$ ;  $q_3 = 1/R_3$ ;  $q_{\Sigma} = 1/R_{\Sigma}$ ;  $I_1 = U/R_1$ ;  $I_2 = U/R_2$ ;  $I_3 = U/R_3$ ;  $I_{\Sigma} = U/R_{\Sigma}$ ;
7. Сделать вывод.

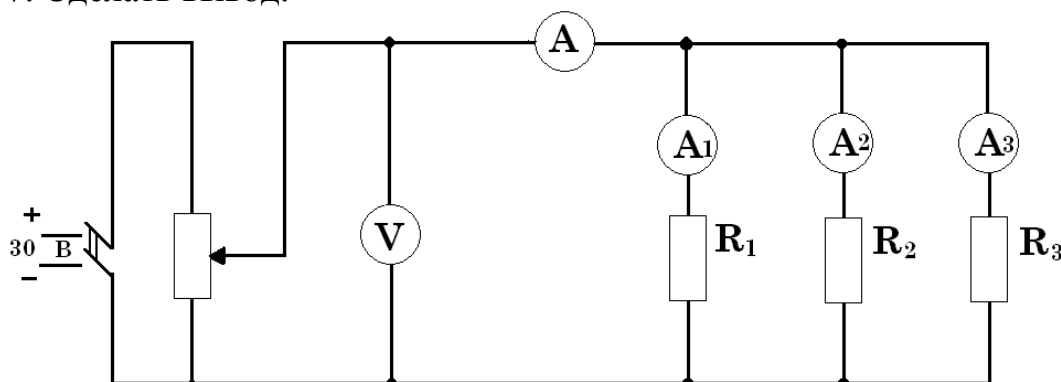


Рисунок 2 – Электрическая схема

Таблица 2 – Результаты измерений

Участок цепи	U	I	P	R	q
	В	А	Вт	Ом	1/Ом
Резистор №1					
Резистор №2					
Резистор №3					
Вся цепь					

### Контрольные вопросы

6. Какое соединение резисторов называют параллельным?
7. Как определить общее сопротивление резисторов при параллельном соединении?
8. Что называется проводимостью, и в каких единицах измеряется?
9. Чему равен общий ток цепи и напряжение на участках при параллельном соединении?
10. Как определить мощность на участках цепи и всей цепи при параллельном соединении?



## **ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3**

**Тема:** Испытание генераторов постоянного тока смешанного возбуждения.

**Цель работы:** Испытание генераторов постоянного тока смешанного возбуждения.

### **Справочный материал**

Первый закон Кирхгофа: алгебраическая сумма токов в узле электрической цепи равна нулю, или сумма токов, направленных к узлу, равна сумме токов, направленных от узла.

Второй закон Кирхгофа: алгебраическая сумма ЭДС в замкнутом контуре равна алгебраической сумме падений напряжений в этом же контуре

Узел – место соединения трех и более ветвей.

Ветвь – электрической цепи (схемы) участок цепи с одним и тем же током

Контур – любой замкнутый путь, проходящий по нескольким ветвям.

Независимый контур - контур, в состав которого входит хотя бы одна ветвь, не принадлежащая другим контурам.

### **Оборудование**

Два источника энергии – 4,5 В.

Вольтметр – 1 шт. (0+30) В.

Амперметр – 3 шт. (0+2) А.

Три магазина сопротивлений.

### **Ход работы**

1. Определить размещение приборов на столе,
2. Ключи  $S_1$  и  $S_2$  установить в положение «отключено».
3. Собрать электрическую схему цепи.
4. Определить цену деления приборов.
5. Установить на магазин сопротивлений заданные преподавателем параметры сопротивлений и их данные записать в таблицу.
6. Предъявить собранную схему для проверки преподавателю.
7. Измерить переносным вольтметром ЭДС источников и записать в таблицу 1.
8. Включить  $S_1$ ,  $S_2$ , проверить работу приборов, (если требуется – измерить полярность).
9. Записать показания амперметра  $A_1$  и  $A_2$  в таблицу 1 (контур ABEFA).
10. Для контура ABEFA составить уравнение по второму закону Кирхгофа и определить внутреннее сопротивление источника  $E_1$ . Результаты записать в таблицу 1.
11. Отключить ключ  $S_1$ , включить  $S_2$ , проверить работу приборов.
12. Записать показания приборов  $A_1$  и  $A_2$  в таблицу 1 (контур BCDEB).
13. Для контура BCDEB составить уравнение по второму закону Кирхгофа. Пользуясь составленным уравнением, определить внутреннее сопротивление источника  $E_2$ .
14. Результаты записать в таблицу 1.
15. Включить ключи  $S_1$  и  $S_2$ . Проверить работу приборов.

16. Записать показания амперметров  $A_1$ ,  $A_2$  и  $A_3$  в таблицу 1 (контур ABCDEF).
17. Для контура ABCDEF составить уравнение по второму закону Кирхгофа, подставить значения и убедиться, что  $\sum E = \sum I \cdot R$ .
18. На основании опытных данных произвести проверку законов Кирхгофа. Результаты записать в таблицу

### Расчетные формулы

- $\sum E = \sum I \cdot R$ ;
- $\sum I = 0$ ;
- $R_{01} = \frac{E_1 - I_1 - I_1 R_3}{I_1}$ ; 4.  $R_{02} = \frac{E_2 - I_2 - I_2 R_3}{I_2}$ ;

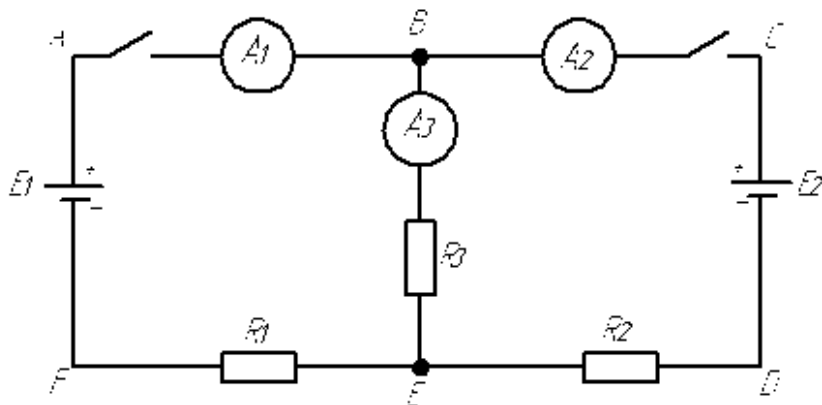


Рисунок 1 – Электрическая схема

Таблица 1 – Результаты измерений

Контур	$R_1$	$R_2$	$R_3$	$r_{01}$	$r_{02}$	$I_1$	$I_2$	$I_3$	$\sum I$	$E_1$	$E_2$	$\sum E$	$\sum I R$	$I_3 R_3$	$I_1(R_1 + r_{01})$	$I_2(R_2 + r_{02})$
	О М	О М	О М	О М	О М	А	А	А	А	В	В	В	В	В	В	В
ABEFA																
BCDEB																
ABCDEF																

### Контрольные вопросы

- Что называется ветвью, узлом, контуром?
- Сформулировать первый закон Кирхгофа и указать область его применения.
- Сформулировать второй закон Кирхгофа и указать область его применения.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4

**Тема:** Испытание двигателя постоянного тока последовательного возбуждения

**Цель работы:** Изучить неразветвленную цепь переменного тока, содержащую активное и реактивное сопротивления (индуктивное и ёмкостное), построить векторные диаграммы и треугольники напряжений, сопротивлений и мощностей.

### Справочный материал

Проведем анализ работы электрической цепи с последовательным соединением элементов  $R$ ,  $L$ ,  $C$ . Требуется определить ток в цепи и напряжение на элементах цепи. Из свойства последовательного соединения следует, что ток во всех элементах цепи одинаковый. Задача разбивается на ряд этапов.

- Определение сопротивлений.

Реактивные сопротивления элементов  $L$  и  $C$  находим по формулам:

$$X_L = \omega L, X_C = 1 / \omega C, \omega = 2\pi f.$$

Полное сопротивление цепи равно

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

угол сдвига фаз равен

$$\varphi = \arctg((X_L - X_C) / R).$$

- Нахождение тока. Ток в цепи находится по закону Ома:

$$I = U / Z, \psi_i = \psi_u + \varphi.$$

Фазы тока и напряжения отличаются на угол  $\varphi$ .

- Расчет напряжений на элементах. Напряжения на элементах определяются по формулам:

$$U_R = I R, \psi_{uR} = \psi_i;$$

$$U_L = I X_L, \psi_{uL} = \psi_i + 90^\circ;$$

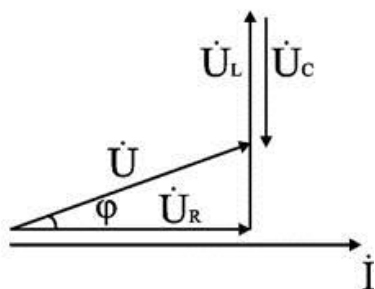
$$U_C = I X_C, \psi_{uC} = \psi_i - 90^\circ.$$

Для напряжений выполняется второй закон Кирхгофа в векторной форме:

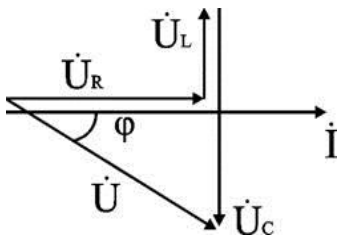
$$\dot{U} = \dot{U}_R + \dot{U}_L + \dot{U}_C.$$

- Анализ расчетных данных. В зависимости от величин  $L$  и  $C$  в формуле возможны следующие варианты:  $X_L > X_C$ ;  $X_L < X_C$ ;  $X_L = X_C$ .

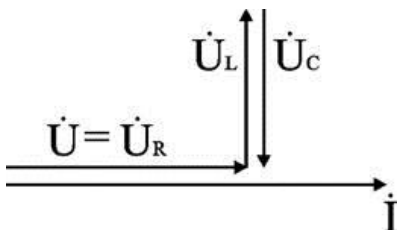
Для варианта  $X_L > X_C$  угол  $\varphi > 0$ ,  $U_L > U_C$ . Ток отстает от напряжения на угол  $\varphi$ . Цепь имеет активно-индуктивный характер. Векторная диаграмма напряжений имеет вид



Для варианта  $X_L < X_C$  угол  $\varphi < 0$ ,  $U_L < U_C$ . Ток опережает напряжение на угол  $\varphi$ . Цепь имеет активно-емкостный характер. Векторная диаграмма напряжений имеет вид



Для варианта  $X_L = X_C$  угол  $\varphi = 0$ ,  $U_L = U_C$ . Ток совпадает с напряжением. Цепь имеет активный характер. Полное сопротивление  $z=R$  наименьшее из всех возможных значений  $X_L$  и  $X_C$ . Векторная диаграмма напряжений имеет вид



Этот режим называется резонанс напряжений ( $U_L = U_C$ ). Напряжения на элементах  $U_L$  и  $U_C$  могут значительно превышать входное напряжение.

## Оборудование

Источник электрической энергии переменного тока - 30 В.

Вольтметр - 2 шт. (0÷30)В.

Амперметр - 1 шт. (0÷2)А.

Магазин сопротивлений -1 шт.

Ваттметр -1 шт. (0÷1200)Вт.

Магазин емкостей - 1 шт. 121 мкФ.

Катушка индуктивности - 1 шт.

## Ход работы

1. Определить размещение приборов на столе.
2. Собрать электрическую схему цепи определить цену деления приборов.
3. Установить заданные преподавателем параметры сопротивлений на магазинах.
4. Предъявить собранную схему для проверки преподавателю.
5. Включить автомат (переменного тока), установить при помощи реостата заданное напряжение и удерживать его в течение опыта постоянным.
6. С помощью магазина емкостей установить (режим  $\varphi > 0$ ), снять показания приборов, измерить переносным вольтметром и ваттметром падение напряжений и мощности на катушки, резисторе, конденсаторе. Записать показания приборов в таблицу.

- 12.Сделать вывод.

[illegible]

## Контрольные вопросы

1. Какое сопротивление электрической цепи называется активным?
2. Почему ток в цепи с индуктивностью отстает по фазе от напряжения на угол  $90^\circ$ ?
3. Что такое реактивная энергия в цепи с индуктивностью?
4. Что такое индуктивное сопротивление и как оно определяется?
5. Что означает  $\varphi < 0$ ;  $\varphi = 0$ ;  $\varphi > 0$ ?
6. Как узнать, что  $\varphi < 0$ ;  $\varphi = 0$ ;  $\varphi > 0$ ?

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5

**Тема:** Определение группы соединения трёхфазного трансформатора.

**Цель работы:** Научиться подключать одноэлементные ваттметры в трёхфазную цепь переменного тока, научиться производить измерение мощности методом амперметра – вольтметра и методом ваттметра.

### Краткие теоретические сведения

Мощность может определяться путём проведения двух прямых измерений: измерения напряжения на нагрузке «U» с помощью вольтметра и тока в нагрузке «I» с помощью амперметра, а затем по формуле  $P = U \cdot I$ .

Несмотря на кажущуюся простоту и доступность, этот метод измерения на практике применяется очень редко. Это объясняется тем, что этот метод требует одновременного отсчёта показаний двух приборов и последующего вычисления мощности. Наиболее просто и с необходимой точностью измерение мощности производится непосредственно с помощью одноэлементного ваттметра.

Включение такого ваттметра (рисунок 1) необходимо осуществлять при соблюдении правильности соединения генераторных зажимов обмотки цепи тока и напряжения.

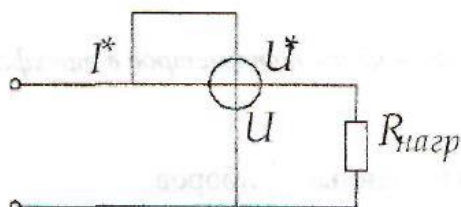


Рисунок 1 – Схема подключения ваттметра.

Для измерения мощности в трёхфазной и четырёхфазной цепях необходимо применить метод трёх приборов. Каждый ваттметр измеряет мощность одной фазы:



## Контрольные вопросы

1. Указать способы измерения мощности в цепях постоянного тока.
2. Указать способы измерения активной и реактивной мощности в цепях переменного тока.
3. Описать схемы включения ваттметров в трёхфазную, трёхпроводную и четырёхпроводную цепь.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 6

**Тема:** Испытание трёхфазного трансформатора методом холостого хода и короткого замыкания.

**Цель работы:** Научиться измерять коэффициент мощности, исследовать его изменение при отсутствии и наличии ёмкостной компенсации.

### Справочный материал

Коэффициент мощности  $\cos\varphi$  является одним из основных параметров электродвигателей переменного тока, трансформаторов, индукционных печей и т. д. Все они кроме активной мощности  $P = U \cdot I \cdot \cos\varphi$ , обладают реактивной мощностью  $Q_L = U \cdot I \cdot \sin\varphi$ , а следовательно, по ним протекает кроме активного тока ещё и индуктивный. Коэффициент мощности электродвигателя зависит от конструктивных особенностей и нагрузки.

Активный ток сопровождается переносом активной энергии, которая преобразуется потребителем в тепловую и механическую. Реактивный ток возникает при передаче реактивной энергии, которая хотя и не превращается потребителем в полезную работу, всё же необходима для создания магнитного поля, без которого ни трансформаторы, ни электродвигатели работать не могут. Происходит обмен реактивной энергии между потребителем и генератором. Реактивный ток при этом излишне нагревает провода линии электропередачи, обмотку генератора, трансформатора и другие элементы энергосистемы.

Однако асинхронные двигатели и индукционные печи могут снабжаться индуктивной энергией не только от генераторов электростанции, но и от конденсаторов, установленных в непосредственной близости к потребителям. Конденсаторы включаются параллельно с двигателями и их ёмкостный ток компенсирует индуктивный ток электродвигателей. По линии электропередачи начинает протекать меньший ток. Коэффициент мощности всей энергосистемы повышается. Это позволяет увеличить активный ток в проводах и тем самым повысить пропускную способность линии электропередачи и полезную работу генератора.

### Оборудование

Источник энергии переменного тока – 30 В.

Вольтметр – 1 шт. (0 – 30) В

Амперметр – 1 шт. (0 – 2) А

Ваттметр – 1 шт. (0 – 30) Вт

Катушка индуктивности – 1 шт.



Магазин сопротивлений.  
Магазин ёмкостей – 1 шт.

### Ход работы

1. Определить размещение приборов на столе.
2. Собрать электрическую схему цепи (рисунок 1).
3. Определить цену деления приборов.
4. Установить на магазине емкостей параметры «С», соответствующие режимам:  
 $\varphi > 0$ ;       $\varphi = 0$ ;       $\varphi < 0$ ;
5. Включить автомат переменного тока и записать показания прибора для каждого режима в таблицу 1, установить при помощи реостата заданное напряжение и удерживать его в течение работы постоянным.
6. Расчетные формулы:  
 $P = U \cdot I \cdot \cos \varphi$ ;     $S = U \cdot I$ ;
7. Сделать вывод.

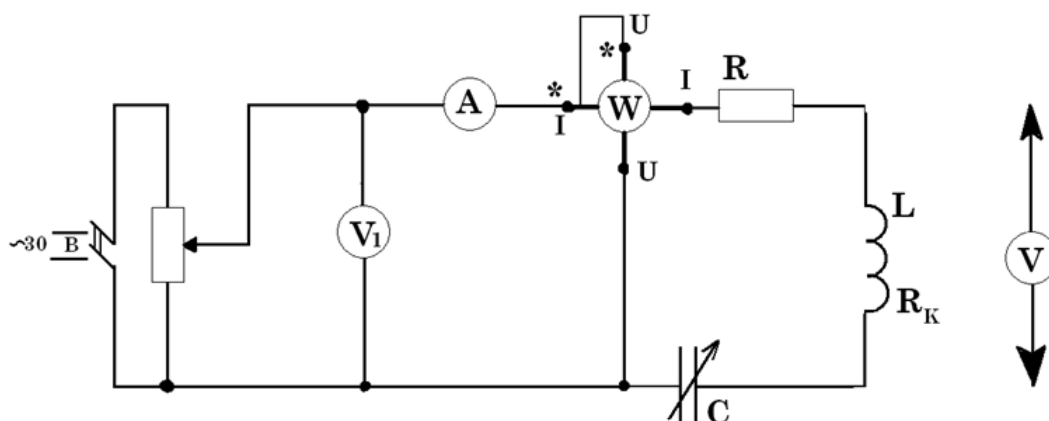


Рисунок 1 – Электрическая схема

Таблица 1 – Результаты измерений

№ п/п	Режим работы	U	I	P	S	Cosφ	φ	C
		В	А	Вт	ВА	-	Град.	мкФ
1	$\varphi > 0$							
2	$\varphi = 0$							
3	$\varphi < 0$							

### Контрольные вопросы

1. Что называется, коэффициентом мощности?
2. В чем состоит экономическое значение коэффициента мощности?

3. В чем состоят меры повышения коэффициента мощности?
4. Как коэффициент мощности влияет на эффективность работы электрооборудования?

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 7

**Тема:** Исследование параллельной работы трансформаторов.

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

### Краткие теоретические сведения

Трансформатор – статический электромагнитный аппарат, предназначенный для преобразования переменного тока одного напряжения в переменный ток другого напряжения той же частоты. Трансформатор состоит из стального сердечника, собранного из тонких листов электротехнической стали, так же двух катушек индуктивности с ферромагнитным сердечником, изолированных друг от друга с целью снижения потерь мощности на гистерезис и вихревые токи.

### Ход работы

1. Ознакомиться с приборами, аппаратами и оборудованием стенда, используемыми при выполнении работы, и занести в отчёт по лабораторной работе номинальные технические данные исследуемого трансформатора.
2. Провести опыт холостого хода. Для этого:
  - в соответствии с принципиальной схемой (рисунок 1) собрать электрическую цепь для проведения опыта холостого хода трансформатора по монтажной схеме питание электрической цепи осуществлять от регулируемого источника синусоидального напряжения;
  - измерение тока  $I_0$ , мощности  $P_0$  в первичной обмотке трансформатора при холостом ходе проводить измерительным комплектом К505, а напряжение на зажимах вторичной обмотки – цифровым вольтметром В7-22А;
  - установить напряжение на первичной обмотке трансформатора равным номинальному  $U_{1ном}$  и записать показания приборов в таблице 1.

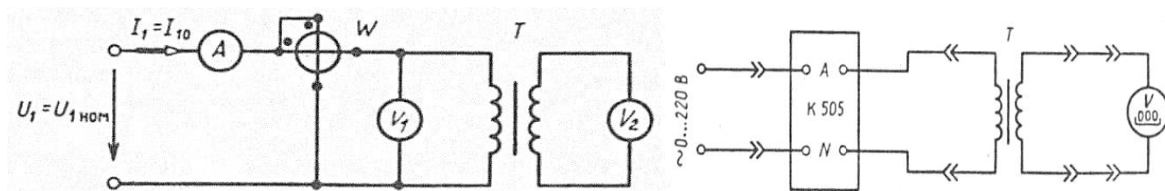


Рисунок 1 – Принципиальная и монтажная схема

3. Провести опыт нагрузки трансформатора. Для этого:
  - собрать электрическую цепь, принципиальная схема которой для проведения опыта нагрузки исследуемого трансформатора приведена на

рисунке 2; сборку электрической цепи производить в соответствии с монтажной схемой, приведенной на рисунке 2;

- в качестве нагрузки к зажимам вторичной обмотки трансформатора подключить резисторы с переменными и постоянными параметрами, суммарное сопротивление которых рассчитать с учетом того, что ток во вторичной обмотке должен изменяться от  $I_2=0,1 \cdot I_{2\text{ном}}$  до  $I_2=(1,2-1,25) \cdot I_{2\text{ном}}$ ;  $U_1 = U_{1\text{ном}} = \text{const}$ .
- измерение тока  $I_1$ , мощности  $P_1$  и напряжения  $U_1$  первичной обмотки трансформатора проводить измерительным комплектом К505, а измерение тока  $I_2$  и напряжения  $U_2$  вторичной обмотки – цифровыми амперметром и вольтметром;
- установить на первичной обмотке трансформатора номинальное напряжение  $U_{1\text{ном}}$  и, изменяя сопротивление резисторов во вторичной цепи с переменными параметрами, провести пять-шесть измерений при различных токах нагрузки в указанном диапазоне его изменений. Результаты измерений записать в таблицу 2.

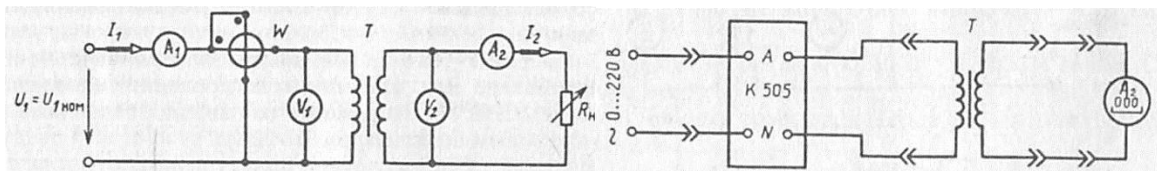


Рисунок 2 – Принципиальная и монтажная схема

4. По результатам измерений, проведенных в опыте холостого хода трансформатора (см. п. 2), определить:

- коэффициент трансформации трансформатора

$$n = \frac{U_{1\text{ном}}}{U_{2\text{ном}}};$$

- коэффициент мощности трансформатора при холостом ходе

$$\cos \varphi_0 = \frac{P_0}{U_{1\text{ном}} \cdot I_0}$$

- амплитудные значения магнитного потока и магнитной индукции в сердечнике трансформатора

$$\Phi_m = \frac{U_{1\text{ном}}}{4,44 \cdot f_1 \cdot \omega_1}; \quad B_m = \frac{\Phi_m}{S}$$

где  $\omega_1$  – число витков первичной обмотки трансформатора;

$S$  – площадь поперечного сечения сердечника трансформатора (указаны в паспортных данных);

- параметры намагничивающего контура (пренебрегая падениями напряжений на  $R_1$  и  $X_1$  от тока  $I_0$ ):

$$R_0 = P_0/I_0^2, \quad Z_0 = U_{1\text{ном}}/I_0 \quad \text{и} \quad X_0 = \sqrt{Z_0^2 - R_0^2};$$

- магнитные потери мощности в магнитопроводе трансформатора

$$P_{\text{мном}} \approx P_0$$

7. По результатам измерений опыта нагрузки (см. п. 3) при различных токах нагрузки определить:

- коэффициент полезного действия трансформатора при  $\gamma = 1$

$$\eta = \frac{\beta \gamma S_{2 \text{ ном}} \cos \varphi_2}{\beta \gamma S_{2 \text{ ном}} \cos \varphi_2 + \gamma^2 P_{\text{м ном}} + \beta^2 P_{\text{э ном}}};$$

- коэффициент мощности трансформатора

$$\cos \varphi_1 = \frac{P_1}{U_1 \cdot I_1}.$$

Таблица 1 – Результаты измерений

Измерить				вычислить					
U <sub>1</sub> , В	U <sub>2</sub> , В	I <sub>0</sub> , А	P <sub>0</sub> , Вт	n	cos $\varphi_0$	Ф <sub>м</sub> , Вб	В <sub>м</sub> , Тл	R <sub>0</sub> , Ом	X <sub>0</sub> , Ом

Таблица 2 – Результаты измерений

	Измерить						вычислить			
	U <sub>1</sub> , В	I <sub>1</sub> , А	P <sub>1</sub> , Вт	U <sub>2</sub> , В	I <sub>2</sub> , А	P <sub>2</sub> , Вт	β	γ	η	cos $\varphi_1$

### Контрольные вопросы

1. Поясните назначение трансформатора.
2. Объясните устройство и принцип действия однофазного трансформатора.
3. Как и с какой целью проводится опыт холостого хода трансформатора?
4. Объясните, почему коэффициент трансформации трансформатора определятся из опыта холостого хода.
5. Как и с какой целью проводится опыт короткого замыкания трансформатора?
6. Почему при изменении тока во вторичной обмотке трансформатора изменяется ток и в первичной его обмотке?

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 8

**Тема:** Испытания асинхронного двигателя с фазным ротором методом холостого хода и короткого замыкания

**Цель работы:** Ознакомление с устройством, принципом, основными характеристиками и методами испытания трехфазного электродвигателя с короткозамкнутым ротором.

### Краткие теоретические сведения

Асинхронные электродвигатели предназначены для преобразования электрической энергии переменного тока в механическую энергию. В зависимости от системы переменного тока асинхронные электродвигатели выполняются трех- или однофазными. В технике наиболее распространены асинхронные трехфазные электродвигатели.

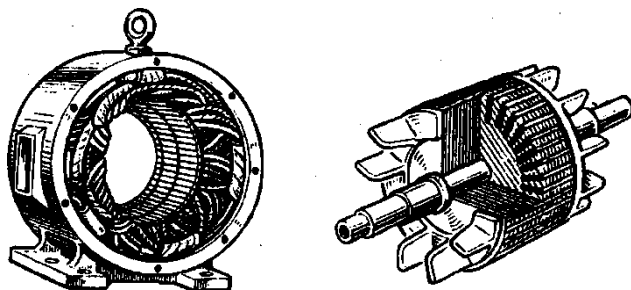


Рисунок 1 – Статор и ротор двигателя

Асинхронный трехфазный электродвигатель состоит из неподвижного статора и вращающегося ротора (рисунок 1). Статор двигателя представляет собой полый цилиндр, собранный из отдельных тонких листов электротехнической стали, изолированных друг от друга с целью уменьшения потерь мощности в магнитопроводе на гистерезис и вихревые токи. В пазах сердечника статора уложена трехфазная обмотка статора, выполненная из изолированного провода и состоящая из трех отдельных обмоток фаз, оси которых сдвинуты в пространстве относительно друг друга на угол  $120^\circ$ . Обмотки фаз соединяются между собой звездой или треугольником, в зависимости от значения подводимого напряжения.

При подаче к трехфазной обмотке статора асинхронного двигателя трехфазного напряжения в каждой его фазе будет создаваться магнитный поток, изменяющийся с частотой питающей сети. При этом потоки отдельных фаз оказываются сдвинутыми относительно друг друга на угол  $120^\circ$  как во времени, так и в пространстве.

Возникаемый при этом результирующий магнитный поток оказывается вращающимся. Частота вращения магнитного поля (синхронная частота вращения) находится в строгой зависимости от частоты  $f_1$  подводимого напряжения и числа пар полюсов  $p$  двигателя:

$$n_1 = 60f_1/p.$$

Асинхронный электродвигатель характеризуется номинальными данными на которые он рассчитан. Основные технические данные двигателя указываются в соответствующих каталогах, а также в паспортах, выполненных в виде специальных табличек, на корпусах двигателей.

Одним из важнейших показателей, характеризующих работу асинхронного двигателя, является скольжение ротора, под которым понимается отношение:

$$s = (n_1 - n_2)/n_1$$

где  $n_2$  – частота вращения ротора электродвигателя, об/мин;  
 $n_1$  – синхронная частота вращения.

## Ход работы

1. Ознакомиться с устройством трехфазного асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором и отметить, особенность его конструкции. Записать тип и номинальные данные исследуемого электродвигателя:

Тип электродвигателя	4АМА71АЧУЗ
Номинальное напряжение ( $U_{1\text{ном}}$ ), В	3х220/380
Номинальная мощность ( $P_{2\text{ном}}$ ), кВт	0,55
Номинальный ток ( $I_{1\text{ном}}$ ), А	2,9/1,7
Номинальная частота напряжения питания ( $f_{1\text{ном}}$ ), Гц	50
Номинальная частота вращения ротора ( $n_{2\text{ном}}$ ), об/мин	1370
Номинальный КПД ( $\eta_{\text{ном}}$ ), %	70,5
Номинальный коэффициент мощности ( $\cos\varphi_{1\text{ном}}$ )	0,70

2. Собрать электрическую цепь (рисунок 2 а) для снятия рабочих и механической характеристик исследуемого электродвигателя. Сборку этой цепи проводят соединителями в соответствии с монтажной схемой рисунок 2 б). Измерение линейного напряжения питания, линейного тока ( $U_1, I_1$ ) и потребляемой активной мощности ( $P_1$ ) электродвигателя проводить измерительными приборами: вольтметром с пределом измерения 250 В, амперметром с пределом измерения 7,5 А и трехфазным ваттметром.

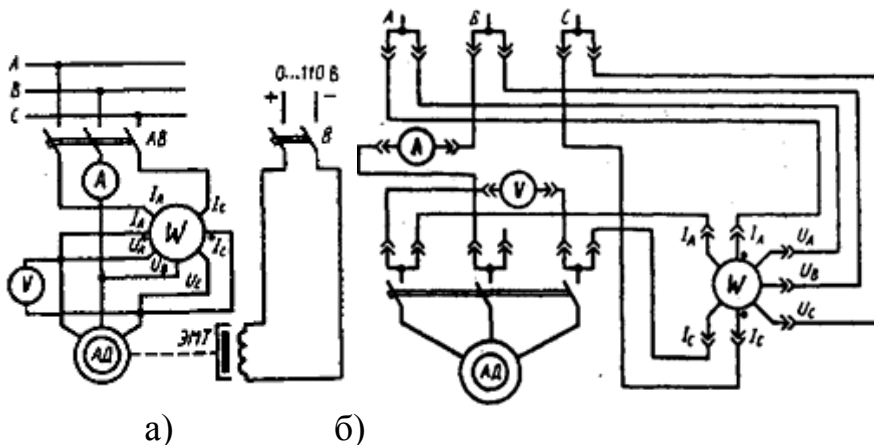


Рисунок 2 – Электрические схемы

3. Провести пуск асинхронного электродвигателя нажатием кнопки «Включение».

4. Снять рабочие и механическую характеристики электродвигателя, т.е.  $I_1(P_2), P_1(P_2), M(P_2), \cos\varphi_1(P_2), \eta(P_2), s(P_2), n_2(M)$  при  $U_1 = \text{const}$ .

Для этого:

а) изменять нагрузку на валу асинхронного электродвигателя от режима холостого хода до режима, при котором мощность на валу  $P_2 = (1,2 \dots 1,5) P_{2\text{ном}}$ .

Изменение нагрузки на валу исследуемого электродвигателя проводится изменением тока в цепи обмотки электромагнитного тормоза, соединенного с валом асинхронного электродвигателя, ручкой регулятора «Момент нагрузки» на панели «Нагрузочные устройства» стенда;

б) в указанном диапазоне изменения нагрузки провести шесть-семь измерений, записать показания измерительных приборов в таблице 1. Одно из измерений должно соответствовать номинальному режиму работы

в) после окончания опыта нагрузки отключить электродвигатель от сети, нажав кнопку «Откл» на нагрузочной панели стенда.

#### 5. Обработка результатов измерений:

По измеренным значениям п. 5 вычислить (см. таблицу 1):

а) мощность на валу асинхронного электродвигателя, кВт

$$P_2 = M \cdot n_2 / 9550,$$

где  $M$  – электромагнитный момент, Н·м ( $1 \text{ кГ} \cdot \text{м} = 9,81 \text{ Н} \cdot \text{м}$ );

$n_2$  – частота вращения, об/мин;

б) скольжение ротора асинхронного электродвигателя

$$s = (n_1 - n_2) / n_1,$$

где  $n_1$  – частота вращения магнитного поля статора, об/мин;

в) коэффициент мощности электродвигателя

$$\cos \varphi_1 = P_1 / \sqrt{3} \cdot U_1 I_1,$$

где  $P_1$  – активная мощность, потребляемая электродвигателем, Вт;

г) КПД электродвигателя

$$\eta = P_2 / P_1.$$

6. По измеренным и вычисленным значениям в единой системе координат построить рабочие характеристики, а в другой координатной системе – механическую характеристику асинхронного электродвигателя.

Таблица 1 – Результаты измерений

№ п/п	измерить					вычислить			
	$U_1, \text{В}$	$I_1, \text{А}$	$P_1, \text{кВт}$	$M, \text{Н} \cdot \text{м}$	$N_2, \text{об/мин}$	$P_2, \text{кВт}$	$s$	$\cos \varphi_1$	$\eta$
1									
2									
3									
4									

### Контрольные вопросы

1. Объясните устройство и принцип действия трехфазного асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором.
2. Как изменить направление вращения трехфазного асинхронного электродвигателя?
3. Как изменяется значение тока холостого хода асинхронного электродвигателя с изменением величины воздушного зазора?
4. Почему с возрастанием нагрузки на валу асинхронного электродвигателя

- энергетические показатели его вначале возрастают, а затем снижаются?
5. Как изменяется максимальный (критический) момент асинхронного электродвигателя с изменением питающего напряжения?

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 9

**Тема:** Испытание индукционного регулятора.

**Цель работы:** Научиться определять параметры сложной электрической цепи постоянного тока при помощи законов Кирхгофа.

### Краткие теоретические сведения

Участок, вдоль которого ток один и тот же, называется **ветвью** электрической цепи.

Место соединения ветвей называется **узлом** электрической цепи.

**Узел** образуется при соединении в одной точке не менее трех ветвей.

Ветви, не содержащие источников электрической энергии, называются пассивными, а ветви, в которые входят источники, – активными.

Любой замкнутый путь, проходящий по нескольким ветвям, называется **контуром** электрической цепи.

Цель расчета, которая достигается совместным решением системы узловых и контурных уравнений; их число должно быть равно числу неизвестных токов.

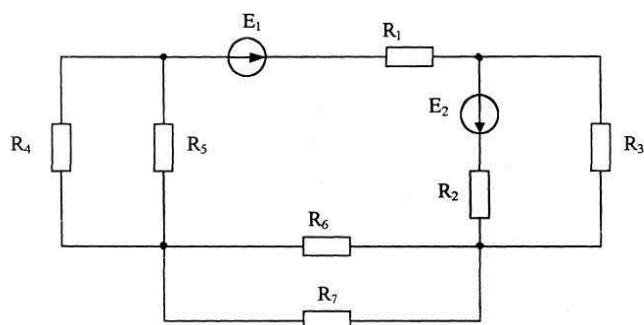
Прежде чем приступить к составлению уравнений по законам Кирхгофа, необходимо выбрать условно-положительное направление тока в каждой ветви (число неизвестных токов, как нетрудно видеть, равно числу ветвей).

Положительные направления токов выбирают произвольно. Действительные направления токов могут не совпадать с условно-положительными. Ошибка в выборе направления тока в результате решения будет обнаружена: ток с неправильно выбранным направлением получится отрицательным. Изменив его направление, в дальнейших расчетах можно считать его положительным.

### Задание

1. На схеме обозначить и записать все узлы ветви контуры.
2. Для любого узла составить уравнение по I закону Кирхгофа; для любого контура составить уравнение по II закону Кирхгофа.
3. Рассчитать токи в ветвях электрической схемы методом узловых и контурных уравнений, предварительно максимально упростив (исходные данные указаны в таблице для своего варианта).
4. Составить и посчитать уравнение баланса мощности.





Вариант	$E_1, \text{В}$	$E_2, \text{В}$	$R_1, \text{Ом}$	$R_2, \text{Ом}$	$R_3, \text{Ом}$	$R_4, \text{Ом}$	$R_5, \text{Ом}$	$R_6, \text{Ом}$	$R_7, \text{Ом}$
0	18	36	8	17	8	24	12	6	18
1	9	6	0,8	1,8	24	8	16	12	10
2	12	16	5,5	3,6	36	18	24	12	8
3	48	72	11	7	32	96	24	36	72
4	48	36	11,4	8,5	72	72	48	24	96
5	12	15	1,9	1,4	9	18	12	6	12
6	72	90	5	3,7	36	36	24	48	12
7	120	80	10,5	3	36	18	12	24	14
8	40	120	7,5	22,5	4	12	6	12	8
9	20	48	3,6	11,6	18	9	12	6	8

## Расчётные формулы

$I = U / R$  – закон Ома

$\sum I = 0$  – Закон Кирхгофа

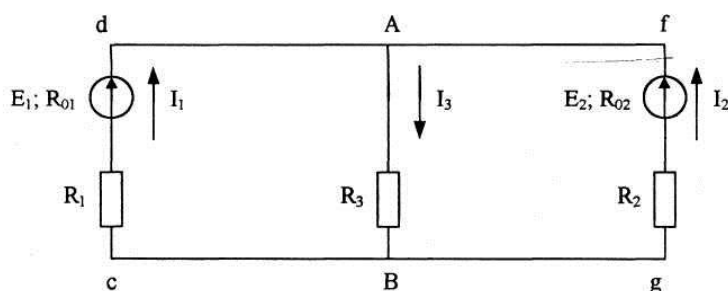
$\sum E = \sum IR$  – Закон Кирхгофа

$P_{\text{ист}} = EI$  – мощность источника

$P_{\text{пр}} = I^2 R$  – мощность приёмника

## Пример расчёта

Определить токи ветвей цепи методом узловых и контурных уравнений по следующим данным:  $E_1=60\text{В}$ ;  $E_2=100\text{В}$ ;  $R_{01}=R_{02}=1\text{ Ом}$ ;  $R_1=5\text{ Ом}$ ;  $R_2=12\text{ Ом}$ ;  $R_3=8\text{ Ом}$ . Составить уравнение баланса мощностей.



## Решение:

1. Выбираем произвольно направление тока в ветвях.

2. Составим для узла А уравнение по I закону Кирхгофа:

$$I_1 + I_2 - I_3 = 0.$$

3. Составим для контура АВсdА уравнение по второму закону Кирхгофа:

$$E_1 = I_1 \cdot R_{01} + I_1 \cdot R_1 + I_3 \cdot R_3.$$

4. Составим для контура AbgfA уравнение по второму закону Кирхгофа:

$$E_2 = I_2 \cdot R_{02} + I_2 \cdot R_2 + I_3 \cdot R_3.$$

$$\begin{cases} I_1 + I_2 - I_3 = 0 \\ 60 = I_1 \cdot 1 + I_1 \cdot 5 + I_3 \cdot 8 \\ 100 = I_2 \cdot 1 + I_2 \cdot 12 + I_3 \cdot 8 \end{cases} \quad \begin{cases} I_1 + I_2 - I_3 = 0 \\ 6 \cdot I_1 + 8 \cdot I_3 = 60 \\ 13 \cdot I_2 + 8 \cdot I_3 = 100 \end{cases} \quad \begin{matrix} (1) \\ (2) \\ (3) \end{matrix}$$

5. Подставим в полученную систему уравнений заданные параметры и решим систем

$$\text{Из (2)} \quad I_1 = 10 - \frac{4}{3} \cdot I_3$$

$$\text{Из (3)} \quad I_2 = \frac{100}{13} - \frac{8}{13} \cdot I_3$$

подставить выражение токов в уравнение (1)

$$10 - \frac{4}{3} \cdot I_3 + \frac{100}{13} - \frac{8}{13} \cdot I_3 - I_3 = 0$$

$$390 - 52 \cdot I_3 + 300 - 24 \cdot I_3 - 39 I_3 = 0$$

$$115 \cdot I_3 = 690$$

$$I_3 = 6 \text{ А}$$

$$I_1 = 10 - \frac{4}{3} \cdot 6 = 2 \text{ А}$$

$$I_2 = I_3 - I_1 = 6 - 2 = 4 \text{ А}$$

6. Составим уравнение баланса мощностей

$$P_{\text{ист1}} + P_{\text{ист2}} = P_{01} + P_{02} + P_1 + P_2 + P_3$$

$$E_1 \cdot I_1 + E_2 \cdot I_2 = I_1^2 R_{01} + I_2^2 R_{02} + I_1^2 R_1 + I_2^2 R_2 + I_3^2 R_3$$

$$120 + 400 = 16 + 20 + 192 + 288$$

$$520 = 520$$

## Контрольные вопросы

1. Дать определение узлу, ветви, контуру электрической цепи.
2. Сформировать и записать в математическом выражении I закон Кирхгофа.
3. Дать определение мощности источника и мощности потребителя.
4. Объяснить суть метода узловых и контурных уравнений

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 10

**Тема:** Испытание трёхфазного синхронного генератора.

**Цель работы:** Научиться выражать и определять параметры электрической цепи переменного тока.

### Краткие теоретические сведения

Методы расчета электрических цепей переменного тока с помощью векторных диаграмм основаны на изображении синусоидальных величин векторами.

Из курса математики известно, что каждому вектору  $A$  в комплексной плоскости соответствует комплексное число  $\underline{A}$ , которое можно выразить в форме:

алгебраической –  $\underline{A} = a + jb$

тригонометрической –  $\underline{A} = A \cos \alpha + j A \sin \alpha$ ;

показательной –  $A = Ae^{j\alpha}$ .

Это дает основание от графического (векторного) выражения синусоидальных напряжений и токов перейти к аналитическому выражению их комплексными числами, а операции с векторами заменить алгебраическими действиями. Комплексные выражения ЭДС напряжений и токов записывают так, что модули их также равны действующим значениям. Действительная и мнимая части комплекса тока равны проекциям вектора тока на оси комплексной плоскости (ось действительных и ось мнимых величин).

Активное сопротивление в комплексной форме выражается действительным положительным числом.

Реактивные сопротивления в комплексной форме выражаются мнимыми числами, причем индуктивное сопротивление ( $X_L$ ) положительно, а емкостное ( $X_C$ ) отрицательно.

Полное сопротивление участка цепи при последовательном соединении  $R$  и  $X$  выражается комплексным числом, действительная часть которого равна активному сопротивлению, а мнимая часть – реактивному сопротивлению этого участка.

Комплекс мощности в данной цепи определяется умножением комплекса напряжения на сопряженный комплекс тока этой цепи.

Действительная часть полученного комплекса выражает активную мощность, а мнимая (без множителя  $j$ ) – реактивную мощность первой ветви.

### Задание

1. Выразить комплексные числа в алгебраической и показательной формах записи:

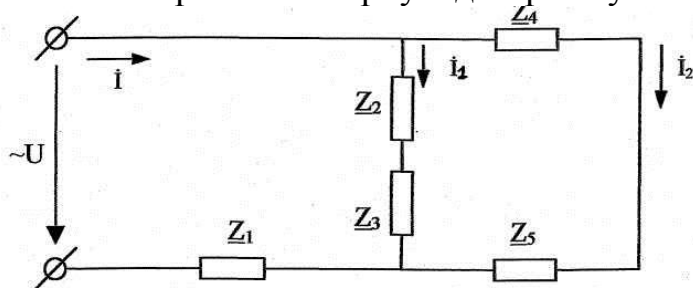
$$18 + j21; \quad 24e^{j116}; \quad 11 + j20; \quad 4e^{j20}$$

2. Выполнить арифметические действия с двумя комплексными числами (сложение, вычитание, умножение, деление):

$$-5-j10 \quad \text{и} \quad 7 \cdot e^{-j68}$$

3. По данным таблицы начертить схему, и рассчитать параметры электрической цепи переменного тока.

4. Построить векторную диаграмму в осях комплексных чисел.



Определить:

а)  $Z_{\text{экв}}$ ,

б)  $\dot{I}$ ,  $\dot{I}_1$ ,  $\dot{I}_2$ .

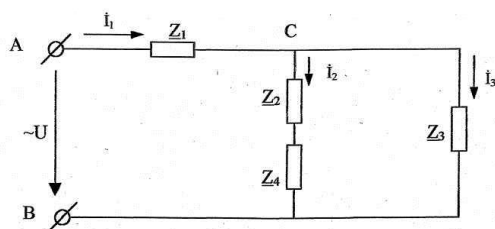
в)  $\dot{U}_1$ ,  $\dot{U}_2$ ,  $\dot{U}_3$ ,  $\dot{U}_4$ ,  $\dot{U}_5$ .

г)  $S$ ,  $P$ ,  $Q$

Вариант	$R_1$ Ом	$X_1$ Ом	$R_2$ Ом	$X_2$ Ом	$R_3$ Ом	$X_3$ Ом	$R_4$ Ом	$X_4$ Ом	$R_5$ Ом	$X_5$ Ом	Дополнит, парам
0	-	$j13$	20	$j14$	10	-	5	$-j9$	10	$j16$	$U_3=50e^{j30}$ В
1	10	-	12	$j8$	-	$-j4$	4	$j4$	-	$-j10$	$I_2=5e^{-j60}$ А
2	-	$-j8$	-	$-j6$	15	$j12$	16	$-j8$	8	-	$U_1=160e^{j125}$ В
3	6	$j20$	21	-	10	$-j20$	13	$j12$	12	$-j20$	$I_1=4e^{j70}$
4	20	$j15$	11	$j12$	7	-	-	$-j16$	14	$j15$	$U_2=60e^{-j120}$ В
5	14	$-j17$	-	$-j15$	11	$j24$	20	-	6	$-j14$	$I=8e^{j45}$ А
6	-	$j25$	18	$j24$	-	$-j15$	14	$j20$	-	$-j17$	$U=100e^{-j45}$ В
7	18	-	30	$-j14$	18	-	-	$j24$	15	$j28$	$I_2=16e^{j70}$ А
8	7	$j22$	-	$-j16$	24	-	11	$j12$	10	-	$U_5=50e^{j60}$ В
9	-	$-j11$	8	-	21	$-j8$	8	-	8	$j4$	$I_1=5e^{j45}$ А

### Пример расчёта

В цепи переменного тока соединены смешанно несколько участков.  
 $Z_1=(5+j5)$  Ом,  $Z_2=5$  Ом,  $Z_3=-j6$  Ом,  $Z_4=(3+j6)$  Ом,  $I_2=3e^{j30}$  А.



1. Определим ток по первому закону Кирхгофа. Для этого токи параллельных ветвей следует выразить в алгебраической форме

$$\dot{I}_1 = \dot{I}_2 + \dot{I}_3 = 3 \cdot e^{j30^\circ} + 5 \cdot e^{j157^\circ} = 3 \cdot (\cos 30^\circ + j \sin 30^\circ) + 5 \cdot (\cos 157^\circ + j \sin 157^\circ) = -2,02 + j3,45 = 4 \cdot e^{j120^\circ} \text{ А}$$

2. Определим эквивалентное сопротивление всей цепи:

$$\underline{Z}_{\text{ЭКВ}} = \underline{Z}_1 + \frac{\underline{Z}_{2,4} \underline{Z}_3}{\underline{Z}_{2,4} + \underline{Z}_3} = (5 + j5) + \frac{10 \cdot e^{j37^\circ} 6 \cdot e^{-j90^\circ}}{10 \cdot e^{j37^\circ} + 6 \cdot e^{-j90^\circ}} = 9,5 - j1 = 9,55 \cdot e^{-j6^\circ} \text{ Ом}$$

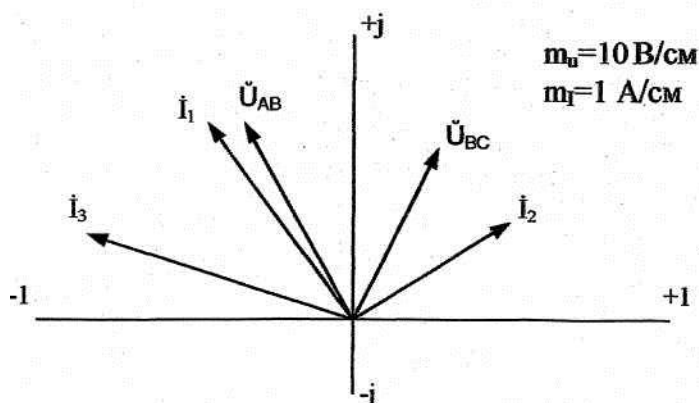
3. Определим напряжение цепи:

$$\dot{U}_{AB} = \dot{I}_1 \underline{Z}_{\text{ЭКВ}} = 4 \cdot e^{j120^\circ} \cdot 9,55 \cdot e^{-j6^\circ} = 38,2 \cdot e^{j114^\circ} \text{ В}$$

4. Определим полную мощность цепи в символической форме. Для этого используется сопряженный комплекс тока  $\dot{I}_1^* = 4 \cdot e^{-j120^\circ} \text{ А}$ :

$$\underline{S} = \underline{U}_{AB} \cdot \dot{I}_1^* = 38,2 e^{j114^\circ} \cdot 4 \cdot e^{-j120^\circ} = 152,8 \cdot e^{-j6^\circ} = (151,3 - j15,3) \text{ ВА}$$

$$\underline{S} = \underline{U}_{AB} \cdot \dot{I}_1^* = 38,2 e^{j114^\circ} \cdot 4 \cdot e^{-j120^\circ} = 152,8 \cdot e^{-j6^\circ} = (151,3 - j15,3) \text{ ВА}$$



Следовательно, полная мощность цепи  $S=152,8 \text{ ВА}$ ; активная мощность  $P=151,3 \text{ Вт}$ , реактивная мощность  $Q=-15,3 \text{ вар}$ . Строим векторную диаграмму цепи в осях комплексных чисел.

## Контрольные вопросы

1. Записать законы Ома и Кирхгофа в символическом виде.
2. Правило выражения комплексного сопротивления цепи в символическом виде.
3. Выражение мощностей электрической цепи в символической форме записи.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №11

**Тема:** Изучение конструкции, параметров автоматических выключателей

**Цель работы:** проверить справедливость законов электрического тока для последовательного и параллельного соединения проводников.

**Оборудование:** источник тока, два проволочных резистора, амперметр, вольтметр, реостат.

### Краткие теоретические сведения

Законы электрического тока для последовательного соединения проводников:

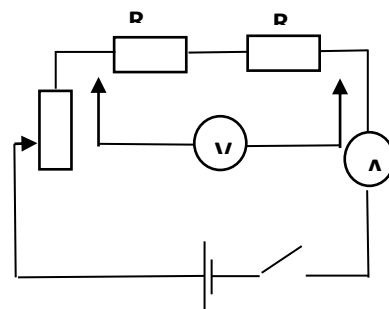
Сила тока	
Напряжение	
Сопротивление	

Законы электрического тока для параллельного соединения проводников:

Сила тока	
Напряжение	
Сопротивление	

### Проведение эксперимента и обработка результатов:

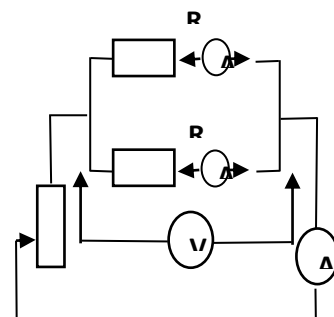
1. Соберите электрическую цепь (рис. 5) и с помощью реостата установите стрелку амперметра на определенное деление.
2. Измерьте вольтметром напряжение в общей цепи и на отдельных потребителях



Результаты измерений и вычислений запишите в таблицу:

Сила электрического тока $I$ в цепи	Напряжение на резисторе			Сопротивление резистора		
	$U_1$	$U_2$	$U_{\text{общ}}$	$R_1$	$R_2$	$R_{\text{общ}}$

3. Соберите электрическую цепь (рис. 6) и с помощью реостата установите



стрелку вольтметра на определенное деление шкалы.

4. Измерьте поочередно амперметром силу электрического тока в общей цепи и в цепях отдельных потребителей.
5. Результаты измерений и вычислений запишите в таблицу:

Напряжение $U$ на резисторе	Сила электрического тока в цепи			Сопротивление резистора		
	$I_1$	$I_2$	$I_{\text{общ}}$	$R_1$	$R_2$	$R_{\text{общ}}$

6. Проведите расчеты по результатам эксперимента.
7. На основании проведенных опытов, сделайте вывод о том, выполняются ли законы электрического тока для последовательного и параллельного соединений проводников.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 12

**Тема:** Изучение конструкции, параметров автоматических выключателей

**Цель работы:** проверить справедливость законов электрического тока для последовательного и параллельного выключателей

**Оборудование:** источник тока, два проволочных резистора, амперметр, вольтметр, реостат.

### Краткие теоретические сведения

Законы электрического тока для последовательного соединения проводников:

Сила тока	
Напряжение	
Сопротивление	

Законы электрического тока для параллельного соединения проводников:

Сила тока	
Напряжение	
Сопротивление	

## Отчет о лабораторной работе должен содержать

1. Тему работы
2. Цель работы
3. Перечень используемого оборудования
4. Теорию (заполненные таблицы)
5. Описание хода работы
6. Схемы соединений проводников
7. Таблицы с результатами измерений и вычислений
8. Расчеты
9. Выводы

### ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №13

**Тема:** Изучение конструкции и параметров разъединителей для внутренней и наружной установки.

**Цель работы:** научиться на практике рассчитывать удельное сопротивление проводника.

#### Оборудование

1. Реохорд.
2. Микрометр.
3. Амперметр и вольтметр.
4. Источник электрической энергии.
5. Ключ.
6. Соединительные провода.

#### Краткие теоретические сведения

Электрическое сопротивление проводников обусловлено тем, что свободные электроны при своем движении сталкиваются с положительно заряженными ионами кристаллической решетки металла.

Одной из важнейших характеристик проводника является также его удельное электрическое сопротивление  $\rho$ , которое показывает каким сопротивлением обладает проводник длиной 1м и площадью поперечного сечения 1м<sup>2</sup>

Для однородного цилиндрического проводника с сопротивлением  $R$ , длиной  $l$ , площадью поперечного сечения  $S$

$$\rho = RS/l \quad (1)$$

где  $\rho$  - удельное сопротивление проводника, выражается в Ом · м.

В электротехнике чаще применяется единица измерения удельного сопротивления проводника 1 Ом·мм<sup>2</sup>/м. Это Сопротивление проводника длиной 1м и площадью поперечного сечения 1 мм<sup>2</sup>.

Удельное сопротивление различных материалов, главным образом металлов и их сплавов, определяют лабораторным путем.



## Порядок выполнения работы

1. Микрометром измерить диаметр проволоки  $d$  реохорда и рассчитать площадь поперечного сечения по формуле:

$$S = \pi d^2 / 4 \quad (2)$$

1. Собрать электрическую цепь по схеме рис. 1

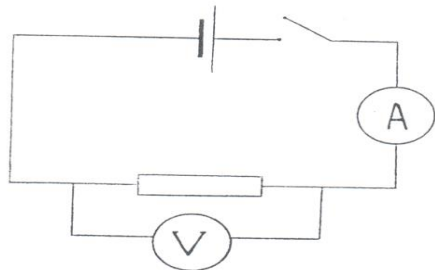


Рис 1.

3. После проверки цепи преподавателем, замкнуть ключ, измерить силу тока в цепи и напряжение на концах реохорда (сопротивления).

4. Используя закон Ома для участка цепи рассчитать сопротивление  $R$  проволоки реохорда:

$$R = U / I \quad (3)$$

5. Измерить длину проволоки  $l$ .

6. Вычислить удельное сопротивление проводника  $\rho$  по формуле (1).

7. Сравнить полученный результат с табличным значением  $\rho_{\text{табл}}$  и вычислить относительную погрешность.  $\rho_{\text{табл}}$  (константана)  $= 4,7 \cdot 10^{-7} \text{ Ом} \cdot \text{м}$ .

8. Написать вывод и ответить на контрольные вопросы.

## Контрольные вопросы

### Вариант 1

1. Зависит ли удельное сопротивление от температуры?

2. Удельное сопротивление фехраля  $1,1 \cdot 10^{-6} \text{ Ом} \cdot \text{м}$ . Что это значит? Где можно использовать такой материал?

3. Чем обусловлено сопротивление проводников?

4. Как изменится напряжение на участке цепи, если медную проволоку на этом участке заменить никелевой такой же длины и площади поперечного сечения?

5. Как изменится напряжение на участке цепи, если проволоку на этом участке заменить проволокой из такого же материала, такой же длины, но с площадью поперечного сечения в три раза меньшей?

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №14

**Тема:** Изучение конструкции и параметров разъединителей для внутренней и наружной установки.

**Цель работы:** научиться на практике рассчитывать удельное сопротивление проводника.

### Оборудование

1. Реохорд.
2. Микрометр.
3. Амперметр и вольтметр.
4. Источник электрической энергии.
5. Ключ.
6. Соединительные провода.

### Краткие теоретические сведения

Электрическое сопротивление проводников обусловлено тем, что свободные электроны при своем движении сталкиваются с положительно заряженными ионами кристаллической решетки металла.

Одной из важнейших характеристик проводника является также его удельное электрическое сопротивление  $\rho$ , которое показывает каким сопротивлением обладает проводник длиной 1м и площадью поперечного сечения 1м<sup>2</sup>

Для однородного цилиндрического проводника с сопротивлением  $R$ , длиной  $l$ , площадью поперечного сечения  $S$

$$\rho = RS/l \quad (1)$$

где  $\rho$  - удельное сопротивление проводника, выражается в Ом · м.

В электротехнике чаще применяется единица измерения удельного сопротивления проводника 1 Ом·мм<sup>2</sup>/м. Это Сопротивление проводника длиной 1м и площадью поперечного сечения 1 мм<sup>2</sup>.

Удельное сопротивление различных материалов, главным образом металлов и их сплавов, определяют лабораторным путем.

### Порядок выполнения работы

1. Микрометром измерить диаметр проволоки  $d$  реохорда и рассчитать площадь поперечного сечения по формуле:

$$S = \pi d^2 / 4 \quad (2)$$

2. Собрать электрическую цепь по схеме рис. 1

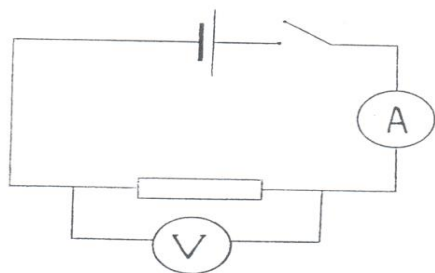


Рис 1.

3. После проверки цепи преподавателем, замкнуть ключ, измерить силу тока в цепи и напряжение на концах реохорда (сопротивления).

4. Используя закон Ома для участка цепи рассчитать сопротивление  $R$  проволоки реохорда:

$$R = U / I(3)$$

5. Измерить длину проволоки  $l$ .

6. Вычислить удельное сопротивление проводника  $\rho$  по формуле (1).

7. Сравнить полученный результат с табличным значением  $\rho_{\text{табл}}$  и вычислить относительную погрешность.  $\rho_{\text{табл}}$  (константана)  $= 4,7 \cdot 10^{-7} \text{ Ом} \cdot \text{м}$ .

8. Написать вывод и ответить на контрольные вопросы.

## Вариант 2

1. Почему удельное сопротивление проводника зависит от рода его материала?

2. Определите сопротивление и длину медной проволоки массой 89 г сечением  $0,1 \text{ мм}^2$ .

3. В чем состоит явление сверхпроводимости?

4. Назвать известные вам методы определения сопротивления резистора.

5. Как изменится напряжение на участке цепи, если проволоку на этом участке заменить проволокой из такого же материала, такой же длины, но с площадью поперечного сечения в три раза большей?

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 15

Тема: Изучение конструкции и параметров вакуумных выключателей

### Цель работы

1. Снять экспериментальную зависимость сопротивления меди от температуры.

2. Научиться определять температурный коэффициент сопротивления.

### Оборудование

1. Прибор для определения температурного коэффициента сопротивления.

2. Омметр.

3. Термометр.

4. Стаканы с водой и тающим снегом.

5. Электрическая плитка.

### Краткие теоретические сведения

В металлических проводниках электрическое сопротивление обусловлено столкновением свободных электронов с колеблющимися ионами в узлах кристаллической решетки. По мере повышения температуры размах колебаний ионов увеличивается, что способствует большему рассеянию электронов, участвующих в упорядоченном движении. Кроме того с повышением температуры увеличивается скорость хаотического (теплового) движения электронов и они испытывают большее число столкновений с ионами кристаллической решетки. Все это приводит к тому, что с повышением температуры сопротивления проводника, а следовательно и удельное сопротивление увеличивается.

Обозначим  $R$  сопротивление проводника при  $t$  C, а  $R_0$  при  $t = 0^\circ \text{C}$ . Величину

$$\alpha = (R - R_0) / (R_0 \Delta t) \quad (1)$$

называют температурным коэффициентом сопротивления (ТКС). Численно температурный коэффициент сопротивления показывает относительное изменение сопротивления при нагревании проводника на 1<sup>0</sup>С (1К) и измеряется в <sup>0</sup>С<sup>-1</sup> или К<sup>-1</sup>, что одно и то же.

У большинства химически чистых металлов температурные коэффициенты сопротивления близки к 1 / 273 К<sup>-1</sup>, а у некоторых сплавов они настолько малы, что во многих Лабораторных случаях ими можно пренебречь.

### Порядок выполнения работы

1. Опустить прибор, для определения температурного коэффициента сопротивления в тающий снег и выдержать его там в течении некоторого времени, пока температура проводника не будет равна 0<sup>0</sup>С.
2. Измерить сопротивление R<sub>0</sub> с помощью омметра.
3. Перенести прибор для определения температурного коэффициента сопротивления в стакан с водой и, нагревая воду, измерять сопротивление R через каждые 20 - 40 градусов.
4. Вычислить для каждого измерения температурный коэффициент сопротивления по формуле (1).
5. Определить абсолютную ошибку измерения  $\Delta\alpha = | \alpha_{\text{табл}} - \alpha |$ , для меди  $\alpha_{\text{табл}} = 0,0042 \text{ К}^{-1}$ .
6. Определить относительную ошибку измерения  $\delta\alpha = (\Delta\alpha / \alpha_{\text{табл}}) 100\%$ .
7. Результаты измерений и вычислений занести в таблицу 1.
8. Построить график зависимости сопротивления R от температуры t.
9. Сделать вывод о характере этой зависимости.

Таблица 1.

№	t(°C)	R <sub>0</sub> (Ом)	R(Ом)	α(К <sup>-1</sup> )	Δα(К <sup>-1</sup> )	δα(%)
1	0					
2	20					
3	40					
4	60					
5	80					
6	100					

### Контрольные вопросы

#### Вариант 1

1. ТКС меди 0,0042 К<sup>-1</sup>. Что это означает?
2. Сопротивление медного проводника при 0<sup>0</sup>С равно 1 Ом. Каким оно будет при 100<sup>0</sup>С ?
3. Сопротивление стального и вольфрамового проводников при 0<sup>0</sup>С одинаковы. Будут ли одинаковы при 200<sup>0</sup>С? ТКС стали 0,006 К<sup>-1</sup>, вольфрама 0,005 К<sup>-1</sup>.
4. Сопротивление стального и вольфрамового проводников при 50<sup>0</sup>С одинаковы. Каким они будут при 10<sup>0</sup>С ?
5. Где применяются проводники с большим ТКС?

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 16

Тема: Изучение конструкции и параметров вакуумных выключателей

### Цель работы

1. Снять экспериментальную зависимость сопротивления меди от температуры.
2. Научиться определять температурный коэффициент сопротивления.

### Оборудование

1. Прибор для определения температурного коэффициента сопротивления.
2. Омметр.
3. Термометр.
4. Стаканы с водой и тающим снегом.
5. Электрическая плитка.

### Краткие теоретические сведения

В металлических проводниках электрическое сопротивление обусловлено столкновением свободных электронов с колеблющимися ионами в узлах кристаллической решетки. По мере повышения температуры размах колебаний ионов увеличивается, что способствует большему рассеянию электронов, участвующих в упорядоченном движении. Кроме того с повышением температуры увеличивается скорость хаотического (теплового) движения электронов и они испытывают большее число столкновений с ионами кристаллической решетки. Все это приводит к тому, что с повышением температуры сопротивления проводника, а следовательно и удельное сопротивление увеличивается.

Обозначим  $R$  сопротивление проводника при  $t$  °C, а  $R_0$  при  $t = 0$  °C. Величину

$$\alpha = (R - R_0) / (R_0 t) \quad (1)$$

называют температурным коэффициентом сопротивления (ТКС). Численно температурный коэффициент сопротивления показывает относительное изменение сопротивления при нагревании проводника на 1 °C (1K) и измеряется в °C<sup>-1</sup> или K<sup>-1</sup>, что одно и то же.

У большинства химически чистых металлов температурные коэффициенты сопротивления близки к 1 / 273 K<sup>-1</sup>, а у некоторых сплавов они настолько малы, что во многих Лабораторных случаях ими можно пренебречь.

### Порядок выполнения работы

1. Опустить прибор, для определения температурного коэффициента сопротивления в тающий снег и выдержать его там в течении некоторого времени, пока температура проводника не будет равна 0 °C.
2. Измерить сопротивление  $R_0$  с помощью омметра.
3. Перенести прибор для определения температурного коэффициента сопротивления в стакан с водой и, нагревая воду, измерять сопротивление  $R$  через каждые 20 - 40 градусов.
4. Вычислить для каждого измерения температурный коэффициент сопротивления по формуле (1).
5. Определить абсолютную ошибку измерения  $\Delta\alpha = | \alpha_{\text{табл}} - \alpha |$ , для меди  $\alpha_{\text{табл}} = 0,0042$  K<sup>-1</sup>.

6. Определить относительную ошибку измерения  $\delta\alpha = (\Delta\alpha / \alpha_{\text{табл}}) 100\%$ .
7. Результаты измерений и вычислений занести в таблицу 1.
8. Построить график зависимости сопротивления  $R$  от температуры  $t$ .
9. Сделать вывод о характере этой зависимости.

Таблица 1.

№	$t(^{\circ}\text{C})$	$R_0(\text{Ом})$	$R(\text{Ом})$	$\alpha(\text{K}^{-1})$	$\Delta\alpha(\text{K}^{-1})$	$\delta\alpha(\%)$
1	0					
2	20					
3	40					
4	60					
5	80					
6	100					

### Вариант 2

1. ТКС константана  $0,000021 \text{ K}^{-1}$ . Что это означает?
2. Сопротивление константанового проводника при  $100^{\circ}\text{C}$  равно  $1,002 \text{ Ом}$ . Каким оно будет при  $0^{\circ}\text{C}$  ?
3. Сопротивление алюминиевого и ни хромового проводников при  $20^{\circ}\text{C}$  одинаковы. Будут ли одинаковы при  $80^{\circ}\text{C}$ ? ТКС алюминия  $0,004 \text{ K}^{-1}$ , нихрома  $1,0001 \text{ K}^{-1}$ .
4. Сопротивление алюминиевого и ни хромового проводников при  $60^{\circ}\text{C}$  одинаковы. Каким они будут при  $30^{\circ}\text{C}$  ?
5. Где применяются проводники с малым ТКС?

## **Информационное обеспечение обучения**

### **Печатные и электронные издания**

#### **Основные печатные издания**

1. Диагностика оборудования систем электроснабжения : учебное пособие / Е. Е. Привалов, А. В. Ефанов, С. С. Ястребов, В. А. Ярош ; под редакцией Е. Е. Привалова. — Ставрополь : Параграф, 2020. — 236 с. — Текст : электронный // Электронный ресурс цифровой образовательной среды СПО PROФобразование : [сайт]. — URL: <https://profspo.ru/books/109376>

2. Шлейников, В. Б. Электроснабжение цеха промышленного предприятия : учебное пособие для СПО / В. Б. Шлейников. — Саратов : Профобразование, 2020. — 115 с. — ISBN 978-5-4488-0719-0. — Текст : электронный // Электронный ресурс цифровой образовательной среды СПО PROФобразование : [сайт]. — URL: <https://profspo.ru/books/92214>

3. Абрамова, Е. Я. Электроснабжение промышленных предприятий. Курсовое проектирование : учебное пособие для СПО / Е. Я. Абрамова. — Саратов : Профобразование, 2020. — 121 с. — ISBN 978-5-4488-0538-7. — Текст : электронный // Электронный ресурс цифровой образовательной среды СПО PROФобразование : [сайт]. — URL: <https://profspo.ru/books/922114.2.2>

#### **Дополнительные учебные издания:**

4. Шеховцов В.П. Расчет и проектирование схем электроснабжения. Методическое пособие для курсового проектирования. - М.: ФОРУМ: ИНФРА-М, 2019. –214с.

#### **Интернет ресурсы:**

5. <http://www.minenergo.com/> Министерство энергетики Российской Федерации

6. <http://eprussia.ru/lib/> Энергетика и промышленность России

7. <http://forca.ru/> Энергетика, оборудование, документация

#### **Электронно-библиотечная система:**

8. ЭБС «elibrary», ООО «РУНЭБ»

9. ЭБС «IPRbooks», ООО «Ай Пи Ар Медиа»

10. ЭБС «Лань», ООО «Издательство Лань»

11. ЭБС «PROФобразование

12. ЭБС «Book.ru